توجه:

این گزارش نهایی نشده و نیاز به بازنگری و ویرایش خواهد داشت.

و هو الفتاح العلیم

گزارش تحلیل پتانسیل بازار

گرافن در ایران

کاربردها و بازارهای داخلی

حوزه صنعت: صنایع مصرف‌کننده

حوزه جغرافیایی: کشور ایران

کارفرما:

موسسه خدمات فناوری تا بازار ایرانیان

مشاور:

توسعه بازار سام

کد گزارش: ۱۹۲
ویرایش اول
آذرماه ۱۳۹۴

۲۱۵ صفحه



عنوان طرح: تحلیل پتانسیل بازار گرافن در ایران

کارفرما: موسسه خدمات فناوری تا بازار ایرانیان، ستاد توسعه فناوری نانو

مدیر پروژه: مجید عقلایی

تیم پژوهش: مریم نوری، مهدی انصاری و سید ابوالفضل فراستی

مشاور: شرکت توسعه بازار **سام** – تلفن: ۶۶۵۶۶۹۰۲-۰۲۱ – www.sammarketinggroup.com

تاریخ تهیه: آذر ماه ۱۳۹۴

نوبت ویرایش: اول

کلیه‌ی حقوق محفوظ و متعلق به **موسسه خدمات فناوری تا بازار ایرانیان** می‌باشد. تکثیر تمام یا بخش‌هایی از این گزارش به هر صورت، اعم از کاغذی و الکترونیکی، منوط به کسب اجازه‌ی کتبی از این موسسه می‌باشد.

فهرست گزارش

فصل اول ۸
پیشگفتار ۸
متدولوژی ۸
فصل دوم ۹
خلاصه طرح ۹
فصل سوم ۱۰
معرفی ۱۰
۱. معرفی ۱۰
۲. خواص گرافن ۱۱
۳. انواع گرافن ۱۲
۴. کاربرد ۱۴
۵. روش‌های تولید ۱۵
۱،۵. روش لایه‌برداری میکرومکانیکی ۱۹
۲،۵. سنتز بر روی SiC ۱۹
۳،۵. رسوب نشانی بخار شیمیایی ۱۹
۴،۵. لایه‌برداری فاز مایع ۲۰
۵،۵. روش تهیه گرافن از اکسید گرافیت ۲۱
۶. تحلیل زنجیره ارزش ۲۱
۱،۶. تولیدکنندگان سنگ گرافیت ۲۲
۲،۶. تامین‌کنندگان تجهیزات و ماشین‌آلات ۲۳
۳،۶. مراکز تحقیقاتی ۲۳
۴،۶. تولیدکنندگان گرافن ۲۳
۵،۶. توسعه‌دهندگان واسط ۲۴
۶،۶. تولیدکنندگان تجهیزات اصلی و توسعه‌دهندگان محصولات ۲۴
۷. ایمنی، مقررات و استانداردهای بین‌المللی ۲۵
۱،۷. اثرات گرافن بر محیط زیست و سلامت ۲۵
۲،۷. استانداردها ۲۸
فصل چهارم ۳۰
تحلیل پتنت ۳۰
مقدمه ۳۰
۱. تحلیل دورنمای پتنت‌های گرافن ۳۰
۲. روند زمانی ثبت پتنت‌های گرافن ۳۲
۳. بررسی کشورهای پیشرو در زمینه گرافن ۳۵
۴. دسته‌بندی پتنت‌ها بر اساس زمینه کاربردی ۳۷
۵. بررسی سازمان‌های پیشرو در زمینه گرافن ۳۸

۶. تحلیل نقشه دورنمای پتنت شرکت‌های مطرح ۴۱
۷. تحلیل پتنت‌های کشور چین در حوزه گرافن ۴۳

فصل پنجم ۴۶

بازار جهانی گرافن ۴۶
۱. وضعیت بازار جهانی ۴۶
۲. تولیدکنندگان بین‌المللی ۵۱
۱،۲. تولیدکنندگان و ماتریس نوع گرافن تولیدی ۵۱
۲،۲. مشارکت‌های صنعتی در حوزه گرافن ۵۳
۳،۲. بازیگران اصلی ۵۴
۳. کاربردهای تجاری ۵۸
۳. مصرف‌کنندگان بین‌المللی گرافن ۵۹
۱،۳. HEAD ۵۹
POWERBOOSTER TECHNOLOGY ۶۰
VITTORIA ۶۰
Catlike ۶۱
۴. سطوح آمادگی فناوری ۶۳
۵. رهنگاشت کاربردهای گرافن ۶۵
۶. روندها و محرک‌های بازار ۶۷
۱،۶. تولید بیش از تقاضا ۶۷
۲،۶. درآمد بازار کم اما در حال رشد خواهد بود ۶۸
۳،۶. قابلیت افزایش مقیاس و هزینه ۶۸
۴،۶. کاربردهایی که وارد بازار می‌شوند ۶۹
۵،۶. صبر کن و ببین؟ ۷۰
۶،۶. آسیا و چین رهبران رقابت ۷۰
۷،۶. رقابت با سایر مواد ۷۰
۷. چالش‌های فنی و بازار ۷۱
۱،۷. کیفیت گرافن عرضه شده ۷۱
۲،۷. هزینه ۷۱
۳،۷. یک‌پارچه‌سازی محصول ۷۱
۴،۷. قوانین و استانداردها ۷۲
۸. تحلیل قیمت ۷۲
کشورهای مختلف ۷۳

فصل ششم ۷۵

تحلیل بازار الکترونیک و فتونیک ۷۵
مقدمه ۷۵
۱. فیلم‌های رسانای شفاف ۷۶
۱،۱. معرفی فیلم‌های رسانای شفاف ۷۶
۲،۱.کاربرد گرافن در نمایشگرها و فیلم‌های رسانای شفاف ۷۷
۳،۱. بازار جهانی فیلم‌های رسانای شفاف ۷۹
۲. جوهرهای رسانا ۸۴

۱،۲. معرفی جوهرهای رسانا ۸۴
۲،۲. کاربرد گرافن در جوهرهای رسانا ۸۵
۳،۲. بازار جهانی جوهرهای رسانا ۸۷
۳. مدارهای مجتمع و ترانزیستورها ۸۹
۱،۳. معرفی مدارهای مجتمع و ترانزیستورها ۸۹
۲،۳. کاربرد گرافن در مدارهای مجتمع و ترانزیستورها ۹۱
۳،۳. بازار جهانی مدارهای مجتمع و ترانزیستورها ۹۳
۴. حسگرها ۹۵
۱،۴. معرفی حسگرها ۹۵
۲،۴. کاربرد گرافن در حسگرها ۹۶
۳،۴. بازار جهانی حسگرها ۹۹
۵. دستگاه‌های حافظه ۱۰۲
۱،۵. معرفی دستگاه‌های حافظه ۱۰۲
۲،۵. کاربرد گرافن در دستگاه‌های حافظه ۱۰۳
۳،۵. بازار جهانی دستگاه‌های حافظه ۱۰۴
فوتونیک‌ها ۱۰۶
بازار ایران ۱۰۷
فصل هفتم ۱۱۴
تحلیل بازار کامپوزیت‌های پلیمری ۱۱۴
مقدمه ۱۱۴
۱. معرفی کامپوزیت‌های پلیمری ۱۱۵
۲. کاربرد گرافن در کامپوزیت‌های پلیمری ۱۱۵
۱،۲. کامپوزیت‌های با استحکام بالا ۱۱۶
۲،۲. کامپوزیت‌های رسانا ۱۱۷
۳،۲. کامپوزیت‌های حرارتی ۱۱۸
۴،۲. کامپوزیت‌های محافظ نفوذ ۱۱۸
۳. بازار جهانی کامپوزیت‌های پلیمری ۱۱۹
۱،۳. اندازه بازار ۱۱۹
۲،۳. توسعه‌دهندگان محصول ۱۱۹
۳،۳. چالش‌های بازار ۱۲۰
فصل هشتم ۱۲۱
ذخیره انرژی ۱۲۱
مقدمه ۱۲۱
۱. باتری ۱۲۲
۱،۱. معرفی باتری ۱۲۲
۲،۱. کاربرد گرافن در باتری ۱۲۴
۳،۱. بازار جهانی باتری ۱۲۵
۴،۱. بازار باتری‌های لیتیم-یون در ایران ۱۲۷
۲. ابرخازن ۱۳۲
۱،۲. معرفی ابرخازن‌ها ۱۳۲
۲،۲. کاربرد گرافن در ابرخازن‌ها ۱۳۵

۳،۲. بازار جهانی ابرخازن‌ها ۱۳۶
۴،۲. بازار ابرخازن‌ها در ایران ۱۳۷
۳. پیل‌های سوختی ۱۴۴
۱،۳. معرفی پیل‌های سوختی ۱۴۴
۲،۳. کاربرد گرافن در پیل‌های سوختی ۱۴۶
۳،۳. بازار جهانی پیل سوختی ۱۴۷
۴،۳. بازار پیل سوختی در ایران ۱۴۸
۴. روشنایی LED ۱۵۲
۱،٤. معرفی LED ۱۵۲
۲،٤. کاربرد گرافن در LED ۱۵۴
۳،٤. بازار جهانی LED ۱۵۵
۴،۴. وضعیت بازار داخلی ۱۵۵
۵. گرافن در سلول خورشیدی ۱۵۹
۱،۵. معرفی سلول‌های خورشیدی ۱۵۹
سلول های خورشیدی سیلیکونی ۱۶۰
سلول های خورشیدی پروسکایت: ۱۶۱
۲،۵. کاربرد گرافن در سلول‌های خورشیدی ۱۶۳
۳،۵. بازار جهانی سلول خورشیدی ۱۶۴
۴،۵. وضعیت بازار داخلی ۱۶۶
جمع بندی ۱۶۷
۶. توسعه‌دهندگان محصول ۱۶۸
فصل نهم ۱۷۰
تحلیل بازار پزشکی ۱۷۰
۱. معرفی ۱۷۰
۲. کاربردهای گرافن در پزشکی ۱۷۰
۱،۲. درمان سرطان ۱۷۱
۲،۲. پانسمان‌های زخم ۱۷۲
۳،۲. حسگرهای زیستی ۱۷۲
۴،۲. تصویربرداری پزشکی ۱۷۳
۵،۲. دندان‌پزشکی ۱۷۳
۶،۲ ایمپلنت‌ها و دستگاه‌های پزشکی ۱۷۳
۳. وضعیت بازار جهانی ۱۷۴
۱،۳. محرک‌های بازار ۱۷۴
۲،۳. اندازه بازار ۱۷۵
۳،۳. توسعه‌دهندگان محصول ۱۷۵
۴،۳. چالش‌های بازار ۱۷۶
بازار ایران ۱۷۶
جمع بندی ۱۸۰
فصل دهم ۱۸۲
تحلیل سایر صنایع ۱۸۲
مقدمه ۱۸۲

۱. فیلتراسیون ۱۸۲
۱،۱. معرفی فیلتراسیون ۱۸۲
۲،۱. کاربرد گرافن در فیلتراسیون و جداسازی ۱۸۴
۳،۱. بازار جهانی فیلتراسیون و جداسازی ۱۸۶
بازار ایران ۱۸۷
۲. پوشش‌ها ۱۸۸
۱،۲. معرفی پوشش‌ها ۱۸۸
۲،۲. کاربرد گرافن در پوشش‌ها ۱۸۸
۳،۲. بازار جهانی پوشش‌ها ۱۹۱
بازار ایران ۱۹۳
۳. چسب‌ها ۱۹۵
۱،۳. معرفی چسب ۱۹۵
۱،۳. کاربرد گرافن در چسب ۱۹۶
۲،۳. وضعیت جهانی بازار ۱۹۶
توسعه دهندگان محصول ۱۹۶
بازار ایران ۱۹۶
۴. روانکارها ۱۹۸
۱،۴. معرفی روانکارها ۱۹۸
۲،٤. کاربرد گرافن در روانکارها ۱۹۸
۳،٤. بازار جهانی روانکارها ۱۹۹
چالش ۱۹۹
توسعه دهندگان محصول ۱۹۹
بازار ایران ۲۰۰
۵. منسوجات ۲۰۱
۱،۵. معرفی منسوجات ۲۰۱
۲،۵. کاربرد گرافن در منسوجات ۲۰۱
۳،۵. بازار جهانی منسوجات ۲۰۲
بازار ایران ۲۰۲
۶. چاپ سه بعدی ۲۰۳
۱،۶. معرفی چاپ سه بعدی ۲۰۳
۲،٦. کاربرد گرافن در چاپ سه بعدی ۲۰۳
۳،۶. بازار جهانی چاپ سه بعدی ۲۰۴
چالش ۲۰۴
توسعه دهندگان محصول ۲۰۴
فیلامنت پرینتر سه بعدی ۲۰۵
بازار ایران ۲۰۶
فصل یازدهم ۲۰۹
جمع‌بندی و پیشنهادات توسعه بازار ۲۰۹
منابع و مآخذ ۲۱۰
فهرست جداول ۲۱۲
فهرست تصاویر ۲۱۲

فهرست نمودارها **۲۱۳**

فصل اول
پیشگفتار

متدولوژی

مرحله تجاری‌سازی گرافن در حوزه‌های مختلف بر اساس گزارش‌های موجود بین‌المللی مورد ارزیابی قرار گرفته است که نتایج آن در گزارش منعکس شده است. این نتایج بر اساس رتبه‌بندی زیر ارائه شده است:

مرحله ۱: تحقیقات اولیه
مرحله ۲: تحقیقات کاربردی
مرحله ۳: تولید نمونه اولیه/آزمایشگاهی
مرحله ۴: ورود به بازار
مرحله ۵: بلوغ در بازار (بازار انبوه یا گوشه‌ای شکل‌گرفته)

فصل دوم
خلاصه طرح

فصل سوم
معرفی

۱. معرفی

گرافن آلوتروپ جدید دو بعدی کربن است، که ضخامتی برابر یک اتم و ساختار شبکه شش ضلعی (لانه زنبوری) دارد. به عبارت دیگر، گرافن یک لایه از گرافیت است که دارای اتم‌های کربن با هیبرید sp2 است. گرافن اساس بلوک ساختمانی تمام مواد گرافیتی دیگر مانند، گرافیت سه بعدی (3D)[1]، نانو لوله‌های کربنی یک بعدی (1D)[2] و فولرن‌های صفر بعدی (0D)[3] است. با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی جذاب این ماده، مانند مساحت سطح بسیار بالا، رسانایی الکتریکی و حرارتی بسیار عالی، ثبات مکانیکی و الکتروشیمیایی عالی، شفافیت خوب، گرافن توجه دانشمندان زیادی را در سال‌های اخیر به خود جذب کرده است.

برای چندین دهه جداسازی یک تک لایه از گرافن بر اساس مطالعات نظری انجام شده درباره ثبات ترمودینامیکی کریستال‌های دو بعدی، غیر ممکن به نظر می‌رسید. یک گروه تحقیقاتی در منچستر به رهبری گایم[4] و نووسلف[5] در سال ۲۰۰۴ گام مهمی در این زمینه برداشت. آن‌ها روشی را برای ایجاد گرافن تک لایه روی یک بستر سیلیکون اکسید توسط لایه برداری میکرو مکانیکی گرافیت[6] گزارش کردند. گرافن خواص ساختاری، الکتریکی و مکانیکی برجسته‌ای از خود نشان داد و ۶ سال بعد گایم و نووسلف مفتخر به دریافت جایزه نوبل فیزیک برای "**آزمایش‌های پیشگامانه در مورد ماده دو بعدی گرافن**" شدند. در طول این مدت روش‌هایی برای تولید گرافن تک لایه ابداع شد. این روش‌ها را می‌توان به دو دسته کلی فیزیکی و شیمیایی براساس فرآیندی که برای تولید گرافیت تک لایه استفاده می‌شود، طبقه‌بندی کرد.

[1] Three-Dimensional
[2] One-Dimensional
[3] Zero-Dimensional
[4] Geim
[5] Novoselov
[6] scotch tape method

۲. خواص گرافن

طول پیوند کربن-کربن در گرافن برابر ۱/۴۲ آنگستروم است، این پیوند در یک لایه خاص بسیار قوی است، اما پیوند بین لایه‌ها ضعیف است. سطح ویژه برای یک صفحه گرافن در حدود ۲۶۳۰ مترمربع بر گرم است. گرافن خواص منحصر به فرد و فوق العاده نوری (بیشتر از ۹۷/۷ درصد نور را عبور می‌دهد) دارد و مقدار شکاف باند[1] آن در حدود ۰ تا ۰/۲۵ الکترون ولت است. برخی دیگر از ویژگی‌های جذاب این ماده عبارت است از جابه‌جایی بار بالا (در حدود ۲۰۰ هزار $cm^2/V.s$) و مدول یانگ بالا (۱ ترا پاسکال) و مقاومت در برابر شکست حدود ۴۰ نیوتن بر متر. گرافن و مواد کامپوزیتی آن را به دلیل خواص رسانایی فوق العاده آنها می‌توان به عنوان نیمه هادی استفاده کرد. در جدول زیر خواص مختلف گرافن و کاربرد هرکدام از آن‌ها به همراه ماده‌ای که گرافن می‌تواند جایگزین آن شود، ارایه شده است.

جدول ۱- خواص گرافن

خاصیت	گرافن	ماده رقیب	کاربرد
تحرک الکترونی زیاد ($cm^2/V.s$)	۲۰۰،۰۰۰	سیلیکون ۱،۴۰۰	✓ کاربرد در ترانزیستورهای پر سرعت، دستگاه‌های چرخشی، ترانزیستورهای تک الکترون، حافظه‌های نیمه رسانا، سیستم‌های میکرو الکترومکانیکی (MEMS)[2]، فرکانس رادیویی (RF)[3]، استاندارد مقاومت کوانتومی هال (QHRS)[4]، جایگزین سیلیکون
رسانایی الکتریکی زیاد (S/m)	10^8	نقره 63×10^6	✓ تخلیه الکترواستاتیکی و کامپوزیت‌های محافظ الکترومغناطیسی تداخلی (EMI)[5]
استحکام بالا	مدول در حدود ۱،۱۰۰ گیگا پاسکال استحکام شکست ۱۳۰ گیگا پاسکال	۲۰۰ برابر قوی‌تر از استیل	✓ مواد کامپوزیتی ✓ حسگر فشار در مقیاس نانو
خواص نوری	۹۷/۷ درصد عبور نور (تک لایه)		✓ الکترودهای شفاف و مواد لیزر
قابلیت بالا برای دانسیته جریان	در دانسیته کم حدود $2\ g/cm^3$	تقریبا ۱۰۰ برابر مس	✓ مواد سیم‌ها
رسانایی گرمایی (W/m.K)	۵،۳۰۰	نقره: ۴۲۰ مس: ۴۰۰	✓ ذخیره گرما/ انرژی، مدیریت گرما
خاصیت برید(مانع) زیاد	غیرقابل نفوذ (درصورت عدم نقص)		✓ پوشش‌ها و فیلم‌ها ✓ بسته بندی

[1] band gap
[2] Micro electro-mechanical systems
[3] Radio Frequncy
[4] Quantum Hall Resistance Standard
[5] Electromagnetic interference

در جدول زیر خواص گرافن در مقایسه با سایر مواد کربنی نیز ارایه شده است.

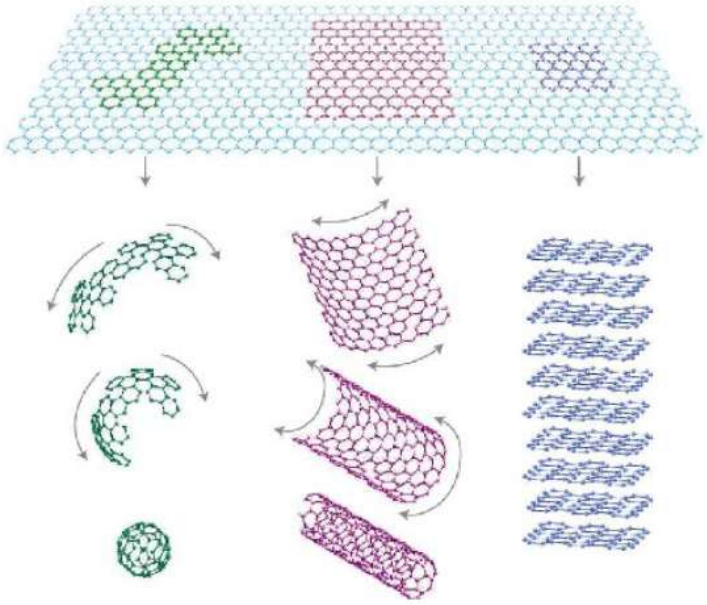
جدول ۲- خواص گرافن در مقایسه با سایر مواد کربنی

خاصیت	گرافن	نانو لوله‌های کربنی	فولرن	گرافیت
ابعاد	۲	۱	۰	۳
هیبریداسیون	Sp^2	اغلب Sp^2	اغلب Sp^2	Sp^2
سختی	بالاترین (برای تک لایه)	زیاد	زیاد	زیاد
مقاومت تغییر شکل	انعطاف‌پذیر، الاستیک	انعطاف‌پذیر، الاستیک	الاستیک	انعطاف‌پذیر، غیر الاستیک
سطح ویژه تجربی (m^2/g)	حدود ۱،۵۰۰	حدود ۱،۳۰۰	۹۰-۸۰	۲۰-۱۰
رسانایی الکتریکی (S/cm)	حدود ۲،۰۰۰	وابسته به ساختار	$۱۰^{-۱۰}$	ناهمسانگرد: $۱۰^{۴} \times ۳-۲$ در جهت a، ۶ در جهت c
رسانایی گرمایی (W/m.K)	۵،۳۰۰-۴،۸۴۰	۳،۵۰۰	۰/۴	ناهمسانگرد: ۲،۰۰۰-۱،۵۰۰ در جهت a، ۵-۱۰ در جهت c

۳. انواع گرافن

گرافن می‌تواند به صورت توپ‌های صفر بعدی درآید و یا به صورت نانو لوله‌های یک بعدی رول شود. این موضوع برای سال‌ها از نظر تئوری پیش‌بینی شده بود که صفحات منحصر به فرد گرافن با الاستیسیته بالا می‌تواند تحت تغییرات سریع ساختاری قرار بگیرد. این موضوع منجر به تشکیل ساندویچ‌ها، باکیبال‌ها[1]، گره‌ها[2] و لوله‌هایی[3] در مقیاس نانو از طریق تا شدن، مچاله شدن، لغزش[4] و رول شدن می‌شود. تا به امروز، تنها دو نوع از این ساختارها، باکیبال‌ها و نانو اسکرول‌ها[5]، گزارش شده است.

[1] buckyballs
[2] knots
[3] tubes
[4] sliding
[5] nanoscrolls



تصویر ۱- گرافن مادر ساختارهای کربنی (نانولوله‌های کربنی، فولرن و گرافیت)

گرافن انواع مختلفی دارد که به شرح زیر است:

- ✓ گرافن چند لایه
- ✓ گرافن کم لایه
- ✓ گرافن لایه لایه شده
- ✓ گرافن دو لایه
- ✓ گرافن سه لایه
- ✓ نانو پلاکت‌های گرافنی
- ✓ نانو نوارهای گرافنی
- ✓ اکسید گرافن (GO)[1]
- ✓ فوم گرافن

گرافن سه بعدی

ایجاد فوم گرافن در سال ۲۰۱۱ گزارش شد، که نوعی از گرافن سه بعدی است که ساختار شبکه منحصر به فرد، سطح ویژه بالا و خواص الکتریکی و مکانیکی منحصر به فردی دارد. کاربردهای اساسی شناخته شده برای آن شامل باتری‌های لیتیم یون انعطاف‌پذیر، هادی‌های الاستی‌ک، مواد فوق آبگریز، پوشش‌های ضد خوردگی، حسگرهای گازی، مواد الکترومغناطیس سبک است.

نقاط کوانتومی گرافنی

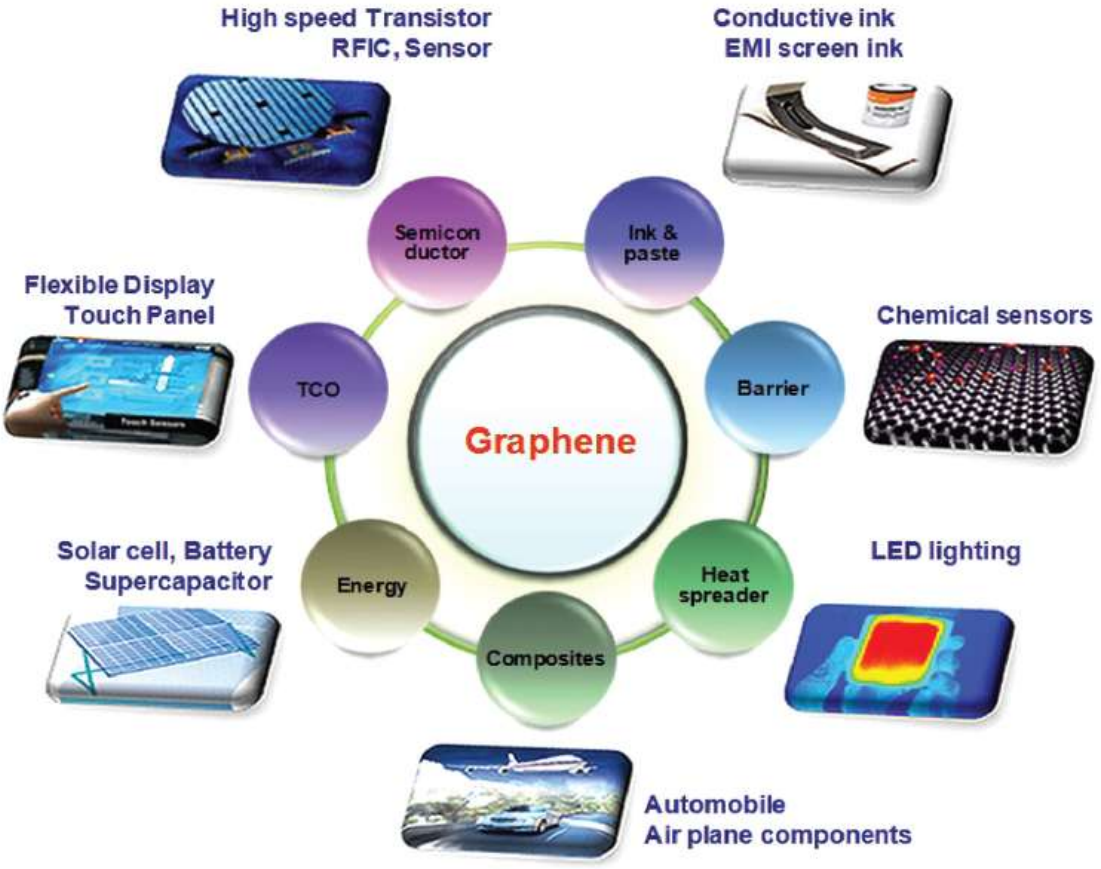
نقاط کوانتومی گرافنی نانوذرات گرافن هستند، که معمولا اندازه آن‌ها در محدوده زیر ۲۰ نانو متر است. این نقاط از بریدن و تکه تکه کردن صفحات گرافنی به قطعات کوچک و پالس‌های لیزر در در مایعات (روش از بالا به پایین) بدست می‌آیند. همچنین این ملکول‌های شبه گرافن با روش شیمیایی (روش پایین به بالا) نیز سنتز شده‌اند. اخیرا، این نقاط کوانتومی گرافنی عاملدار شده‌اند که قابلیت استفاده در در فتوولتاییک‌ها، تصفیه آب، حسگرهای زیستی و گازی، پروب‌های فلورسانس دستگاه‌های عکس‌برداری زیستی و مواد نیمه رسانا دارند.

[1] Graphene oxide

۴. کاربرد

کاربردهای گرافن در صنایع مختلف در جداول زیر ارایه شده است.

http://carbonsciences.com/applications.html



جدول ۳- کاربردهای گرافن در صنایع مختلف

صنعت	کاربرد
انرژی	✓ باتری‌های لیتیم-یون ✓ فوتوولتائیک[1] ✓ سلول‌های سوختی[2] ✓ ابر خازن‌ها[3] ✓ روشنایی‌های LED
هوافضا	✓ کامپوزیت‌ها ✓ پوشش‌ها

[1] photovoltaics
[2] fuel cells
[3] supercapacitors

صنعت	کاربرد
زیست پزشکی	✓ دارو رسانی ✓ پوشش‌های دستگاه‌های درمانی ✓ بیو حسگرها ✓ دندان پزشکی
پوشش‌ها	✓ پوشش‌های ضد خوردگی ✓ پوشش‌های آنتی باکتریال ✓ پوشش‌های ضد یخ[1] ✓ پوشش‌های ضد مه[2] ✓ پوشش‌های برید
کامپوزیت‌ها	✓ تقویت پلیمرها ✓ توربین‌های بادی
حسگرها	✓ حسگرهای مادون قرمز ✓ حسگرهای گاز ✓ حسگرهای شیمیایی
الکترونیک	✓ فیلم‌های رسانای شفاف ✓ جوهرهای رسانا ✓ ترانزیستورهای اثر میدانی و مدارهای یکپارچه ✓ دستگاه‌های حافظه ✓ چاپ ۳ بعدی
فیلتراسیون	✓ فیلتراسیون آب ✓ تصفیه روغن

۵. روش‌های تولید

امروزه روش‌های بسیار متنوعی برای ساخت گرافن بکار برده می‌شود که از متداول‌ترین آن‌ها می‌توان به روش‌های لایه‌برداری میکرومکانیکی، لایه‌برداری شیمیایی[3]، سنتز شیمیایی و رسوب بخار شیمیای (CVD)[4] را نام برد. برخی روش‌های دیگری همانند شکافتن نانو لوله‌های کربنی برای تولید نانو نوارهای گرافن و ساخت با امواج ماکروویو نیز اخیرا بکار برده شده‌اند. انگیزه اصلی در سنتز گرافن تولید گرافن در مقیاس انبوه است. دسته‌بندی کلی روش‌های تولید گرافن در جدول زیر ارایه شده است:

جدول ۴- روش‌های تولید گرافن

از پایین به بالا	از بالا به پایین
✓ رشد همبافته[5] (سنتز بر روی SiC) ✓ شکافت گرمایی ✓ رسوب بخار شیمیایی	✓ لایه‌برداری میکرومکانیکی ✓ لایه‌برداری شیمیایی ✓ سنتز شیمیایی

[1] anti-icing
[2] anti-fogging
[3] chemical exfoliation
[4] Chemical Vapor Deposition
[5] Epitaxial Growth

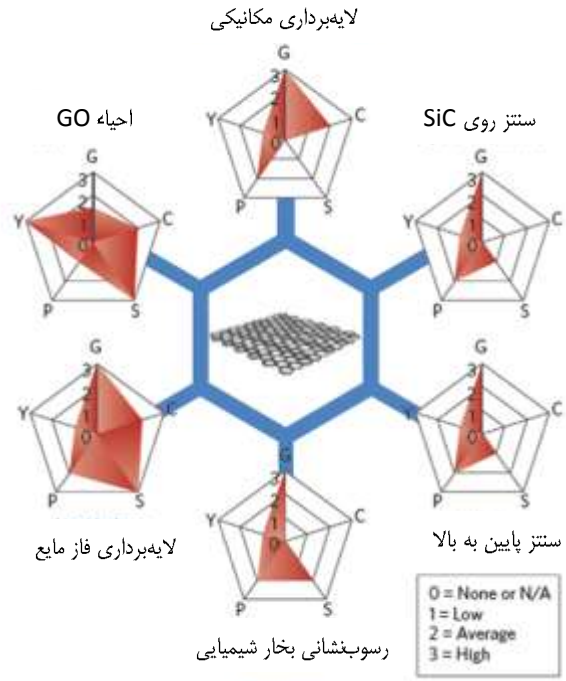
به طور کلی، گرافن صنعتی را می‌توان به دو دسته گرافن به صورت فیلم (همبافته با مساحت زیاد) و گرافن بالک یا ورقه‌ای تقسیم کرد:

- ✓ به صورت فیلم
- ✓ پودر بالک/ شکل ورقه‌ای (ورقه‌های اکسید گرافن و نانو پلاکت‌های گرافنی)

برای حالت فیلم، مقیاس تولید مساحت است (مانند متر مربع، سانتی متر مربع و ...) و برای حالت پودری، مقیاس تولید وزن است (کیلوگرم، تن و ...).

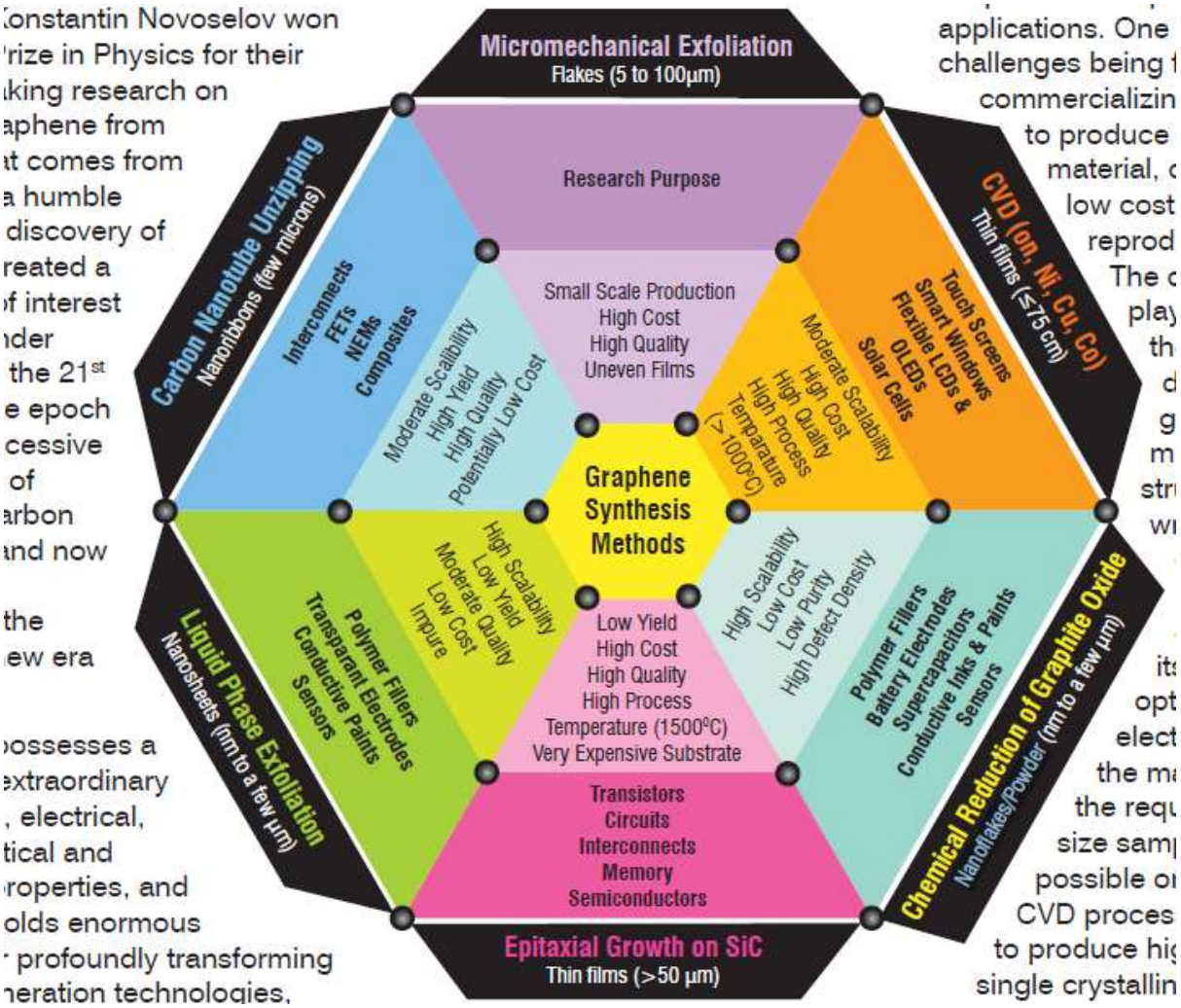
هزینه تولید گرافن به روش تولید آن و متعاقبا کیفیت آن در ارتباط است. قیمت بهترین کیفیت گرافن (گرافن بدون نقص و با کیفیت بالا) که در حال حاضر به صورت تجاری موجود است، در حدود ۱،۵۰۰ دلار برای هر متر مربع می‌باشد. درحال حاضر صفحات با بهترین کیفیت با حرارت دادن ویفرهای کاربید سیلیکون تولید می‌شود، که لایه‌ای از گرافن خالص در روی سطح باقی می‌گذارد. این روش دارای مشکلات تکرار پذیری کمتری نسبت به سنتز نانو لوله‌های کربنی می‌باشد و صفحات صاف بدست آمده بزرگتر است. گرافن همچنین می‌تواند به عنوان محلولی از تکه‌های بسیار کوچک (حدود ۱۰۰ نانومتر) باشد که با روش لایه لایه کردن به کمک امواج مافوق صوت تولید شده است، و می‌توان آن را از شرکت‌هایی مانند نانوانتگریس[1] تهیه کرد. گرافن ورقه شده خواص فیزیکی چشمگیری در حد مقادیر پیش‌بینی شده تئوری مانند هدایت جریان، مقاومت مکانیکی و ... از خود نشان می‌دهد. با این حال، پوشش گرافن ورقه شده از طریق مکانیکی تنها در حد چند تکه کوچک در هر سانتی‌متر مربع است که این مقدار برای استفاده‌های کاربردی کافی نی‌ست.

شکل زیر روش‌های پرکاربرد سنتز گرافن را نشان می‌دهد. همچنین این روش‌ها از نظر هزینه، خلوص، کیفیت گرافن، قابلیت افزایش ظرفیت و بازده با هم مقایسه شده‌اند.



تصویر ۲- روش‌های معمول تولید گرافن. هر روش بر اساس شاخص‌های کیفیت گرافن (G)، جنبه هزینه (C؛ مقدار کم مربوط می‌شود به هزینه تولید بالا)، قابلیت تولید زیاد (S)، خلوص (P) و بازده (Y) فرایند تولید کلی ارزیابی شده‌اند.

[1] Nanointegris



در جدول زیر روشی که شرکت‌های مطرح برای تولید گرافن از آن استفاده می‌کند و محصولی که از آن تولید می‌کند، ارایه شده است.

جدول ۵- روش‌های تولید گرافن شرکت‌های مطرح

شرکت	روش	محصول
2D Carbon Tech	CVD	فیلم‌های گرافنی برروی مس، سیلیکون/ سیلیس، شیشه، PET **فیلم گرافن روی PET:** حداکثر اندازه ممکن ۴۵۰×۵۵۰ mm^2، بیش از ۹۰ درصد تک لایه، مقاومت صفحه ۴۰۰-۲۰۰ اهم بر مربع[1] در پراکنش بیش از ۸۵ درصد (شامل بستر)
Angstron Materials	لایه‌برداری فاز مایع	پلاکت نانوگرافنی **ضخامت:** کمتر از ۱۰۰ nm **مقدار کربن:** بیش از ۹۵ درصد (برای محصولات کمتر از سه لایه در ضخامت متوسط)
BGT Materials	CVD	فیلم‌های گرافنی برروی مس، سیلیکون/سیلیس، شیشه، PET

[1] ohms per square

شرکت	روش	محصول
		فیلم گرافن روی PET: حد اکثر اندازه موجود $inch^2$ ۱۰×۸، مقاومت کمتر از ۳۰ اهم بر مربع در پراکنش بیش از ۸۵ درصد (شامل بستر) **فیلم گرافن روی سیلیکون/سیلیس:** حداکثر اندازه موجود ویفر ۴ اینچی، بیش از ۹۵ درصد تک لایه، متوسط تحرک‌پذیری هال[1] برابر با $cm^2/V.s$ ۲،۰۰۰-۴،۰۰۰
Deyang Carbonene Tech	اینترکلیشن- پخش- لایه‌برداری[2]	**صفحات گرافن:** کم لایه **ضخامت:** بیش از ۱۰ لایه **رسانایی الکتریکی:** حدود S/cm ۱،۰۰۰ (برای غشاء با ضخامت تقریبی ۱۵ میکرون)
Graphenea	CVD	گرافن تک لایه روی سیلیکون/ سیلیس (ویفر ۴ اینچ) **شفافیت:** بیش از ۹۷ درصد **پوشش:** بیش از ۹۵ درصد **ضخامت (تئوری):** ۰/۳۴۵ nm **تحرک‌پذیری الکترونی FET بر روی Al2O3:** ۲،۰۰۰ $cm^2/V.s$ **تحرک‌پذیری الکترونی هال بر روی SiO2/Si:** ۴،۰۰۰ $cm^2/V.s$ **مقاومت صفحه:** ۴۰±۴۵۰ اهم بر مربع
Graphene Square	CVD	گرافن CVD روی ویفر نیکل
Ningbo Morsh	اینترکلیشن- پخش- لایه‌برداری	نانو پلاکت‌های گرفن‌ی **ضخامت متوسط:** ۳ nm
Power Booster	CVD	فیلم‌های گرافن روی مس، PET **فیلم گرافن روی مس:** حداکثر اندازه موجود m^2 ۷/۵ (در سال ۲۰۱۳) **فیلم گرافن روی PET:** مقاومت صفحه ۱۴۰ -۵۰ اهم بر مربع در پراکنش ۹۵/۵ درصد
Sixth Element Materials	اکسیداسیون- لایه‌برداری- احیاء[3]	اکسید گرافن، گرافن اکسید کاهش یافته **ضخامت:** کمتر از ۱۰ nm **میزان کربن:** بیش از ۹۵ درصد **رسانایی الکتریکی:** بیش از S/cm ۲ (برای محصولات رسانای الکتریکی)
Thomas Swan	لایه‌برداری فاز مایع	نانو پلاکت‌های گرافنی **ضخامت:** ۵ تا ۷ لایه (به طور متوسط) **اندازه:** ۲-۰/۵ میکرون **مقاومت صفحه:** ۵±۱۰ اهم بر مربع (فیلم ۲۵ میکرون، معادل S/cm ۸۰-۲۷) **ناخالصی:** حدود ۸ درصد وزنی
Verbeck Materials	اکسیداسیون- لایه‌برداری حرارتی[4]	گرافن عاملدار **ضخامت:** غالبا ۱ تا ۳ لایه

[1] average Hall mobility
[2] Intercalation-expansion-exfoliation
[3] Oxidation-exfoliation-reduction
[4] Oxidation-thermal exfoliation

شرکت	روش	محصول
		مورفولوژی: چروکیده
Wuxi Graphene Film	CVD	فیلم‌های گرافن روی مس، PET **فیلم گرافن روی PET:** مقاومت صفحه در حدود ۶۰۰اهم بر مربع در پراکنش بیش از ۹۷ درصد (بدون بستر)
XG Sciences	اینترکلیشن- لایه‌برداری	نانو پلاکت‌های گرافنی **ضخامت:** nm ۱۵-۲ (به طور متوسط) **رسانایی الکتریکی و حرارتی:** به ترتیب S/cm ۳۸۰۰ و W/m.K ۵۰۰ (برای ورق گرافن با ضخامت ۳۰ میکرون)

در ادامه تعدادی از روش‌های اصلی تولید گرافن شرح داده می‌شود:

۱،۵. روش لایه‌برداری میکرومکانیکی

گرافن تک لایه برای اولین بار در سال ۲۰۰۴ توسط گروه گایم و نووسلف تولید شد. آنها از چسب نواری برای جدا کردن لایه‌های گرافن از سطح زیرلایه استفاده کردند. این روش توانایی و قابلیت تولید لایه‌های متنوع گرافن را دارد و علاوه بر آن، آسان نیز است. روش لایه‌برداری مکانیکی، قابلیت تولید لایه‌های گرافیتی کم لایه و چند لایه را دارد، اما ضخامت گرافیت بدست آمده توسط این روش برابر با ۱۰ نانو متر است که تقریبا برابر با ۳۰ لایه گرافن تک لایه است. در حقیقت لایه‌های گرافن که با بر همکنش واندروالسی در ساختار گرافیت به یکدیگر متصل هستند، را می‌توان با این روش از سطح گرافیت جدا نمود. در نهایت می‌توان با فشردن نوارهای سلفونی بر روی بستر نهایی لایه گرافن را بر سطح دیگر منتقل نمود. این روش نیازمند دقت بسیار بالا و تجربه کافی می‌باشد، در غیر اینصورت لایه‌های ضخیم گرافیت حاصل کار خواهد بود. در صورت تمرین و دقت کافی می‌توان لایه‌های گرافن را حتی در ابعاد بزرگتر از ۵۰۰×۵۰۰ میکرومتر نیز تولید کرد.

۲،۵. سنتز بر روی SiC

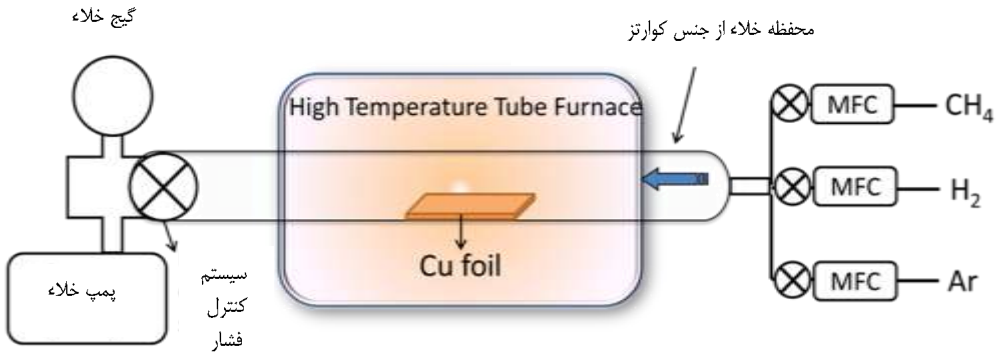
این روش بر اساس تبخیر یک عنصر غیر کربنی از ترکیبات آن با کربن است که معمولا از سیلیکون کاربید (SiC)[1] استفاده می‌شود. در این روش بستر، SiC بوده که تا دمای ۱،۰۰۰ درجه سانتی گراد تحت خلا شدید حرارت داده می‌شود. در این شرایط سیلیکون شروع به واجذب شدن از سطح می‌کند. در نتیجه روی سطح، غلظت کربن افزایش یافته و در ادامه جزایر گرافنی از اتم‌های کربن شروع به رشد می‌کنند. نتایج مطالعات بر روی ساختار و مورفولوژی لایه‌های گرافنی حاکی از کیفیت بالای گرافن تولید شده دارد. همین موضوع سبب شده تا خواص گرافن تولید شده به این روش نزدیک به خواص گرافن تولید شده به روش لایه‌برداری میکرومکانیکی باشد. لایه‌های گرافن تولید شده به این روش را می‌توان با استفاده از لیتوگرافی جهت تولید ابزارهای الکتریکی بکار برد. تولید گرافن با این روش تابع پارامترهایی است که بر روی رشد لایه‌ها موثر است که عبارتند از: ضخامت لایه‌های گرافن، مقدار لایه‌های گرافن، ابعاد لایه‌های گرافن و کیفیت تولید.

۳،۵. رسوب نشانی بخار شیمیایی

اخیرا محققان با بهبود این روش موفق به تولید تک و چند لایه‌های گرافن شده‌اند. در تلاش‌های ابتدایی یک لایه ۳۰۰ نانومتری از نیکل بر روی یک بستر سیلیکونی تهیه شده و سپس با افزایش حرارت تا دمای ۱،۰۰۰ درجه سانتی گراد و ورود گاز حاوی آرگون، هیدروژن و متان فرآیند ادامه پیدا می‌کند. بدلیل دمای بالا، قسمتی از کربن موجود در منبع کربنی در فلز واسطه حل شده و کاهش شدید دما تا دمای

[1] Silicon carbyde

محیط کربن در فلز کاهش یافته و کربن بصورت لایه‌های گرافن بر روی سطح رسوب می‌کند. محصول نهایی تولید شده به این روش از کیفیت بالایی برخوردار بوده و برای تولید قطعات الکترونیکی مناسب می‌باشد. همزمان با ابداع روش‌های مختلف تولید گرافن و کامپوزیت آن توسط روف[1] و همکارانش، محققین دانشگاه پرینستون[2] روشی جهت تولید انبوه تک لایه‌های گرافن در مقیاس انبوه ابداع نمودند. این روش براساس اعمال شوک حرارتی که اکسید گرافیت در دمای (بیش از ۶۰۰ درجه سانتیگراد) است. ماده حاصل پودری بسیار متخلخل (سطح ویژه بیش از ۸۰۰ متر مربع بر گرم) و با چگالی بسیار کم است. این روش در حال حاضر بطور صنعتی جهت تولید گرافن مورد استفاده قرار می‌گیرد.



تصویر ۳- طرح کلی از یک دستگاه CVD

۴،۵. لایه‌برداری فاز مایع

لایه‌برداری فاز مایع گرافیت (یا هر ماده دیگر لایه لایه)، بر پایه قرار دادن مواد در معرض حلالی با کشش سطحی است که به افزایش سطح کلی کریستال‌های گرافیت کمک می‌کند. حلال معمولا غیر آبی است، اما می‌توان از محلول‌های آبی با سورفکتانت[3] نیز استفاده کرد. با کمک امواج مافوق صوت، گرافیت به پلاکت‌های جداگانه‌ای تقسیم می‌شود و ادامه این فرآیند موجب تولید کسر قابل توجهی از تکه‌های تک لایه در سوسپانسیون می‌شود، که می‌توان آن‌ها را از طریق سانتریفیوژ بیشتر غنی کرد.

لایه‌برداری گرافیت در فاز مایع شامل دو مرحله است. اولین قدم استفاده از امواج مافوق صوت در درون محلولی است که بتواند بر نیروی واندر والس ضعیف بین لایه‌ها غلبه کند و قدم بعدی استفاده از سانتریفوژ برای حذف ذرات بزرگتر گرافیتی است. مایعات مختلفی برای ساخت دیسپرشن[4] پایدار گرافن استفاده شده است، مانند محیط‌های آبی حاوی سورفکتانت، مایعات یونی و حلال‌های آلی. حلال آلی ارتو دی‌کلروبنزن (o-DCB) قادر است تا با گرافن پیوند π–π برقرار کند. این ماده کشش سطحی برابر با ۳۶/۶ mJ/m^2 دارد که بسیار به محدوده پیشنهاد شده برای جداسازی لایه‌های گرافیت (۴۰–۵۰ mJ/m^2) نزدیک است.

روش مشابه دیگر، روش اکسید گرافیت است که در آن گرافیت در ابتدا اکسید می‌شود و سپس به وسیله امواج مافوق صوت در یک محلول آبی لایه لایه می‌شود. پس از لایه‌برداری اکسید گرافیت، سوسپانسیون بدست آمده ممکن است برای فرآورش بیشتر سانتریفوژ شود و سپس می‌توان آن را به عنوان یک لایه نازک روی هر سطحی نشاند و به حالت گرافن احیاء کرد (البته تا حدی).

[1] Ruoff
[2] Princeton
[3] surfactant
[4] Dispersion

۵،۵. روش تهیه گرافن از اکسید گرافیت

این روش ساخت گرافن با تولید در مقیاس بزرگ سازگارتر است. در این روش گرافیت را اکسید می‌کنند و در یک محیط اسیدی قوی لایه‌هایی به صورت اکسید گرافن جدا می‌کنند. این فرایند اکسایش، گروه‌های عاملی اکسیژن دار زیادی (مانند کربوکسیل، اپوکسید و گروه‌های هیدروکسیل) در سطح گرافن ایجاد می‌کند. حضور این گروه‌های عاملی قطبی، در برخی موارد یونیزه شونده در سطح، GO را شدیدا آب دوست می‌کند و در نتیجه این ماده به راحتی در آب و حلال‌های آلی قطبی پخش می‌شود. واقعیت نامطلوب در مورد GO این است که حضور گروه‌های عاملی در سطح، GO را از خواص منحصر به فرد خود دور می‌کند. GO یک نارسانای الکتریکی است که ساختار لایه‌های آن با حضور پیوند کربن–کربن شکل خمیده گرفته است. از این رو GO را با کاهنده‌هایی نظیر هیدرازین (یا تحت حرارت در یک اتمسفر احیا کننده) احیا می‌کنند تا به ساختار اصلی گرافن نزدیک‌تر شود. با اینکه فرآیند احیا کردن به مقدار زیادی هدایت و مسطح بودن گرافن را باز می‌گرداند، اما محصول نهایی هنوز مقادیر قابل توجهی پیوندهای کربن–اکسیژن داشته و از خواص اصلی گرافن فاصله دارد.

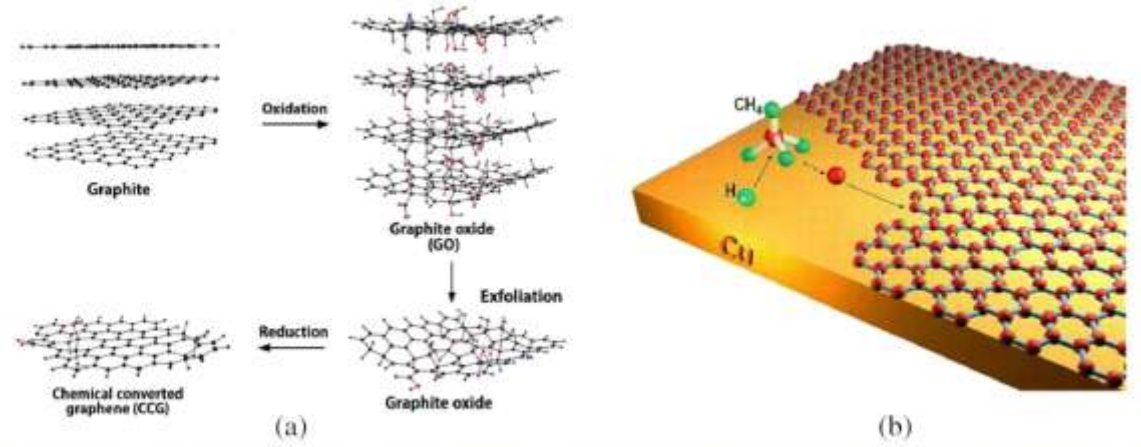
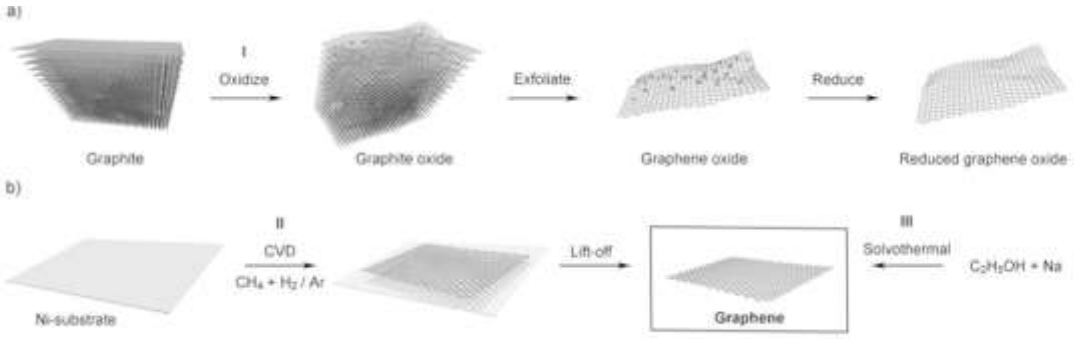


Fig. 2. (a): Chemically converted graphene by reduction of graphene oxide [24]. (b): Low temperature and low pressure CVD growth of graphene on metals [29].

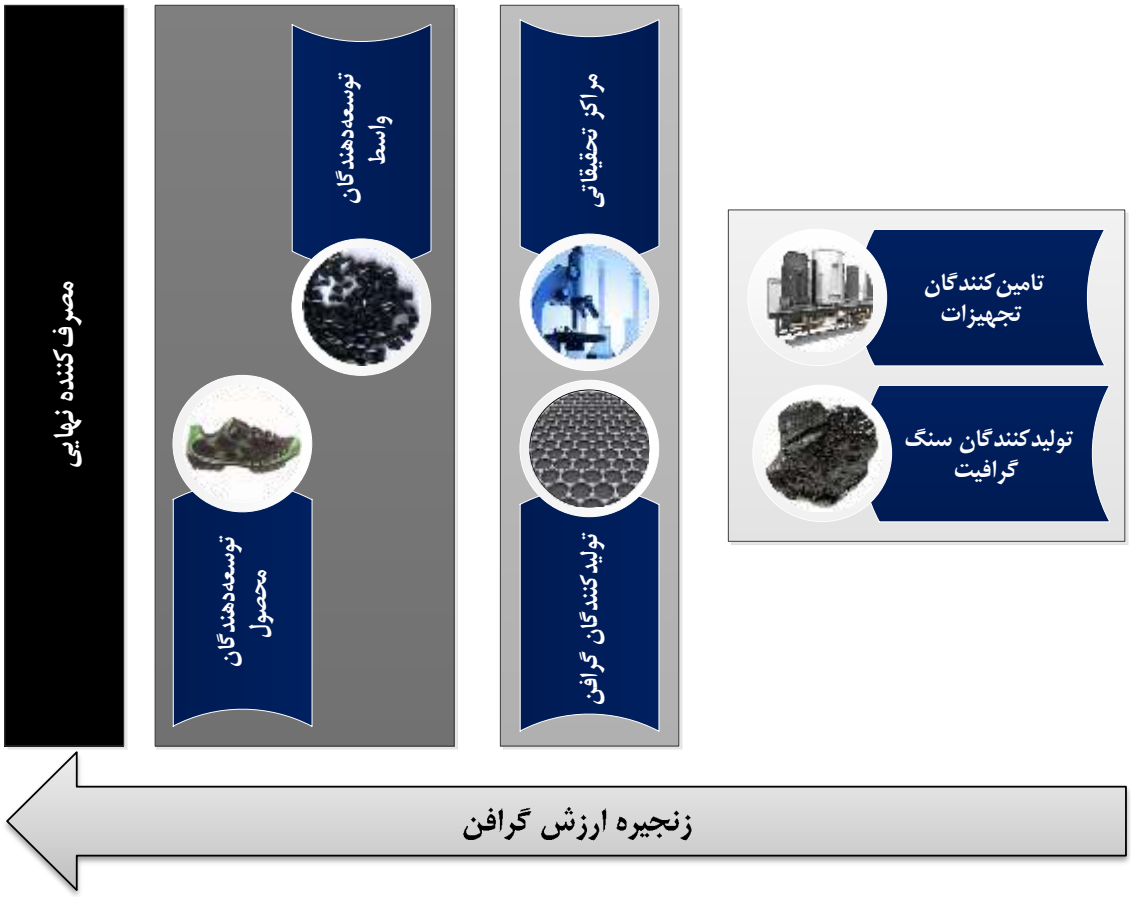


تصویر ۴- (a) مراحل تهیه GO از گرافیت طی فرآیند اکسایش و سپس کاهش. (b) مراحل تهیه گرافن به روش رسوب نشانی بخار شیمیایی (II) و سولووترمال (III)

۶. تحلیل زنجیره ارزش

زنجیره ارزش مجموعه عملیاتی است که در یک صنعت به صورت زنجیرگونه انجام می‌گیرد، تا به خلق ارزش منجر شود. زنجیره ارزش، ابزاری توانمند در بازشناسی فرآیندها، فعالیت‌ها و عملیات گوناگون سازمان‌ها از طریق بررسی عواملی همچون طراحی و تولید، بازاریابی، تحویل، خدمات پس از فروش و غیره بوده و ابزاری مناسب در ارایه تحلیلی راهبردی بشمار می‌رود.

علی‌رغم تقسیم‌بندی که در بخش‌های گذشته ارائه شد، گاهی نمی‌توان فعالیت بعضی از شرکت‌ها را تنها در یک رده از گروه‌های معرفی شده جای داد. البته این چالش با توجه به ماهیت فناورانه این حوزه کاملا طبیعی به نظر می‌رسد؛ چرا که تجاری‌سازی دستاوردهای نوین و فناورانه نیازمند تعامل نزدیک و بلندمدت بین بازیگران اصلی آن حوزه می‌باشد، به همین دلیل در این مسیر بسیاری از شرکت‌ها ممکن است در راستای اهداف استراتژیک خود اقدام به توسعه عمودی فعالیت‌های شرکت در طول زنجیره ارزش و بازار (حضور در سطوح بالادستی و پایین‌دستی) کنند. با این حال شناسایی و معرفی زنجیره ارزش یک صنعت، هرچند کاملا خالی از خطا نباشد، کمک شایانی در ارائه شناخت بهتر صنعت و ارائه تحلیل‌های راهبردی می‌کند. زنجیره ارزش گرافن را می‌توان در قالب تصویر زیر نشان داد.



نمودار ۱- زنجیره ارزش گرافن

تولیدکنندگان گرافیت و تجهیزات تولید گرافن را می‌توان به عنوان اولین حلقه‌های زنجیره ارزش بازار گرافن معرفی کرد و مشتریان، تمامی تجهیزات و کالاهایی است که گرافن در بخشی از فناوری تولید آن به کار گرفته شده است که در حلقه نهایی این زنجیره قرار داد. در ادامه هر یک از حلقه‌های زنجیره فوق به طور مختصر معرفی شده‌اند.

۱،۶. تولیدکنندگان سنگ گرافیت

گرافیت اصلی‌ترین ماده خام مورد استفاده در زنجیره ارزش گرافن است. این ماده توسط تولیدکنندگان گرافیت استخراج و فرآوری شده و سپس در اختیار شرکت‌های تولیدکننده گرافن و تولیدکنندگان تجهیزات اصلی[1] قرار می‌گیرد. کشور چین با سهمی بالغ بر ۷۰ درصد از تولید

[1] Original equipment manufacturer

گرافیت جهان، اصلی‌ترین تولیدکننده این محصول در سطح جهان است. از جمله شرکت‌های مطرح در این حوزه نیز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ✓ China Carbon Graphite Group- کشور چین
- ✓ Lomiko Metals Inc.- کانادا
- ✓ Focus Graphite- کانادا

۲،۶. تامین‌کنندگان تجهیزات و ماشین‌آلات

این گروه شامل تولیدکنندگان تجهیزات و ماشین‌آلاتی هستند که جهت فرآوری گرافیت و تبدیل آن به گرافن مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله این تجهیزات، می‌توان به تجهیزات مورد استفاده در فرآیندهای CVD، لایه‌برداری میکرومکانیکی، رشد همبافته و ... اشاره کرد. تجهیزات و ماشین‌آلات تولید شده توسط این حلقه در اختیار تولیدکنندگان گرافن و توسعه‌دهندگان کاربرد گرافن قرار می‌گیرد. شرکت‌های زیر از جمله تولیدکنندگانی هستند که در این حلقه از زنجیره ارزش بازار گرافن قرار می‌گیرند:

- ✓ planarTECH LLC - ایالات متحده آمریکا
- ✓ AIXTRON SE- آلمان
- ✓ AnnealSys- فرانسه
- ✓ CVD Equipment Corporation- ایالات متحده آمریکا
- ✓ Picosun- فنلاند

۳،۶. مراکز تحقیقاتی

یکی از مهم‌ترین حلقه‌های زنجیره ارزش بازار گرافن، مراکز تحقیقاتی هستند که زمان و منابع خود را صرف تولید دانش مورد نیاز سایر بازیگران این حوزه می‌کنند. این مجموعه‌ها با کمک نیروهای متخصص خود گنجینه دانشی غنی را از روش‌های تولید و کاربرد گرافن توسعه می‌دهند که در مشارکت با سایر تولیدکنندگان و توسعه‌دهندگان کاربردهای گرافن منجر به خلق ارزش افزوده فراوانی می‌شوند. از جمله این مراکز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ✓ University of Manchester
- ✓ Rice University
- ✓ ORNL

۴،۶. تولیدکنندگان گرافن

تولیدکنندگان گرافن شامل شرکت‌هایی هستند که انواع مواد و فیلم‌های گرافنی را تولید می‌کنند. این شرکت‌ها محصولات خود را به طور مستقیم یا با واسطه (از طریق توزیع‌کنندگانی مانند Cheaptubes، Graphene Supermar، Reade و ...) در اختیار مراکز تحقیقاتی، تولیدکنندگان تجهیزات اصلی و اجزاء واسط قرار می‌دهند. این شرکت‌ها محصولات خود را بصورت مواد گرافنی خام (پودر گرافن، اکسید گرافن، گرافن عامل‌دار و محلول گرافن) و محصولات بهبودیافته (نانوکامپوزیت‌ها، رنگ‌ها و پوشش‌ها، ذخیره انرژی، فیلم‌های رسانای شفاف و ...) عرضه می‌کنند. به عنوان مثال می‌توان به شرکت‌های زیر در این حلقه اشاره کرد:

- ✓ Graphene Square
- ✓ M Graphenea
- ✓ M Graphene Laboratories
- ✓ M Graphene Frontiers
- ✓ M Graphenenano
- ✓ Angstron Materials

- ✓ M Applied Graphene Materials
- ✓ M Graphene Technologies
- ✓ M Haydale
- ✓ M Vorbeck
- ✓ M XG Sciences

۵،۶. توسعه‌دهندگان واسط

توسعه‌دهندگان واسط پس از خرید نانومواد از تولیدکنندگان، اقدام به تولید انواع کامپاندها، مستربچ، فیلم و فویل کرده و به طور مستقیم به بازار عرضه می‌کنند. این شرکت‌ها محصولات خود را در تعامل با مراکز تحقیقاتی، تولیدکنندگان مواد خام و محصولات نهایی طراحی و تولید می‌کنند. دو شرکت زیر متعلق به این گروه هستند:

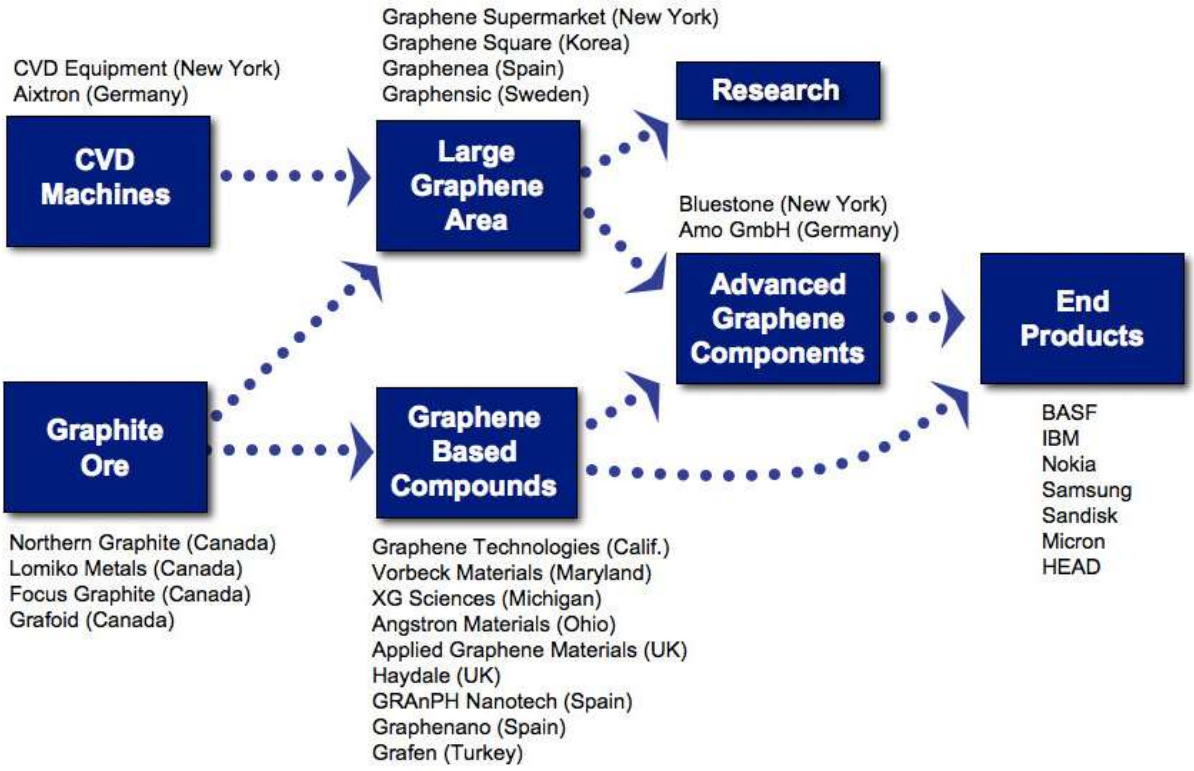
- ✓ AMO GmbH
- ✓ BASF

۶،۶. تولیدکنندگان تجهیزات اصلی و توسعه‌دهندگان محصولات

این گروه شامل تمامی شرکت‌هایی هستند که برای مشتریان نهایی، محصولاتی را توسعه داده و تولید می‌کنند که در بخشی از فناوری تولید آن‌ها از گرافن استفاده شده است. این شرکت‌ها می‌توانند اجزای گرافنی محصولاتشان را از حلقه‌های پیشین زنجیره ارزش شامل تولیدکنندگان گرافن و تولیدکنندگان اجزاء واسط تهیه کنند. همچنین همکاری‌های استراتژیک بین این شرکت‌ها و بازیگران حلقه‌های قبلی زنجیر جهت توسعه بازار محور محصولات بسیار رایج است. این شرکت‌ها در صنایع مختلفی فعالیت می‌کنند که از این میان می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ✓ الکترونیک
  - Samsung
  - Sandisk
  - IBM
  - Nokia
  - Fujitsu
  - Bosch
- ✓ کالاهای مصرفی
  - HEAD
  - Schott
  - Bosch
  - Dyson
- ✓ خودروسازی
  - BMW
  - Rolls-Royce
  - Borg Warner
  - Group Antolin Ingenieria
- ✓ مواد شیمیایی
  - BASF
  - Akzo Nobel
  - Merck
  - Bayer
- ✓ هوافضا
  - NASA
  - Lufthansa
  - Airbus

- Integrated Aerospace Sciences Corporation
- ✓ پزشکی
- Siemens
- Johnson Matthey
- ✓ رنگ
- Hempel
- ✓ ساختمان‌سازی
- Tata Steel



۷. ایمنی، مقررات و استانداردهای بین‌المللی

امروزه نانومواد قابلیت‌های فراوانی را جهت بهبود خواص و عملکرد بسیاری محصولات از خود به نمایش گذاشته‌اند، اما در عین حال این مواد به دلیل خواص بعضاً ناشناخته خود می‌توانند بهداشت و سلامت محیط زیست و انسان‌ها را مورد تهدید قرار بدهند. از طرف دیگر استانداردسازی گام بسیار مهمی از تجاری‌سازی فناوری‌های نوظهور است که منجر به اعتمادسازی در مورد کیفیت و ایمنی یک محصول برای بازیگران زنجیره ارزش یک صنعت می‌شود. در ادامه به بررسی اثرات گرافن بر محیط زیست و سلامت و همچنین وضعیت تدوین و توسعه استانداردها و آیین‌نامه‌های مربوط به این حوزه پرداخته شده است.

۱،۷. اثرات گرافن بر محیط زیست و سلامت

گرافن و مواد وابسته به آن عاری از خطرات احتمالی برای سلامت و محیط ریست نیست و نمی‌توان آن را از این دو حوزه تحقیق حذف نمود. بررسی سطح سمیت و ایجاد محدودیت‌های ایمنی در صورت لزوم از اهمیت اساسی برخوردار است. اندازه کوچک و خواص فیزیکی شیمیایی منحصر به فرد گرافن و مواد وابسته به آن ممکن است خطرات بالقوه برای بهداشت و محیط زیست داشته باشد. تعیین و حل و فصل این مسائل نه تنها برای کاربرد آن در دستگاه‌ها مفید است، بلکه برای کاربردهای پزشکی ممکن مانند دستگاه‌های نانویی که در برخورد مستقیم با سلول‌ها و بافت‌ها هستند، از همیت فراوانی برخوردار باشد.

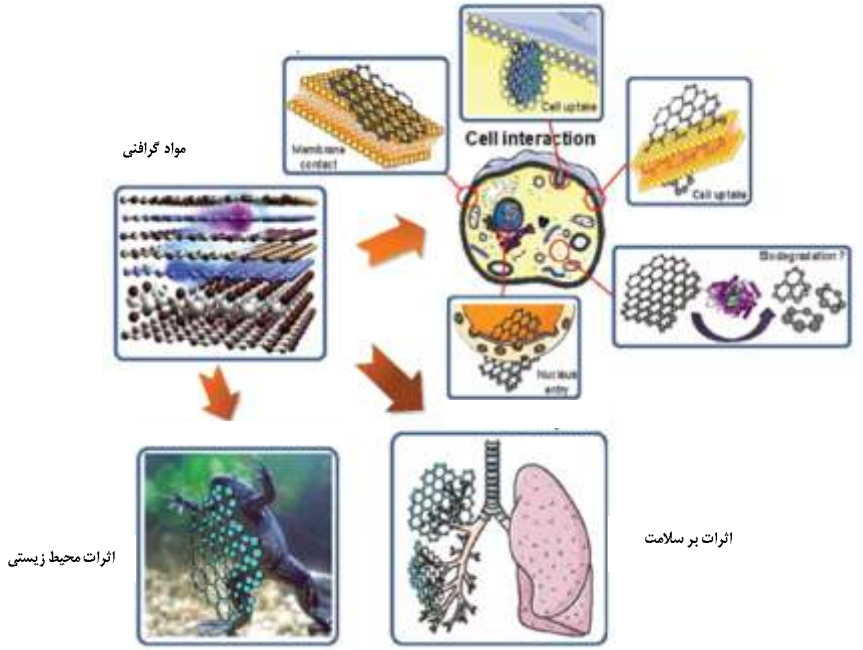
در مطالعات اولیه، سمیت گرافن و اکسید گرافن در شرایط آزمایشگاهی و داخل بدن مورد ارزیابی واقع شده است، در حالیکه برای مواد دو بعدی دیگر این موضوع تا به امروز بسیار کم انجام شده است. برخی از این مطالعات نشان داده است که هیچ گونه ریسک خاصی برای استفاده از گرافن و مواد وابسته به آن وجود ندارد، در حالیکه برخی دیگر از بررسی‌ها شواهدی مبنی بر احتمال خطرناک بودن آن برای سلامتی نشان می‌دهد. هنگام استفاده از یک نانو ماده، استنشاق یکی از راه‌های ممکن برای برقراری تماس است. برخی از مواد گرافنی اندازه آیرودینامیکی دارند و در اثر استنشاق ممکن است منجر به رسوب در دستگاه تنفسی و تصلب بافت‌های ریه شود. از سوی دیگر، اثرات بیولوژیکی احتمالی آن می‌تواند بسته به خواص فیزیکی و شیمیایی (مانند تعداد لایه‌ها، اندازه، سختی، آبگریزی و عامل‌دار بودن سطح)، دوز استاندارد و خلوص تغییر کند. اطلاعات محدودی از تفاوت رفتار بیولوژیکی بین صفحات بزرگ (اندازه چند میکروکتر) و کوچک (اندازه چندصد نانو متر) گرافن، یا بین گرافن تک لایه و کم لایه موجود می‌باشد.

تحقیقات برای کشف پاسخ‌های بیولوژیکی و سمیت بالقوه مواد گرافنی در مواجه با سیستم‌های زنده ضروری است. این موضوع درک بهتری از تفاوت مواد گرافنی و در نهایت درک بهتری از رابطه مشخصات فیزیکی و شیمیایی آنها و تاثیرشان روی سلامتی و محیط زیست می‌دهد. این مطالعات می‌تواند منجر به طراحی، تولید و ساخت ایمن مواد گرافنی شود و خطرات بهداشتی و محیط زیستی را به حداقل برساند. تا به امروز، تنها مطالعات اندکی روی اثرات زیست محیطی مواد گرافنی صورت گرفته است. با توسعه تولید در ظرفیت بالا و ورود به بازار، قرار گرفتن در معرض شرایط واقعی و درک کامل چرخه عمر مواد گرافنی ضروری است. در غیر این صورت، هرگونه ارزیابی از خطرات بهداشتی نامشخص باقی خواهد ماند.

در حال حاضر تنوع بین نمونه‌ها بالا است. به نظر می‌رسد سمیت مواد گرافنی رابطه نزدیکی با سطح عاملدار آن‌ها دارد. در این رابطه، اندازه مواد گرافنی پارامتر مهم دوم است. فاکتورهای مهم دیگری که می‌تواند به سمیت نانو مواد جدید مرتبط باشد، مانند ایجاد گونه‌های اکسیژن فعال، سمیت غیر مستقیم به دلیل جذب ملکول‌های زیستی، و سمیت فیزیکی به دلیل تعامل مواد گرافنی با چربی‌ها (و ملکول‌های دیگر) تشکیل دهنده غشاء سلولی، بافت‌ها و اندام‌ها است. علاوه بر این، مطالعه جذب سلولی و بافتی به عنوان تابعی از اندازه و عامل‌های شیمیایی مواد گرافنی بسیار مهم است. ابعاد خارجی مواد گرافنی ممکن است برروی جمعیت گیرنده‌های درگیر در مکانیزم نفوذ وابسته به انرژی (به عنوان مثال اندوسیتوز[1]، یک فرایند وابسته به انرژی است که توسط آن سلول‌ها، ملکول‌ها یا نانو ذرات را به وسیله فراگرفتن آن‌ها، یا بیگانه خواری[2] جذب می‌کنند) اثر بگذارند. اگر فرایندهای جانبی، مانند آنچه که در مورد نانو لوله‌های کربنی دیده شد، رخ دهد، لازم است تا از چگونگی اثر مواد دو بعدی روی دستگاه‌های غشایی (مانند اختلال در غشاء) درک کاملی بدست آید.

در سطح زیست محیطی، تاثیر بر ارگانیسم‌هایی که به طور گسترده‌ای به عنوان حسگرهای زیستی طبیعی استفاده می‌شود، مانند گل سنگ‌ها[3]، و بر روی برخی از گونه‌های آبزی و یا میکروارگانیسم‌ها نیاز است که بررسی شود. همچنین نیاز است تا این مواد دو بعدی روی مدل‌های جدید موجود زنده برای تحقیق درباره رفتار آن‌ها در آب و خاک اعمال شود. همه این مطالعات به منظور به حداقل رساندن خطرات بهداشتی و زیست محیطی ضروری می‌باشد.

[1] endocytosis
[2] phagocytosis
[3] lichens



تصویر ۵- برهمکنش‌های احتمالی مواد گرافنی با سلول‌ها و ارگان‌های زنده

در این زمینه، چند هدف به هم پیوسته باید دنبال شود:

- ✓ توضیح چگونگی تعامل مواد گرافنی با سلول‌ها در سطح سلولی و ملکولی با ارزیابی نقش بای‌و- کرووا[1] (به عنوان مثال پروتئین‌ها زمانی که در تماس با مایع بیولوژیکی قرار می‌گیرد، ماده نانویی را احاطه می‌کنند)؛
- ✓ پرداختن به اثرات مواد گرافنی بر روی بافت‌های خاص، مانند سیستم ایمنی بدن و تعیین نشانگرهای زیستی برای خطرات بیماری‌زای محتمل؛
- ✓ شناسایی هرگونه خطر ممکن مواد گرافنی در رابطه با خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها، با تمرکز ویژه بر روی مهمترین روش‌های تماس (مانند پوست، ریه)؛
- ✓ درک فرایندهایی که پایداری و تجزیه زیستی مواد گرافنی را کنترل می‌کند، کلید هموار کردن راه برای دستگاه‌های واسط نانویی است؛
- ✓ بررسی تاثیر بالقوه مواد گرافنی بر روی گونه‌های آبزی (به عنوان مثال دوزیستان)، موجودات خشکی و میکروارگانیسم‌ها؛
- ✓ توسعه یک استراتژی استاندارد و معتبر آزمایش مواد گرافنی، برای فعال کردن مقررات.

به طور کلی در بلند مدت بررسی سمیت و خطرات زیست محیطی مواد گرافنی منافع زیر را به همراه خواهد داشت:

- ✓ تولید، توسعه و برنامه‌های کاربردی
- ✓ ارزیابی ریسک فنی و تکنولوژی در چشم انداز آن
- ✓ توسعه ابزار برای کنترل تغییرات کلیدی در چشم انداز اجتماعی برای تکنولوژی‌های جدید
- ✓ همسو کردن فناوری‌ها، به عنوان مثال یکپارچه‌سازی قابلی‌ت‌های محوری استراتژی و تکنولوژی در جهت نیازهای جامعه

جدول زمانی شکل زیر نشان می‌دهد در بازه زمانی ۲ تا ۳ سال آینده بررسی و درک تاثیر مواد گرافنی بر سلول‌های مختلف و شناسایی خطرات احتمالی صورت می‌گیرد. در بازه زمانی ۴ تا ۷ سال آینده توسعه مقررات مواد گرافنی و در ۷ تا ۱۰ سال آینده ارزیابی تاثیر مواد گرافنی و اعتبارسنجی مسایل ایمنی برای توسعه فناوری صورت می‌گیرد.

[1] bio-coroa



تصویر ۶- جدول زمانی برای مطالعه تاثیر مواد گرافنی بر سلامت و محیط زیست

۲،۷. استانداردها

در حال حاضر گرافن یکی از سرخط‌های اصلی اخبار علمی و تکنولوژی است. در شرایطی که تا چند سال گذشته افراد مجبور به جست و جوی تامین‌کنندگان این ماده بودند، هم‌اکنون در تمامی مجله‌های حوزه علم و فناوری پیشنهادهای فروش انواع گرافن، این ماده جادویی وجود دارد. عرضه این محصول با چنان سرعتی در حال رشد است که قیمت آن در آینده شاهد کاهش بیشتری خواهد بود.

بعضی از خبرگان بازار پیش‌بینی می‌کنند که صنعت گرافن خود راهش را تا پایین‌ترین سطح زنجیره ارزش باز خواهد کرد؛ با این حال فارغ از تایید یا رد این پیش‌بینی که امری دشوار است، چیزی که واضح است افزایش حجم تولید انواع گریدهای گرافن و مشتقات آن است. حتی در حال حاضر این افزایش حجم تولید از میزان تقاضای دانشمندان، محققان و مصرف‌کنندگان نیز پیشی گرفته است. با توجه به ازدیاد تعداد عرضه‌کنندگان و حجم تولید آن‌ها، چالش اساسی پیش رو، اطمینان از کیفیت این محصولات است.

کیفیت و خلوص نانومواد کربنی تولید شده از همان روزهای ابتدایی به طور مرتب در حال افزایش است؛ این مواد در ابتدا کالای مصرفی نبوده فلذا حتی اگر نیمی از محصولات نیز معیوب بوده و از کیفیت لازم برخوردار نبودند، مصرف‌کنندگان تامین‌کننده خود را تغییر نمی‌دادند. هر چند در حال حاضر حجم تولید به شدت افزایش یافته است، با این حال این مواد هنوز فاصله زیادی با یک کالای مصرفی دارند، چرا که حجم تولید به تنهایی شاخص مناسبی برای پذیرش عمومی یک محصول نیست. اقبال تجاری به وسیله ارتباط و شفافیت به دست می‌آید. در مورد نانومواد چون گرافن این موضوع از طریق روشن شدن خواص و قابل اتکا بودن مشخصات فنی مطرح شده حاصل می‌شود. این مشخصات فنی را در حال حاضر تولیدکنندگان، خود تدوین و ارایه می‌کنند؛ این موضوع سبب شده است تا قیاس این مواد با دشواری‌های فراوانی همراه شود. یکی از راه‌حل‌های برون رفت از این وضعیت، تدوین استانداردهای بین‌المللی از سوی موسساتی چون ISO، IEC، ASTM و سایر متولیان این موضوع است.

فرایند استانداردسازی گرافن در حال حاضر توسط کمیته فناوری نانو ISO TC229 در حوزه‌های زیر در حال تدوین و توسعه است:

- ✓ اصطلاحات (ISO 80004-13 Graphene and other two dimensional materials)
- ✓ مشخصات فنی (ISO TR 19733 Matrix of characterization and measurement methods for grapheme)
- ✓ سلامت و ایمنی

همچنین ISO به همراه IEC TC113 بر روی چندین پروژه مشترک کار می‌کنند:

- ✓ اصطلاحات (IEC 62565-3-1 Nanomanufacturing -- Material specifications -- Part 3-1: Graphene -- Blank detail specification)
- ✓ مشخصات فنی (IEC TS 62607-6 series on electrical and physical characterization)

در این راستا همچنین نهاد دیگری تحت عنوان شورای گرافن در سال ۲۰۱۳ با هدف ایجاد فضایی برای ایجاد تعامل بین متولیان استانداردسازی و خبرگان حوزه‌های تولید، مصرف و تجاری‌سازی کاربردهای گرافن جهت تسریع تدوین استانداردها و شفافیت بیش‌تر آن‌ها تاسیس شده است. این شورا یکی از اعضای رسمی ISO/ANSI TC 229 Nanotechnology Standards Development Group و USNC Technical Advisory Group to IEC TC 113, Nano-Electrotechnologies است که در حال حاضر بیش از ۵،۰۰۰ عضو داوطلب از بین محققان، دانشمندان، دانش‌پژوهان و خبرگان صنعتی دارد.

فصل چهارم
تحلیل پتنت

مقدمه

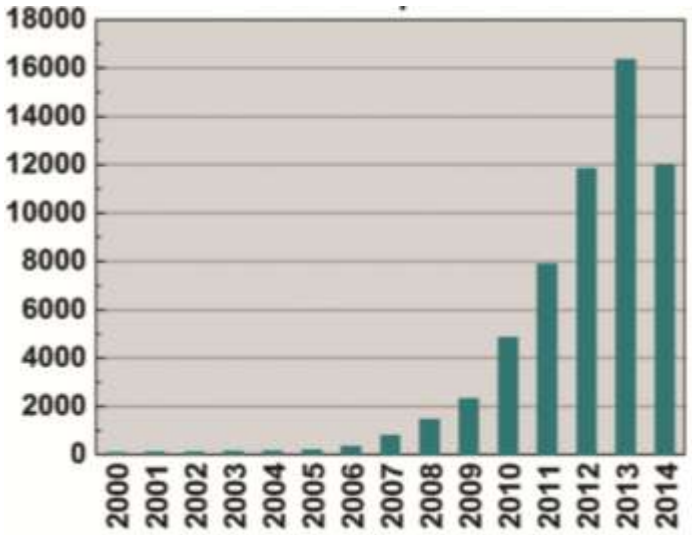
پژوهش بر روی گرافن و مواد مرتبط (GRM)[1]، نمونه‌ای از فناوری نانو انتقالی نوظهور است، که اکتشافات آزمایشگاهی به کاربردها منتقل شده است. یکی از شاهدهای این ادعا نیز افزایش فعالیت‌های ثبت پتنت شرکت‌های سراسر جهان در این حوزه بعد از سال ۲۰۰۷ است. البته مفهوم فناوری انتقالی[2]، غالبا برای تحقیقات زیست‌پزشکی استفاده می‌شود که در آن ارتباط بین تحقیقات پایه‌ای و مطالعات بالینی به خوبی شکل گرفته است، با این حال اصول آن می‌تواند در موارد دیگر نیز به کار گرفته شود. یکی از نمونه‌های قابل توجه، مقاومت‌های مغناطیسی بزرگ (GMR)[3] است که از تحقیقات آزمایشگاهی به فناوری ذخیره اطلاعات غالب در چند سال اخیر، انتقال پیدا کرد. به طور مشابه گرافن نیز این پتانسیل را دارند تا اثرگذاری عمیقی داشته باشند: یکپارچه‌سازی گرافن با قطعات الکترونیکی پایه سیلیکون و یا جایگزین کردن آن با سیلیکون در بعضی از کاربردها، نه تنها می‌تواند سبب بهبود کارایی تجهیزات موجود شود، بلکه کاربردهای نوینی را نیز ممکن می‌سازد. عنصر کربن نیروی پیشران چندین تحول تکنولوژیک در طول تاریخ بوده است: در قرن نوزدهم تولید انرژی با استفاده از سوخت‌های فسیلی جزء جدایی‌ناپذیر انقلاب صنعتی بوده است؛ در قرن بیستم پلاستیک‌های پایه کربن صنعت ساخت را متحول کرد و در قرن بیست و یکم نیز کربن گرافیتی می‌تواند یکی از اجزای کلیدی انقلاب تکنولوژیک باشد.

۱. تحلیل دورنمای پتنت‌های گرافن

در نمودار زیر روند افزایشی تعداد مقالات چاپ شده در حوزه گرافن نمایش داده شده است. دلایل متعددی برای رشد مقالات این حوزه وجود دارد؛ اول از همه می‌توان به ویژگی‌های منحصر به فرد گرافن اشاره کرد. این ویژگی‌ها سبب شده است تا گرافن چه به صورت مجزا و چه در ترکیب با سایر مواد در بسیاری از حوزه‌های تحقیقاتی و کاربردی مورد استفاده قرار بگیرد؛ با افزایش شناخت روی گرافن، فرصت‌های جدیدی نیز کشف می‌شود. دلیل دوم نیز اتکای فناوری گرافن به یکی از فراوان‌ترین عناصر موجود روی کره زمین، یعنی کربن است. این فناوری در ذات خود کاملا پایدار و اقتصادی است. دلیل سوم نیز ساختار دوبعدی (صفحه‌ای) گرافن است. این موضوع سبب انطباق آن با

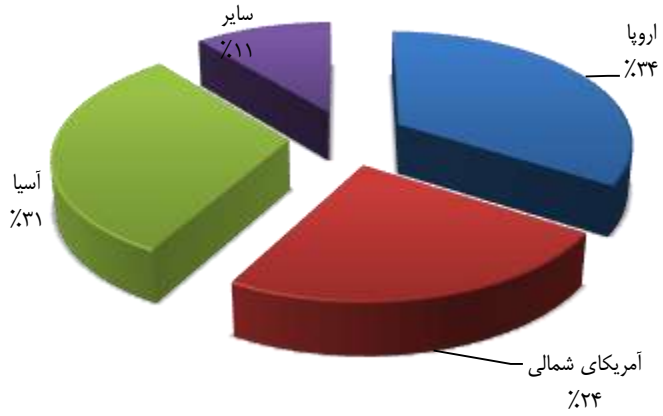
[1] Graphine and Related Materials
[2] translational technology
[3] Giant magnetoresistance

تکنولوژی‌های تولید حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات و کاربرد آن در کنار سایر مواد سنتی مانند سیلیکون می‌شود. تمامی این دلایل نویدبخش خلق یک بستر فناوری قدرتمندتر، منعطف‌تر، پایدارتر و اقتصادی‌تر هستند، که باعث شده، تحقیقات گرافن به داغ‌ترین موضوع در حوزه علم مواد تبدیل شود. با این حال به دلیل ساختار منحصر به فرد گرافن، بسیاری از فرصت‌های پیش روی این ماده تقریبا ناشناخته است، که روشن ساختن آن نیازمند استفاده از روش‌های بسیار پیچیده می‌باشد. فرانک ویلچیک[1]، برنده جایزه نوبل درباره قابلیت این ماده گفته است "احتمالا گرافن تنها سیستمی است که در آن، ایده‌های حوزه تئوری کوانتوم می‌تواند منجر به نوآوری‌های قابل ثبت شود."



نمودار ۲- وضعیت تعداد مقالات منتشر شده در رابطه با گرافن طی سال‌های ۲۰۰۰ تا آگوست ۲۰۱۴

فعالیت‌های ثبت پتنت در حوزه گرافن تقریبا از حدود سال ۲۰۰۷ رشد فزاینده‌ای پیدا کرده است. پیشران‌های اصلی این موج نیز ناشی از فعالیت‌های ثبت اختراع شرکت‌های بزرگ و دانشگاه‌های کره‌جنوبی و ایالات متحده آمریکا است. علاوه بر این، در چین نیز سطح بالایی از فعالیت‌های ثبت پتنت مشاهده شده است. این جریانات سبب شده است تا تعدادی از تحلیل‌گران نتیجه‌گیری کنند که اکثر نوآوری‌های اروپا در حوزه گرافن، در نقاط دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این وجود تحلیل وضعیت مالکیت فکری این حوزه نشان می‌دهد که اروپا هنوز پایگاه مهمی در پتنت‌های گرافن دارد و فرصت قابل توجهی برای حراست از ارزش‌های خلق شده در آینده را داراست.



نمودار ۳- توزیع جغرافیایی مقالات علمی حوزه گرافن تا ابتدای سال ۲۰۱۴

[1] Frank Wilczek

با توسعه هر چه بیشتر فضای فناوری گرافن و بلوغ پتنت‌های گرافن، توزیع مجدد مالکیت‌های فکری موجود اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد و اروپا به راحتی می‌تواند از این فرصت تجاری‌سازی و فروش پتنت‌ها استفاده کند. روی هم رفته، دورنمای پتنت گرافن به سرعت در حال رشد است و در همین فرصت کوتاه هم‌تراز با صنایع نیمه‌هادی و زیست‌فناوری شده است که در آن‌ها فعالیت‌های ثبت پتنت بسیار زیاد است. استراتژی پتنت شرکت‌های فعال در این بخش‌ها عمدتا شامل "گسترش پورتفولیو" و "بهینه‌سازی پورتفولیو" است. فعالیت‌های گسترده در این حوزه منجر به ظهور پدیده‌ای با عنوان "جنگل پتنت" شده است که شامل ثبت چندین پتنت دارای همپوشانی است. سیاست‌ها و قوانین گسترده‌ای در حال شکل‌گیری است که این مسائل را محدود کند؛ چرا که وجود اطلاعات دقیق در این حوزه زیربنای تعیین استراتژی‌های صحیح و برنامه‌ریزی‌های تجاری‌سازی پتنت است.

تحلیل صاحبان مطرح پتنت‌های گرافن (مالکان پتنت[1]) و کاربردهای آن‌ها، نشان‌دهنده ارتباط گسترده گرافن با بخش‌های صنعتی از جمله خودرو، کامپیوتر و صنایع شیمیایی است. کاربرد پتنت‌ها در درون و بین این بخش‌های صنعتی، در طول زمان می‌تواند بسیار تغییر کند و این موضوع، فارغ از دقت تهیه این نقشه‌ها، یکی از چالش‌های خوانندگان نقشه‌های مالیکیت‌فکری گرافن است. شناخت و مسیریابی دقیق دورنمای در حال رشد پتنت‌های گرافن، برای کسانی که به دنبال حراست از حقوق تحقیقات گرافن خود هستند، بسیار ضروری است. در حال حاضر نیز ثبت پتنت به عنوان یکی از قالب‌های مالکیت فکری که نقش مهمی در تحقق ارزش تجاری آینده دارد، به یکی از مدل‌های کسب و کار در بخش توسعه فناوری، خصوصا در حوزه تحقیقات گرافن تبدیل شده است. مقایسه وضعیت مقالات مربوط به گرافن و کاربردهای پتنت شده در سطح جهان نشان می‌دهد، که نیاز مبرمی به تمرکز و یکپارچه‌سازی فعالیت نهادهای آکادمیک (که تعیین‌کننده روند مقالات هستند) و بازیگران مطرح صنعتی (که مسئول پتنت‌های ثبت شده‌اند) وجود دارد.

با توجه به ویژگی‌های پتنت‌های ثبت شده در حوزه گرافن، به نظر می‌رسد دورنمای این حوزه با چالش‌هایی از جمله "جنگل پتنت" و پتنت‌های ثبت شده دارای همپوشانی روبرو باشد. در حال حاضر شاهد فعالیت‌های نسبتا گسترده ثبت پتنت در زمینه گرافن هستیم که در گام‌های ابتدایی توسعه فناوری قرار دارد و علاوه بر آن در صنایعی کاربرد دارد که به شدت در زمینه درخواست ثبت پتنت فعال هستند. از آن جایی که معمولا در درخواست‌های ثبت پتنت مربوط به گرافن، نانوساختارهای کربنی با عناوین دیگری مطرح می‌شوند، ترسیم چشم‌انداز این حوزه با دشواری‌های زیادی همراه است. علاوه بر این مسائل مربوط به نام‌گذاری پتنت‌های گرافن کاملا حل و فصل و تثبیت نشده‌اند. داوران مختلف ممکن است پتنت‌های متعددی را برای یک ترکیب که در صنایع مختلف و توسط خبرگان دیگر با نام‌های دیگری استفاده می‌شوند را ثبت کنند. گاهی استفاده از نام‌های مختلف برای یک ترکیب مشخص ممکن است یک تلاش کاملا عامدانه برای ایجاد ابهام باشد. حتی در ادبیات آکادمیک نیز به این موضوع اشاره شده است که در فضایی که کیفیت ارزیابی پتنت ضعیف است (به دلیل عدم تخصص کافی ارزیاب‌های یک حوزه فناوری خاص) بازیگران پیشرو قدرتمند، ترغیب می‌شوند تا با حجم بالایی از فعالیت‌های ثبت پتنت، عامدانه "جنگل پتنت" خلق کنند که البته این موضوع می‌تواند تاثیرات منفی روی نوآوری نیز داشته باشد.

با این حال علی‌رغم چالش‌های مطرح شده، فرصت‌های متعددی نیز وجود دارد که سازمان‌های تحقیقاتی و آکادمیک، شرکت‌های کوچک و چند ملیتی باید از آن‌ها استفاده کنند. از این جمله می‌توان به امکان مشارکت صنعت و دانشگاه و انتقال تمرکز از روی پتنت‌های توزیع سنتز گرافن به کاربردهای نهایی کمتر تثبیت شده (و یا شناخته نشده) اشاره کرد.

۲. روند زمانی ثبت پتنت‌های گرافن

در جدول زیر خلاصه‌ای از بانک اطلاعاتی مورد استفاده جهت تحلیل پتنت‌های حوزه گرافن ارایه شده است. تمامی تحلیل‌ها و گزارش‌هایی که در ادامه این بخش ارایه شده است، بر پایه این مجموعه داده یا زیرمجموعه‌های آن تهیه شده است. مجموعه اطلاعات جهانی درخواست ثبت اختراع گرافن بین سال‌های ۲۰۰۵ تا انتهای سال ۲۰۱۴ شامل بیش از ۲۵،۰۰۰ درخواست پتنت در بیش از ۱۳،۰۰۰ خانواده پتنت است. این درخواست‌ها ممکن است در مرحله بررسی و تایید قرار داشته باشند و الزاما به معنای پتنت‌های ثبت شده نیستند. یک خانواده پتنت شامل

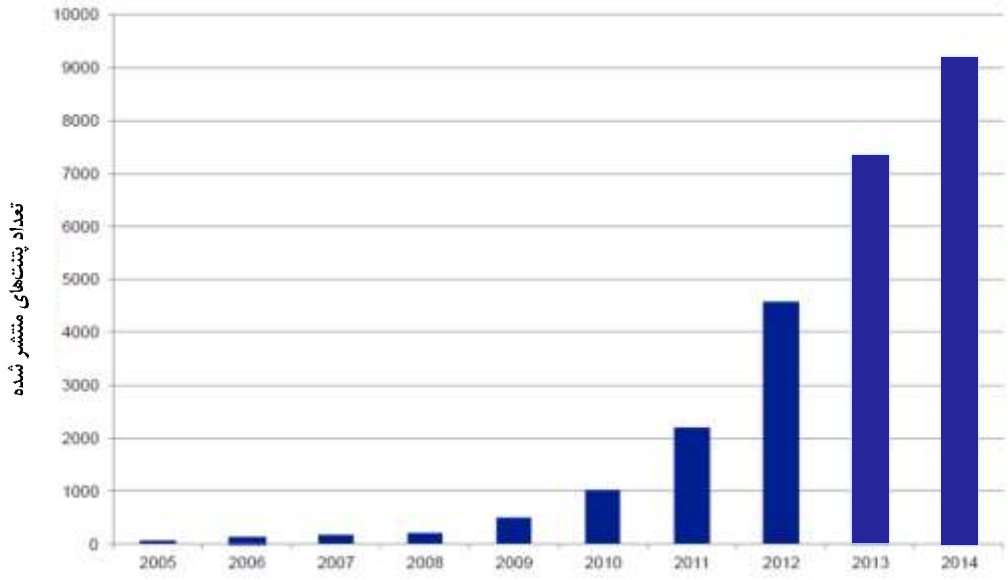
[1] patent assignees

یک یا تعداد بیشتری از درخواست‌های ثبت پتنت است که از یک درخواست مقدم نشات می‌گیرند. تحلیل خانواده‌های پتنت تصویر دقیق‌تری از تعداد اختراعات ثبت شده را ارایه می‌دهد، چرا که در هر خانواده پتنت در واقع یک اختراع وجود دارد و این در حالی است که تحلیل صرف تعداد درخواست‌های پتنت موجب دوباره شماری می‌شود چرا که یک خانواده پتنت ممکن است شامل چندین درخواست پتنت باشد، اگر صاحب اختراع در چندین کشور پرونده تشکیل داده باشد. در نتیجه همان‌طور که گفته شد تحلیل خانواه پتنت نتایج دقیق‌تری در سطح اختراعات ارایه می‌کند.

جدول ۶- خلاصه مجموعه داده‌های جهانی پتنت در حوزه گرافن

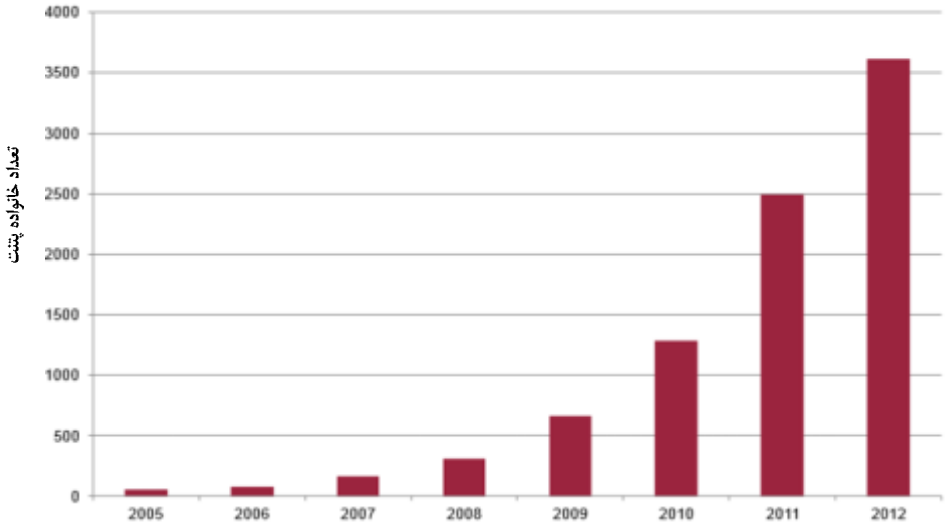
تعداد خانواده پتنت	۱۳،۳۳۵
تعداد درخواست‌های ثبت پتنت	۲۵،۸۵۵
سال انتشار	۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴
سال بیشترین درخواست	۲۰۱۴
بیشترین درخواست‌کننده	سامسونگ (کره‌جنوبی)

در نمودار زیر روند تعداد درخواست‌های ثبت پتنت طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ ارایه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود این روند طی سال‌های گذشته کاملا صعودی بوده، به طوری که آخرین سال دوره بررسی، با بیش از ۹،۰۰۰ ثبت پتنت، نقطه اوج تعداد این درخواست‌ها بوده است.



نمودار ۴- روند تعداد درخواست‌های ثبت پتنت

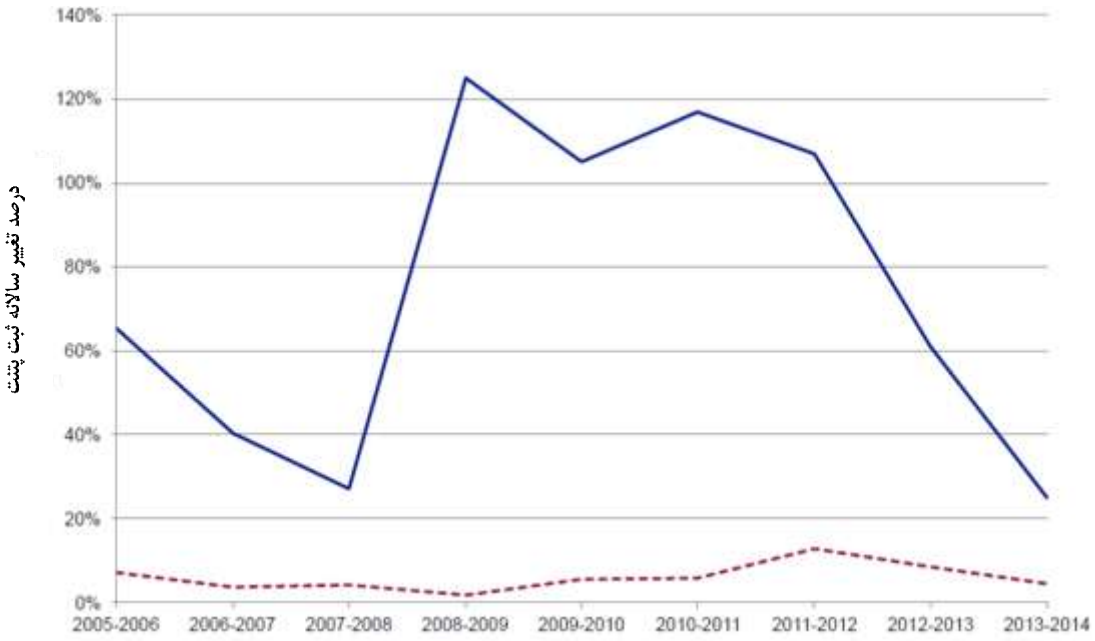
نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد فعالیت‌های ثبت پتنت در حوزه گرافن تقریبا از سال ۲۰۰۷ قوت گرفته است. روند رشد این فعالیت‌ها تقریبا مشابه روند رشد نشر مقالات علمی در این حوزه است، که گواهی از تغذیه رشد فناوری گرافن با استفاده از این پژوهش‌های آکادمیک است. جالب توجه است فعالیت‌های ثبت مالکیت فکری در حوزه گرافن به پیش از ۲۰۰۴ بازمی‌گردد. بایگانی پتنت‌ها نشان می‌دهد، بعضی از فرایندهایی که منجر به تولید گرافن می‌شوند در سال ۱۸۹۶ ثبت شده‌اند. اغلب پتنت‌های ثبت شده پیش از سال ۲۰۰۶ متعلق به موسسات تحقیقاتی و استارت‌آپ‌های ایالات متحده آمریکا است و این در حالی است که حجم قابل توجهی از فعالیت‌های ثبت پتنت، بعد از سال ۲۰۰۶ آغاز می‌شود. پس از سال ۲۰۰۷ نیز موج نوآوری توسط شرکت‌های چندملیتی کره‌جنوبی خصوصا سامسونگ و موسسات تحقیقاتی مرتبط با آن تغذیه شده است.



نمودار ۵- روند ثبت خانواده پتنت‌ها بر اساس اطلاعات ثبت پتنت مادر

در نمودار فوق نیز روند تعداد خانواده پتنت‌ها تا سال ۲۰۱۳ نشان داده شده است. از آن‌جایی که سایر درخواست‌های ثبت پتنت یک خانواده به طور متوسط تا دو سال بعد از ثبت پتنت مادر رخ نمی‌دهد، در نتیجه اطلاعات مربوط به سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ ناکامل است. نمودار فوق بر اساس اطلاعات ثبت پتنت مادر است.

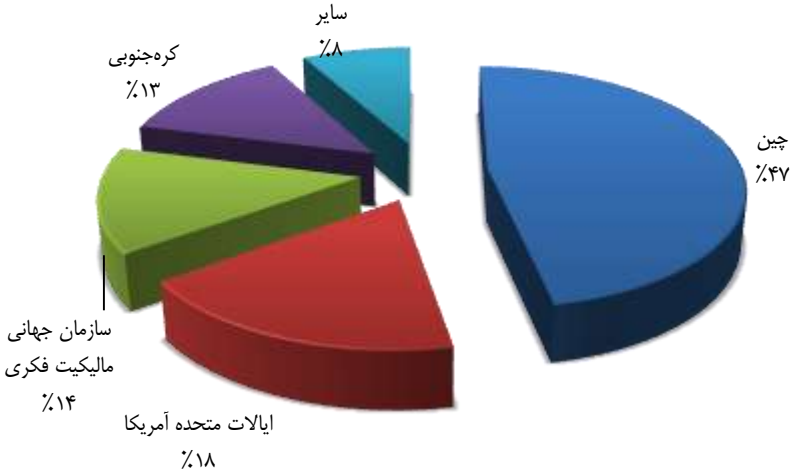
سطح فعالیت‌های ثبت پتنت، به طور کلی تقریبا با یک نرخ ثابت رشد پیدا کرده است. در نمودار زیر رشد سالانه فعالیت‌های جهانی ثبت پتنت در تمامی فناوری‌ها و حوزه گرافن ارایه شده است. به عنوان مثال از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹ فعالیت‌های ثبت پتنت در مجموع تمام فناوری‌ها ۱/۸ درصد رشد کرده است و این در حالی است که در همین دوره رشد سالانه در حوزه گرافن برابر ۱۲۴/۹ درصد بوده است. بر اساس این نمودار فعالیت‌های ثبت پتنت در حوزه گرافن از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸ رشد آرامی را پشت سر گذاشته است، اما در سال ۲۰۰۸ شاهد یک رشد انفجاری بوده است. همچنین نمودار ذیل گواه این موضوع است که رشد فعالیت‌های ثبت پتنت در حوزه گرافن به طور قابل توجهی بیشتر از نرخ رشد فعالیت‌های کلی ثبت پتنت است.



نمودار ۶- سرعت رشد فعالیت‌های ثبت پتنت در حوزه گرافن در مقایسه با کلیه فناوری‌ها

۳. بررسی کشورهای پیشرو در زمینه گرافن

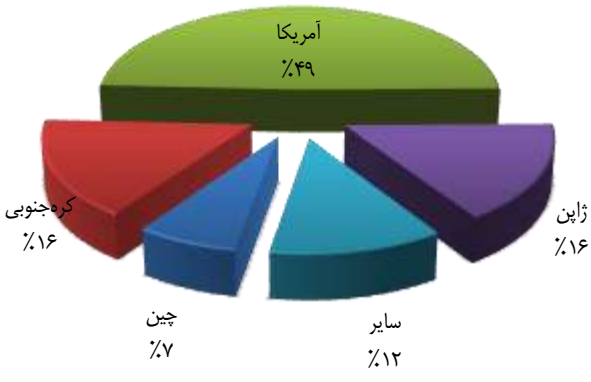
نتایج تحلیل جغرافیایی پتنت‌های ثبت شده، می‌تواند شاخص مناسبی برای مشخص کردن مکان‌های اصلی نوآوری و بازارهای بالقوه باشد. صحت این فرض زمانی روشن‌تر می‌شود که بدانیم روند ثبت پتنت‌ها، الگوی استاندارد توسعه فناوری را دنبال می‌کند. بررسی توزیع جغرافیایی مجموعه اطلاعات ثبت پتنت نشان می‌دهد که تقریبا نیمی از پتنت‌ها، اولین بار در کشور چین ثبت شده‌اند. به طور معمول تحلیل اولین کشورهای ثبت پتنت (کشوری که پتنت اولین بار در آنجا ثبت شده است) شاخص خوبی برای شناسایی محل اصلی اختراعات است؛ چرا که بسیاری از مخترعین، مالکیت فکری اختراعشان را اولین بار در کشوری ثبت می‌کنند، که در آن فعالیت دارند. البته این استدلال و نتیجه‌گیری در سال‌های اخیر که ملاحظات فراوانی به استراتژی‌های ثبت پتنت اضافه شده است (از جمله مالیات) و فرآیند انتخاب پیچیده‌تر شده است، کمی تضعیف شده است. در نمودار زیر سهم اولین کشورهای ثبت پتنت در حوزه گرافن نشان داده شده است.



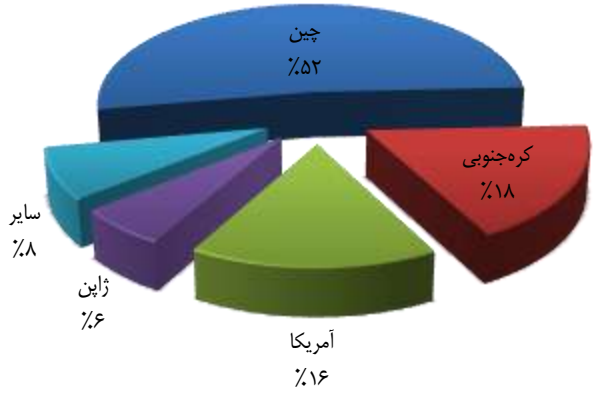
نمودار ۷– سهم اولین کشورهای ثبت پتنت در حوزه گرافن

در نمودارهای زیر سعی شده است تا روند تغییرات توزیع اولین کشورهای ثبت پتنت را در دو دوره پیش از ۲۰۱۰ و بعد از آن مقایسه شود. نکته قابل توجه در این مقایسه، تغییر سهم کشور چین از ۷ درصد تا قبل از سال ۲۰۰۹ به بیش از ۵۰ درصد طی ۵ سال بعد از آن است. همچنین سهم ایالت متحده آمریکا نیز از ۴۹ درصد به ۱۶ درصد تغییر پیدا کرده است.

پتنت‌های ثبت شده در سال ۲۰۰۹ و پیش از آن

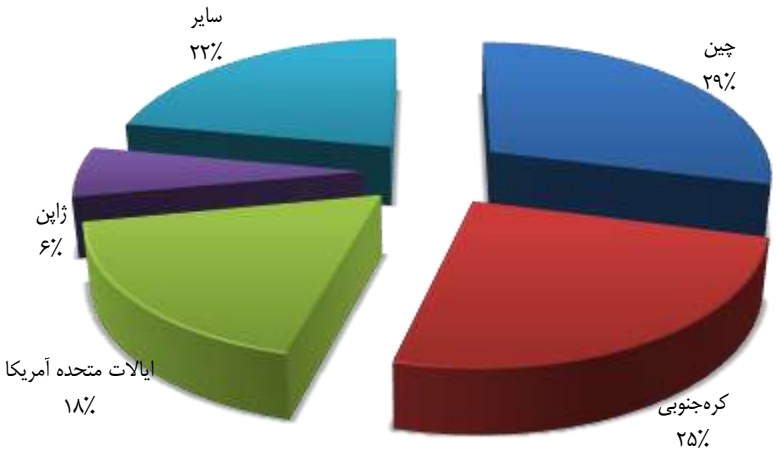


پتنت‌های ثبت شده در سال ۲۰۱۰ و بعد از آن



نمودار ۸– مقایسه سهم کشورها به عنوان اولین محل ثبت پتنت طی دو دوره پیش از ۲۰۱۰ و بعد از آن

بررسی توزیع کشورهای درخواست‌کننده ثبت پتنت، شمای مشابهی با اولین کشورهای ثبت پتنت از نقطه نظر سه کشور اول ارایه می‌کند؛ سه کشور چین، کره‌جنوبی و ایالات متحده آمریکا همان‌طور که جزء اولین کشورهای ثبت پتنت هستند، اولین کشورهای متقاضی ثبت پتنت نیز بوده‌اند. متقاضیان ثبت خانواده‌های پتنت در چین با سهم ۲۹ درصدی از متقاضیان کل جهان در جایگاه نخست قرار دارند، البته این در حالی است که سهم چین به عنوان اولین محل ثبت خانواده‌های پتنت ۴۷ درصد است. البته به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که کشور چین نقش پررنگی در فعالیت‌های ثبت پتنت حوزه گرافن دارد. در نمودارهای زیر سهم متقاضیان ثبت پتنتِ کشورهای مختلف ارایه شده است. در رابطه با نمودار ذیل این نکته لازم به ذکر است که سازمان جهانی مالکیت فکری می‌تواند به عنوان اولین محل ثبت پتنت شناخته شود، اما نمی‌تواند به عنوان کشور متقاضی ثبت پتنت مطرح شود.



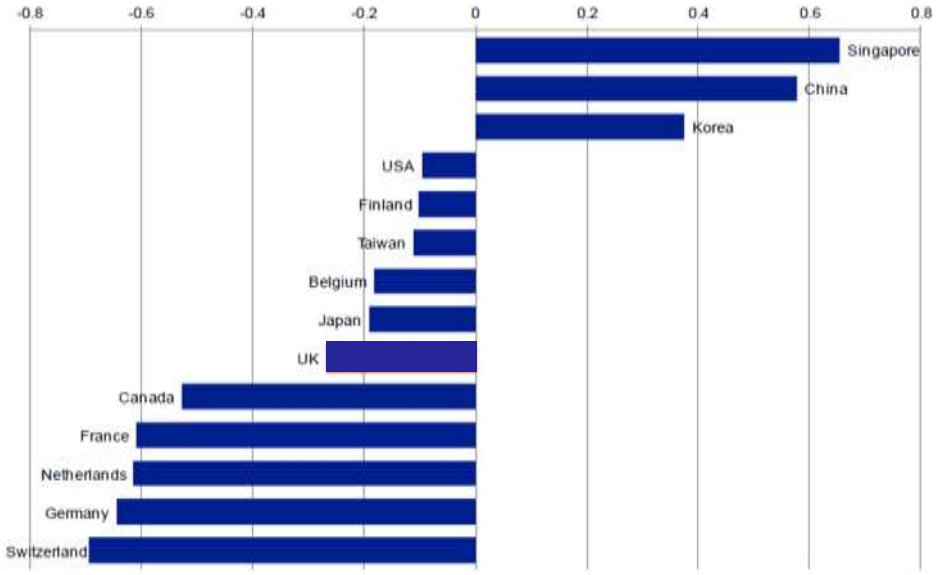
نمودار ۹– سهم کشورهای متقاضی ثبت پتنت

نکته دیگری که باید به آن توجه کرد گرایش بیشتر بعضی از کشورهای خاص به حوزه گرافن و فعالیت‌های ثبت پتنت در آن است. در نمودارهای گذشته تنها مقایسه‌ای از اندازه فعالیت‌های ثبت پتنت در کشورهای مختلف ارایه شد، با این حال استفاده از اطلاعات تکمیلی می‌تواند، اطلاعات دقیق‌تری را از میزان تمرکز این کشورها بر حوزه گرافن ارایه کند. بدین منظور از شاخص تخصص نسبی[1] برای مقایسه کشورها استفاده خواهد شد. این شاخص نشان‌دهنده نسبت فعالیت‌های ثبت پتنت یک کشور در حوزه گرافن در مقایسه با فعالیت‌های ثبت پتنت همان کشور در تمامی حوزه‌های فناوری است؛ با استفاده از این شاخص می‌توان مشخص کرد که کدامین کشورها بیشترین گرایش را به فعالیت در این حوزه داشته و بیشترین توان خود را به آن اختصاص داده‌اند.[2]

در نمودار زیر وضعیت شاخص تخصص نسبی کشورهای مختلف در حوزه گرافن نمایش داده شده است. از میان کشورهای ایالات متحده آمریکا، کانادا و انگلستان به دلیل حجم بالای کلیه فعالیت‌های ثبت پتنت، تخصص نسبی کمی در حوزه گرافن داشته‌اند؛ در مقابل کشورهای سنگاپور، چین و کره تخصص نسبی بالایی را در حوزه گرافن به خود اختصاص داده‌اند. سنگاپور به طور خاص سهم کوچکی از فعالیت‌های کلی ثبت پتنت را داراست با این حال نسب بالایی از این فعالیت‌های محدودش به حوزه گرافن اختصاص دارد. از طرف دیگر کشور چین علاوه بر حجم کلی بالای فعالیت‌های ثبت پتنت، سهم بالایی از این فعالیت‌های گسترده را نیز به حوزه گرافن اختصاص داده است و در نتیجه کاملا بر این حوزه تسلط دارد.

[1] Relative Specialization Index

[2] نحوه محاسبه شاخص مذکور در پیوست ارائه شده است.



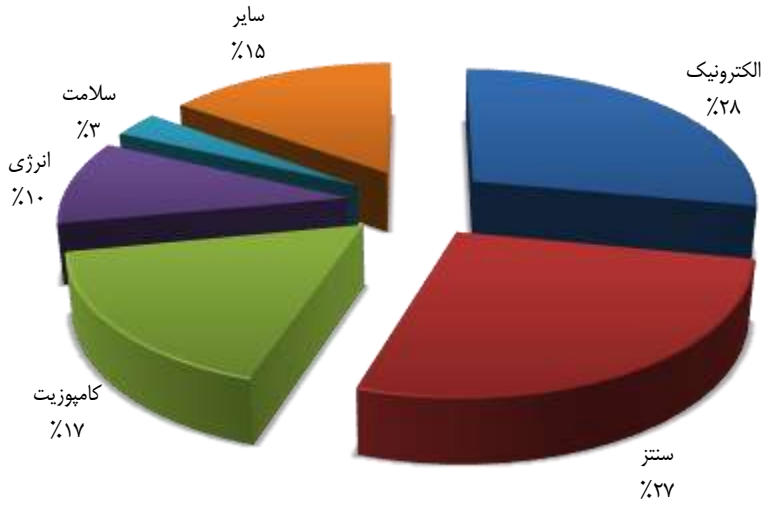
نمودار ۱۰- شاخص تخصص نسبی کشورهای درخواست‌کننده ثبت پتنت

۴. دسته‌بندی پتنت‌ها بر اساس زمینه کاربردی

بررسی دقیق مجموعه پایگاه‌های پتنت نشان می‌دهد، که این ثبت اختراعات در حوزه‌های گسترده‌ای شامل تعیین مشخصات[1]، کامپوزیت‌های پلیمری، نمایشگرهای شفاف، ترانزیستورها، خازن‌ها، سلول‌های خورشیدی، حسگرهای زیستی، جوهرهای رسانا، پنجره‌ها[2]، جاذب‌های اشباع، آشکارسازهای نوری و راکت‌های تنیس هستند. با این حال غالب پتنت‌های ثبت شده در دو بخش اصلی سنتز (برای مثلا تولید گرافن با رسوب بخار شیمیایی، لایه‌برداری و ...) و الکترونیک (برای مثال استفاده از گرافن برای نمایشگرها، ترانزیستورها، چیپ‌های کامپیوتری و ...) است، که هر یک حدود ۳۰ درصد از سهم کل را به خود اختصاص داده‌اند. البته همپوشانی‌هایی نیز بین بخش‌های مختلف وجود دارد؛ این همپوشانی‌ها می‌تواند ناشی از طبیعت بین‌رشته‌ای تحقیقات و گواهی بر یک فناوری **برهم زننده**[3] و **تحول آفرین**[4] باشد.

سهم زیاد بخش‌های سنتز و الکترونیک نشان می‌دهد که دستاوردها هنوز در مراحل اولیه قرار دارند و حوزه‌های وسیعی برای توسعه و پیشرفت وجود دارد. علاوه بر این با توجه به جوان بودن این حوزه و تقاضای بالا برای تولید انبوه، گستردگی تحقیقات و فعالیت‌ها در بخش سنتز، طبیعی به نظر می‌رسد. با این حال انتظار می‌رود با توسعه زیرساخت‌های فناوری گرافن و بلوغ بیشتر این حوزه، توزیع مجدد پتنت‌ها از بخش سنتز به سایر کاربردهای نهایی تثبیت نشده (یا شناخته نشده) ناگزیر باشد.

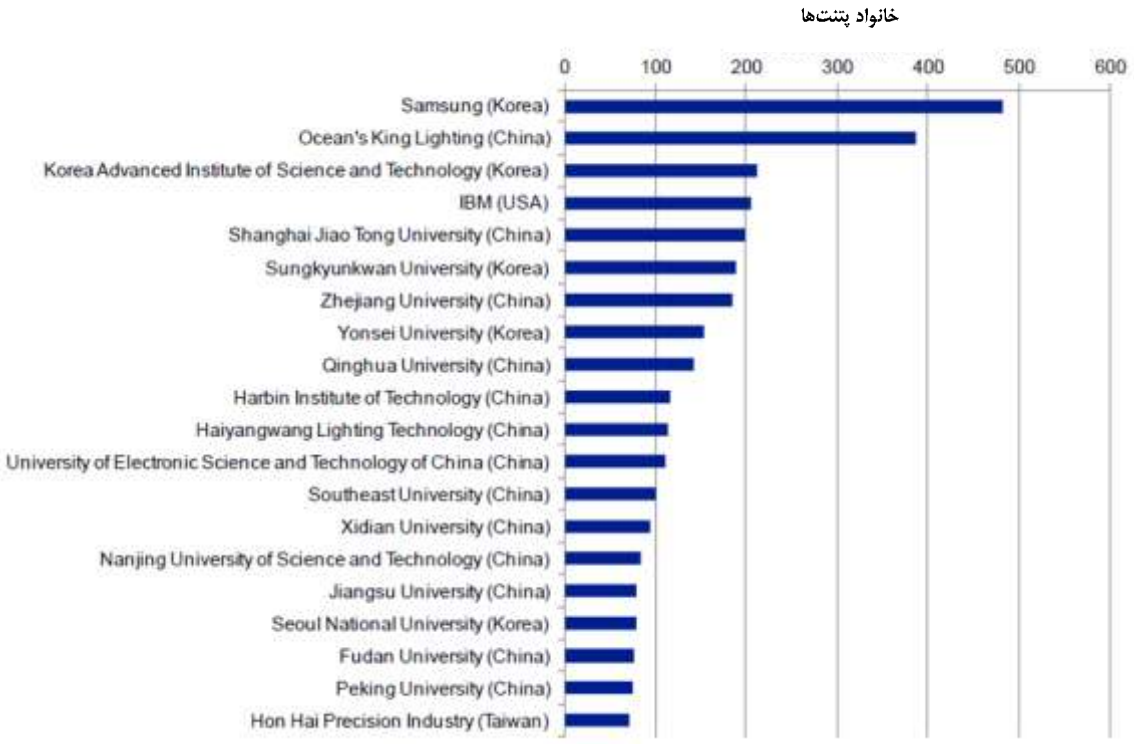
[1] characterization
[2] windows
[3] disruptive
[4] transformational



نمودار ۱۱- نسبت پتنت‌های ثبت شده در بخش‌های مختلف

۵. بررسی سازمان‌های پیشرو در زمینه گرافن

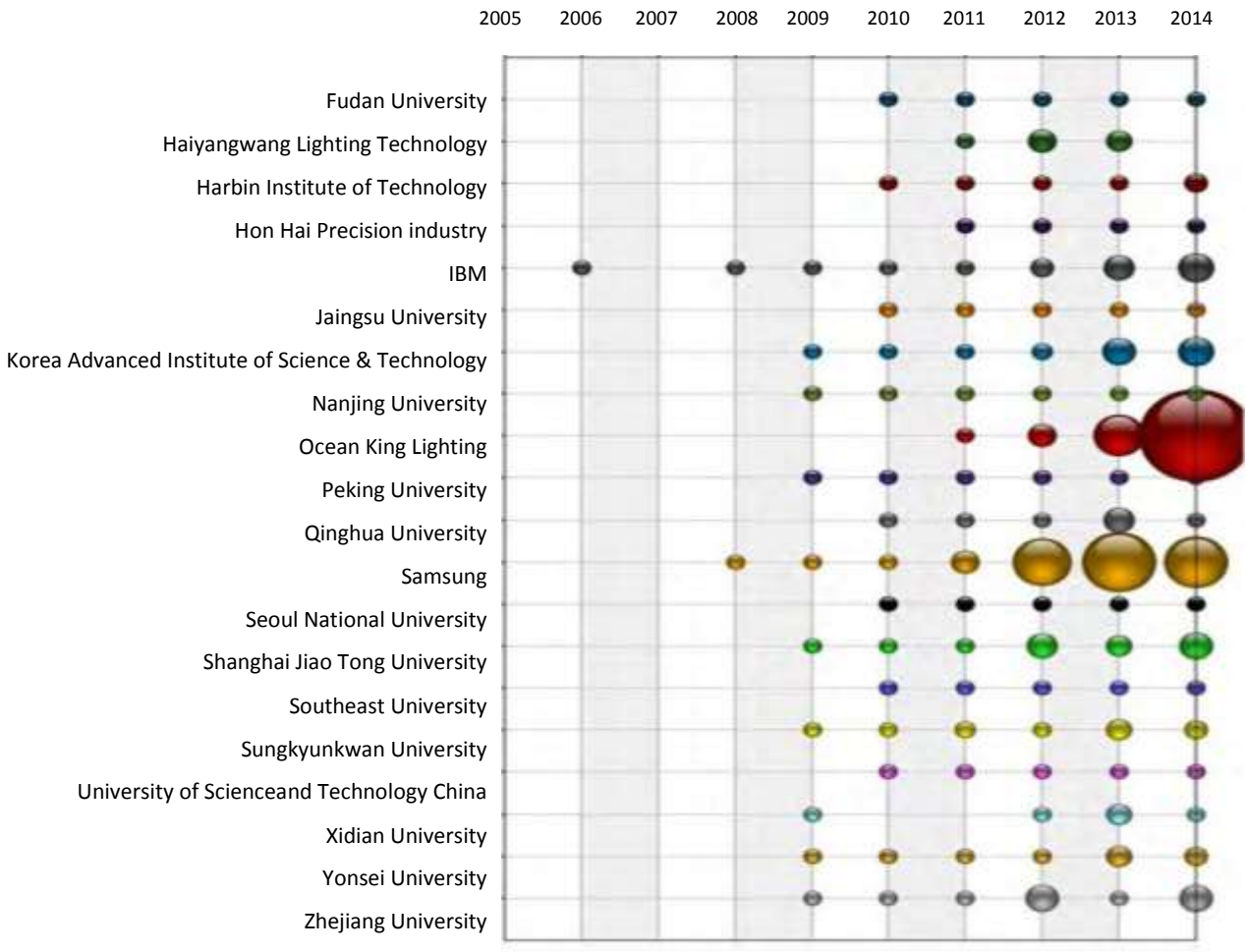
به منظور بررسی اسامی درخواست‌کنندگان ثبت پتنت باید ابتدا پایگاه‌های اطلاعاتی را پالایش کرد؛ به عنوان مثال باید اسامی تکراری را حذف و اشتباهات نگارشی را اصلاح کرد و هم‌ارزها وتفاوت‌های بین‌المللی را نیز در نظر گرفت. نمودار ذیل نتیجه چنین مجموعه اطلاعاتی است که نشان‌دهنده بیست درخواست‌کننده برتر جهانی ثبت پتنت در حوزه گرافن است.



نمودار ۱۲- برترین درخواست‌کنندگان ثبت خانواده‌های پتنت در جهان در زمینه گرافن

همانطور که از وضعیت سهم کشورهای مختلف متقاضی ثبت پتنت انتظار می‌رود، بسیاری از درخواست‌کننده‌های پیشرو ثبت پتنت چینی هستند. با این حال نکته قابل توجه در این لیست، حضور پررنگ مراکز تحقیقاتی آکادمیک است که نشان می‌دهد، اکثر فعالیت‌های حوزه گرافن هنوز ماهیتی پژوهش محور دارد. به نظر می‌رسد تجاری‌سازی گرافن هنوز راه طولانی را پیش رو دارد، هر چند بسیار به آن نزدیک‌تر شده است؛ در این رابطه نیز حضور سه بنگاه تجاری در بین ۵ متقاضی اول جهانی جالب توجه است. سامسونگ کماکان به پیشگام بودن خود در این حوزه ادامه داده است. بررسی درخواست‌های اخیر این شرکت نشان‌دهنده حرکت این شرکت به سمت استفاده از گرافن در تجهیزات الکترونیکی منعطف در کنار ذخیره انرژی است. مجموعه اوژن کینگ لایتینگ[1] طی سال‌های اخیر رشد قابل توجهی را تجربه کرده است. این مجموعه توانسته است از جایگاه نهم در سال ۲۰۱۳ با در اختیار داشتن تنها ۵۰ خانواده پتنت به جایگاه دوم در سال ۲۰۱۴ برسد. اغلب فعالیت‌های این شرکت عمدتا در حوزه ذخیره انرژی و روش‌های آماده‌سازی گرافن است.

نمودار حبابی زیر روند فعالیت‌های ثبت پتنت ۲۰ سازمان برتر را طی ۱۰ سال گذشته نشان می‌دهد. در این تصویر رشد شرکت‌های اوژن کینگ لایتینگ و سامسونگ قابل توجه است.

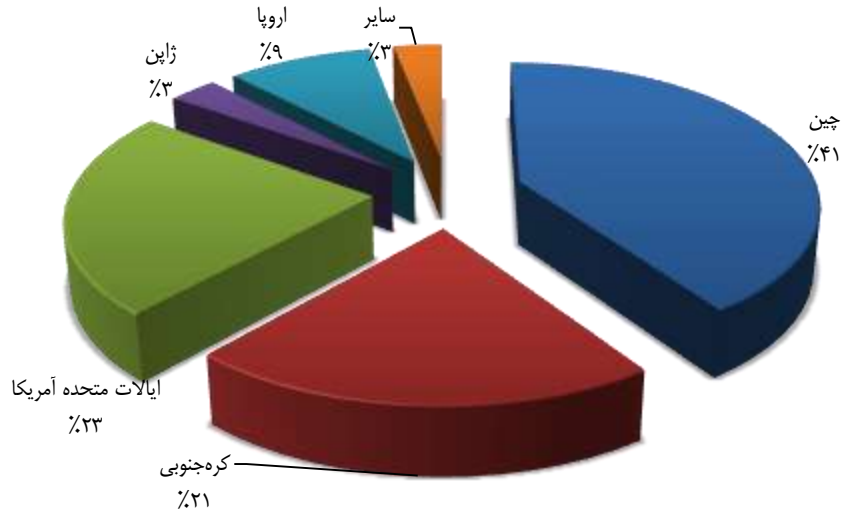


نمودار ۱۳– روند ثبت خانواده پتنت توسط ۲۰ سازمان اول در سطح جهان

[1] Ocean's King Lighting

نمودار ذیل اهمیت کره‌جنوبی، ایالات متحده آمریکا و چین را از نظر صاحبان بیشترین پتنت نشان می‌دهد. شرکت چندملیتی کره‌ای سامسونگ بیشترین درخواست ثبت پتنت را با فاصله زیاد نسبت به نزدیک‌ترین رقیبش داراست. این شرکت طیف بی‌رقیبی از پتنت‌های ثبت شده در حوزه‌های مختلف فناوری گرافن را، شامل روش‌های سنتز، نمایشگرهای شفاف، مواد کامپوزیتی، ترانزیستورها، باتری‌ها و سلول‌های خورشیدی، در اختیار دارد. تعداد درخواست‌های ثبت پتنت سامسونگ نشان‌دهنده سرمایه‌گذاری سنگین و مداوم این شرکت در بحث تحقیق و توسعه گرافن است و این موضوع علاوه بر همکاری‌های این شرکت (درخواست‌های مشارکتی ثبت پتنت) با سازمان‌های تحقیقاتی آکادمیک است. این نکته نیز قابل ذکر است که تقریبا نیمی از درخواست‌های ثبت پتنت مربوط به دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی است و نیم دیگر آن شامل درخواست‌های شرکت‌های کوچک، متوسط و چندملیتی است.

با وجود اینکه اروپا از نظر تعداد پتنت دنباله رو سایر مناطق است، با این حال هنوز جای پای محکمی در دورنمای پتنت دارد. در حال حاضر اولین صاحب برند اروپا شرکت نوکیا فنلاند است که گرافن را در قطعات الکتریکی شامل تشدیدکننده‌ها[1] و الکترودها به کار می‌برد.



نمودار ۱۴- توزیع جغرافیایی مراکز آکادمیک صاحب پتنت تا جولای ۲۰۱۴

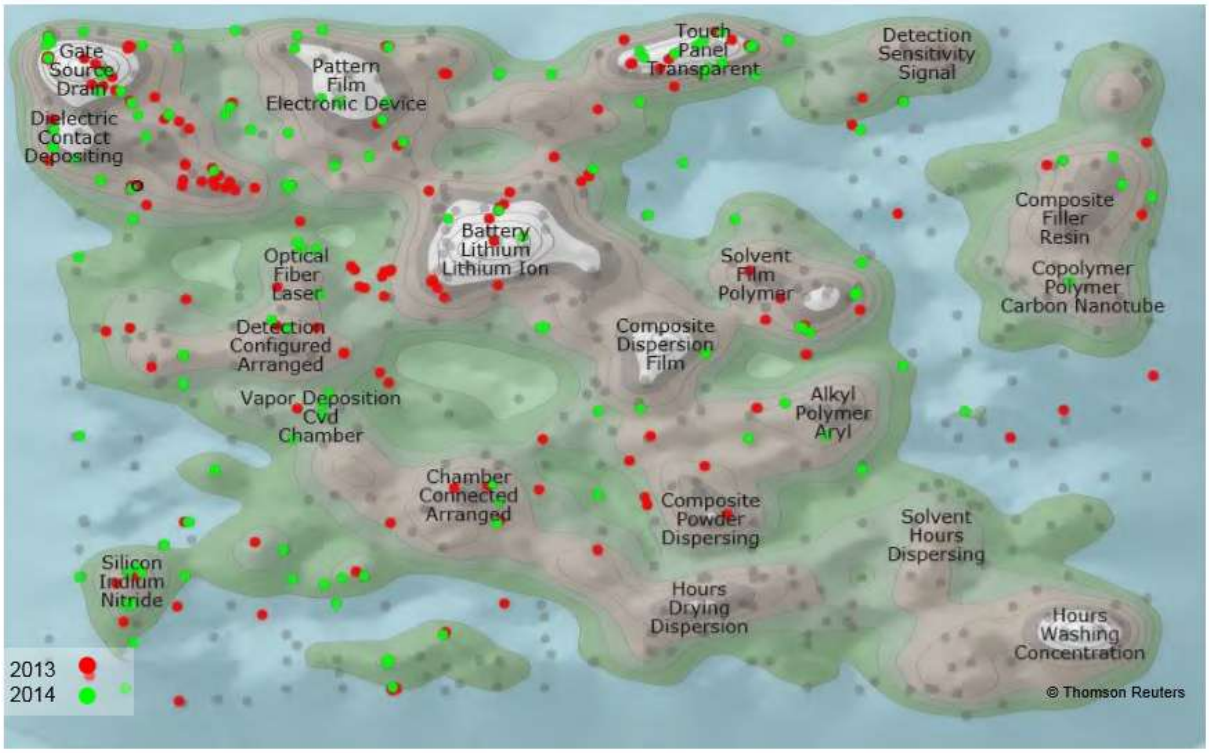
دانشگاه‌های اروپایی نیز در دورنمای پتنت گرافن خودنمایی می‌کنند. در این رابطه حتی همکاری‌های مشترکی بین نهادهای آکادمیک و شرکت‌ها وجود داشته است؛ به عنوان مثال شرکت‌های مطرح BASF و AMO GmbH آلمان و موسسه‌های تحقیقاتی اروپایی درخواست‌های مشارکتی ثبت پتنت نیز داشته‌اند. شماری از شرکت‌های بین‌المللی و دانشگاه‌ها شامل سامسونگ، Vorbeck Materials، Princeton University و Rice University پتنت‌های خود را در اروپا نیز ثبت می‌کنند که این موضوع نشان‌دهنده زیرساخت‌های قوی علمی و فناوری اروپا و اهمیت آن به عنوان یکی از بازارهای فناوری گرافن است.

[1] resonators

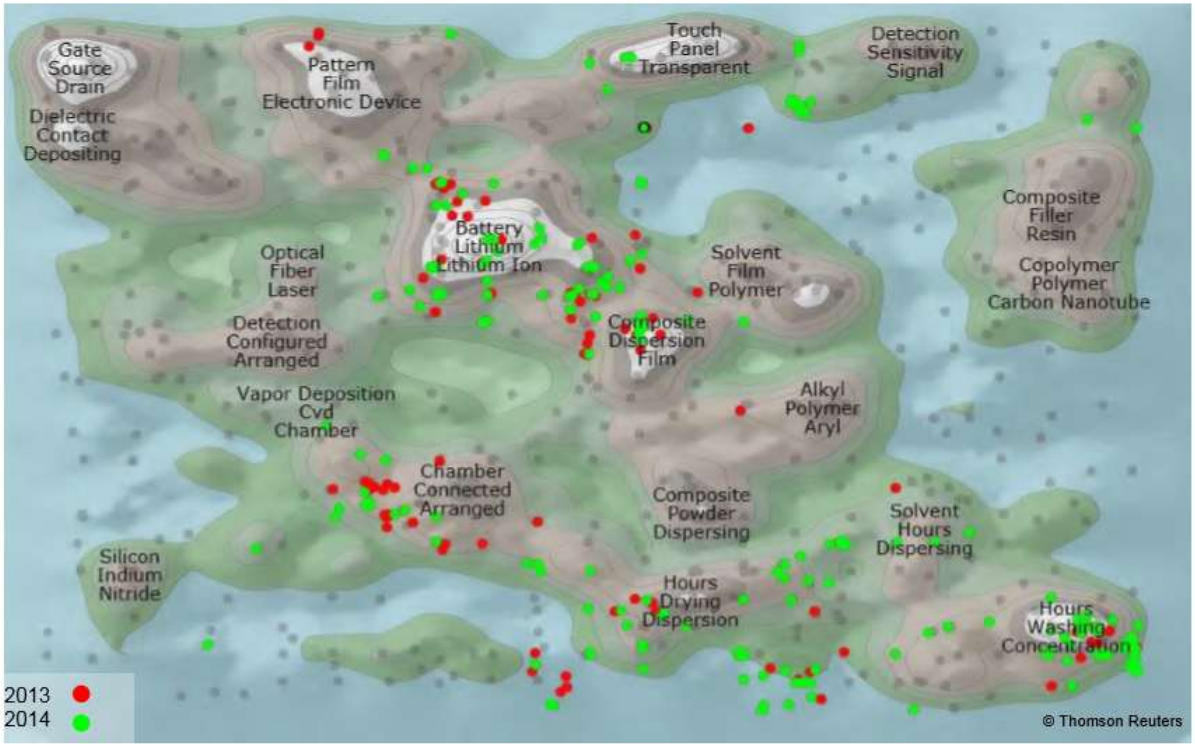
۶. تحلیل نقشه دورنمای پتنت شرکت‌های مطرح

در این بخش نقشه‌های دورنمای پتنت گرافن ارایه شده است. هر نقشه حوزه‌های تمرکز ۴ شرکت اول صاحب پتنت را نشان می‌دهد. یک نقشه دورنمای پتنت، پتنت‌های مشابه را بر اساس کلیدواژه‌های مورد استفاده در عنوان و چکیده پتنت گروه‌بندی می‌کند. هر پتنت در این نقشه با یک نقطه مشخص می‌شود (البته نقطه‌ها در یک نمای بالا از نقشه قابل تشخیص نیستند.) و هر چقدر شدت تمرکز پتنت‌ها در یک حوزه بیشتر باشد (میزان شباهت بیشتر پتنت‌ها)، آن حوزه از نظر توپوگرافیک در جایگاه بالاتری قرار می‌گیرد.

چهار نقشه ذیل تمرکز فعالیت‌های چهار سازمان Samsung، Ocean’s King Lighting، Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) و IBM را نشان می‌دهد. پتنت‌های شرکت سامسونگ به طور کلی پراکنده است، با این حال تغییراتی در حوزه تمرکز این شرکت از ذخیره انرژی در سال ۲۰۱۳ به ترانزیستورها و نیمه‌هادی‌ها در سال ۲۰۱۴ مشاهده می‌شود. Ocean’s King Lighting نیز طی سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ عمدتا در دو حوزه ذخیره انرژی و روش‌های تولید گرافن تمرکز داشته است. در مقابل شرکت IBM در کل این دوره تمرکز خود را روی نیمه‌هادی‌ها حفظ کرده است.



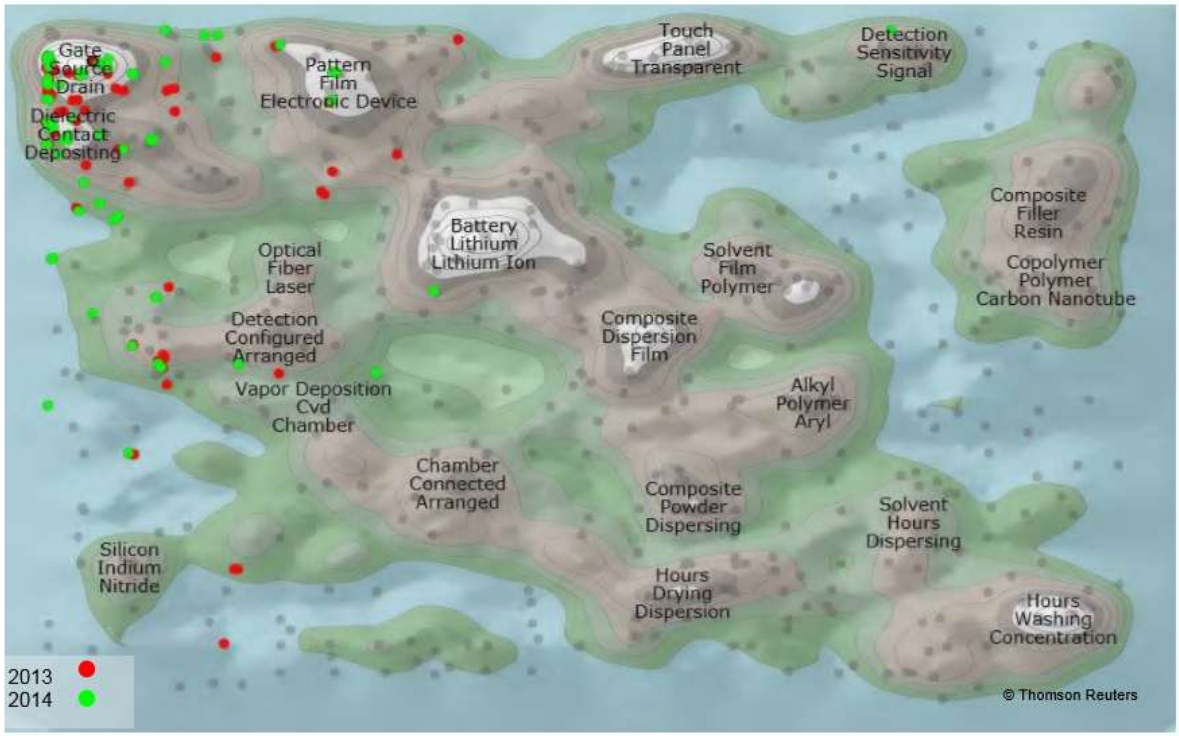
تصویر ۷– نقشه دورنمای پتنت گرافن با توجه به فعالیت‌های شرکت سامسونگ در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴



تصویر ۸- نقشه دورنمای پتنت گرافن شرکت Ocean's King Lighting توجه به فعالیت شرکت در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴



تصویر ۹- نقشه دورنمای پتنت گرافن KAIST توجه به فعالیت شرکت در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴

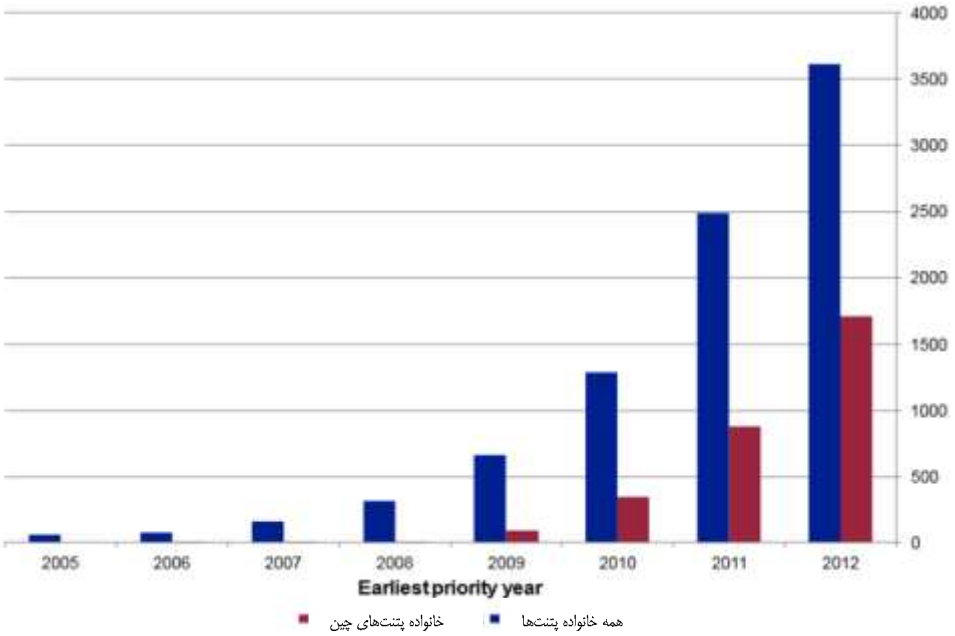


تصویر ۱۰- نقشه دورنمای پتنت گرافن شرکت IBM با توجه به فعالیت شرکت در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴

۷. تحلیل پتنت‌های کشور چین در حوزه گرافن

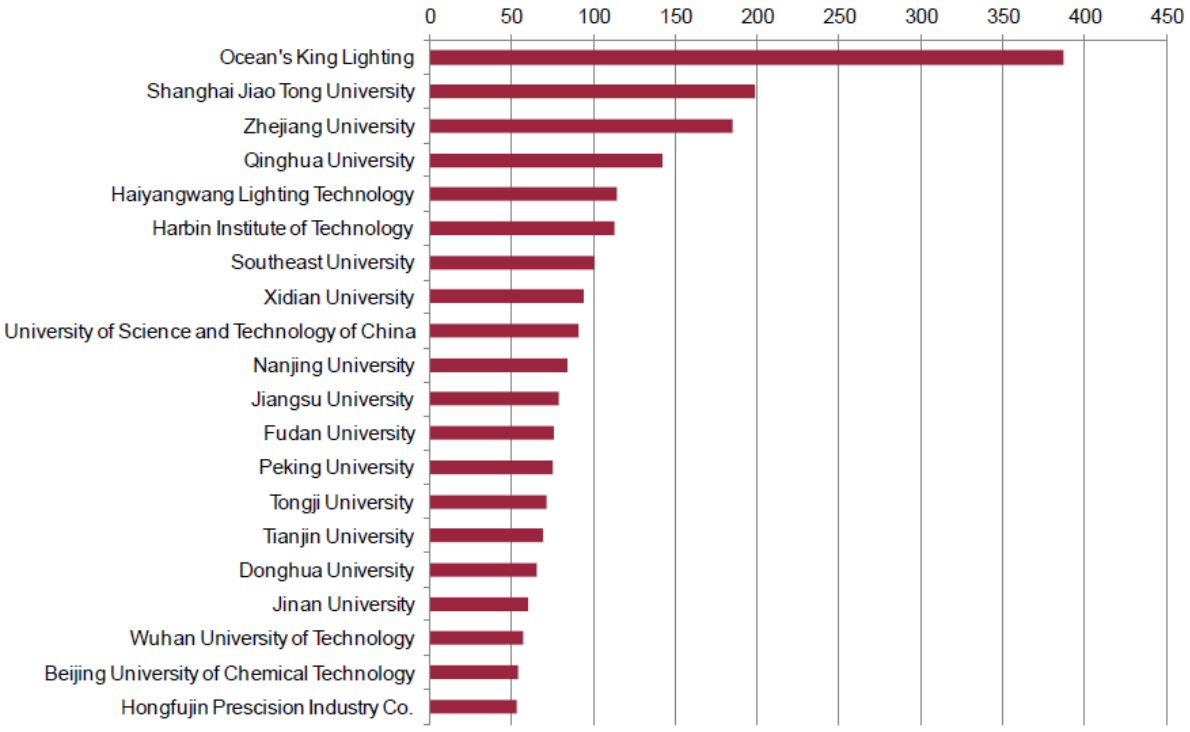
همان‌طور که در بخش‌های گذشته مشاهده شد، چین از سال ۲۰۱۳ شاهد رشد پیوسته فعالیت‌های ثبت پتنت در حوزه گرافن بوده است. در نتیجه با توجه به جایگاه فعلی چین و روند رو به رشد آن، تحلیل جداگانه پتنت‌های ثبت شده چین لازم به نظر می‌رسد.

همان‌طور که در نمودار زیر مشخص است، چین در سال ۲۰۰۸ تنها ۴ درصد از سهم خانواده پتنت‌ها را در سطح جهان به خود اختصاص داده است، اما با یک رشد بالا این سهم را در سال ۲۰۱۲ به حدود ۵۰ درصد رسانده است. با توجه به فاصله دو ساله بین تشکیل پرونده تا تایید یا رد درخواست امکان بررسی دقیق اطلاعات مربوط به سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ وجود ندارد با این حال بررسی اطلاعات اولیه ۲۰۱۴ نشان از تسلط ۸۰ درصدی این کشور در بین درخواست‌های ثبت شده در سطح جهان دارد.



نمودار ۱۵- مقایسه خانواده‌های پتنت ثبت شده در سطح جهان و چین

در نمودار زیر ۲۰ سازمان اول چینی درخواست‌کننده ثبت پتنت حوزه گرافن در چین لیست شده‌اند که ۱۷ مورد آن‌ها دانشگاه هستند. این نمودار نتیجه‌گیری گزارش‌های سابق مبتنی بر وجود تعداد بالایی از دانشگاه‌های مستقل چینی که شمار متوسطی از پتنت‌ها را به نام خود ثبت کرده‌اند تصدیق می‌کند.



نمودار ۱۶- ۲۰ سازمان اول چینی از نظر مالکیت تعداد خانواده‌های پتنت در حوزه گرافن

تعدادی از مفسران معتقدند رشد بسیار سریع فعالیت‌های ثبت پتنت در کشور چین ناشی از محرک‌های سیاسی است. کماکان ۹۵ درصد از پتنت‌های گرافن ثبت شده در چین خانواده‌های تک عضوی هستند، این در حالی است که این آمار در سطح جهانی ۷۱ درصد است. همچنین ۹۸ درصد از این خانواده‌های تک عضوی پتنت به زبان چینی ثبت شده‌اند.

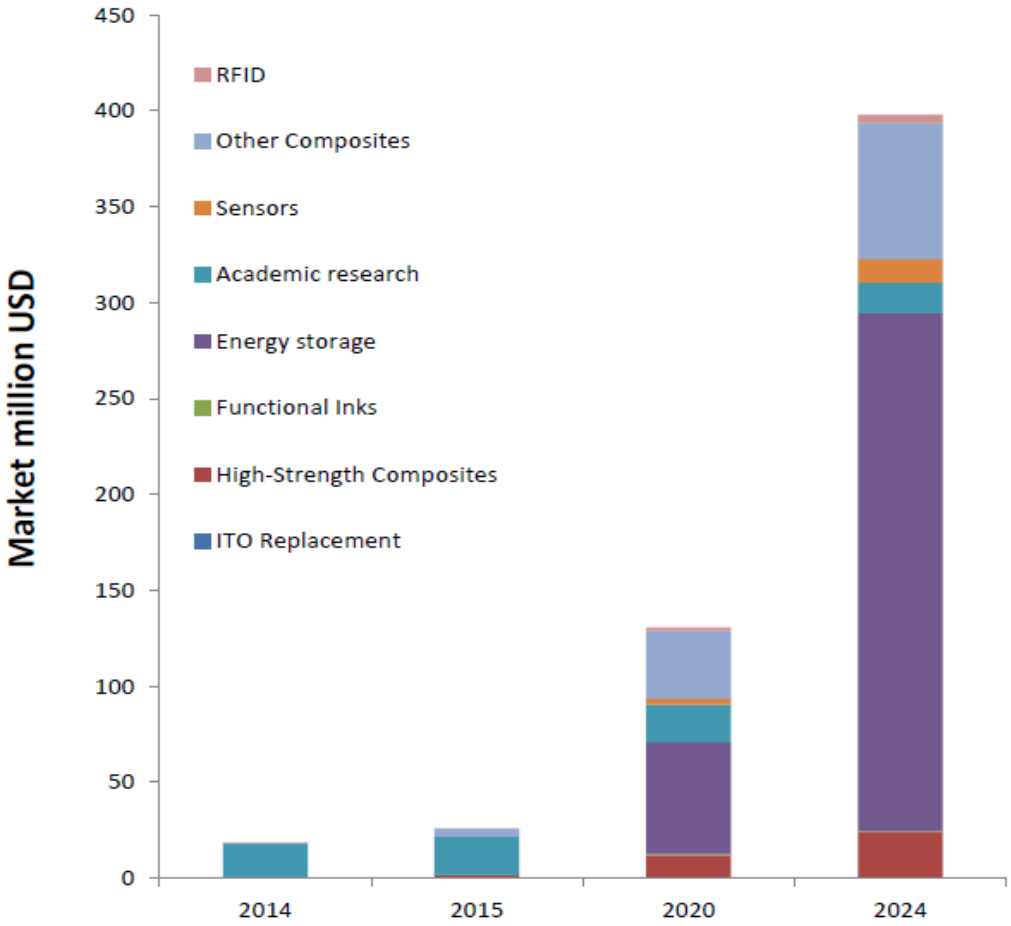
مقایسه روند درخواست‌های داخلی ثبت پتنت مخترعین چینی در حوزه گرافن با درخواست‌های خارجی آن‌ها، نشان‌دهنده رشد دوره‌ای سریع تعداد پرونده‌های داخلی ثبت شده در ماه دسامبر است. یکی از عوامل این پدیده را می‌توان فشارهای اداری برای رسیدن به حدنصاب‌های تعیین شده توسط مراجع دولتی محلی دانست؛ چرا که این حدنصاب‌ها برای ارزیابی بعضی از مقامات بسیار موثر است. مقایسه درصد تایید درخواست‌های داخلی در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد نسبت تایید پرونده‌های ماه دسامبر به هیچ وجه پایین نیست؛ این موضوع حاکی از آن است که پرونده‌هایی که در ماه دسامبر تشکیل می‌شوند تا به حدنصاب‌های تعیین شده برسند، از کیفیت قابل قبولی در چین برخوردارند. با این حال نگاه دقیق‌تر به تعداد پرونده‌های تشکیل شده توسط مخترعین شرکتی در طی سال نشان می‌دهد که سهم آن‌ها از کل فعالیت‌های هر ماه در دسامبر به طور معناداری افزایش می‌یابد. این موضوع حاکی از آن است که شرکت‌ها تحت فشارهای سیاسی، خروجی نوآوری‌های خود را به چند بخش تقسیم کرده تا بتوانند پرونده‌های بیشتری تشکیل دهند. در صورت صحت این فرضیه، به نظر می‌رسد سیاست‌های انگیزشی چین در راستای ارتقاء نوآوری از اثربخشی مناسبی برخوردار نیست.

فصل پنجم
بازار جهانی گرافن

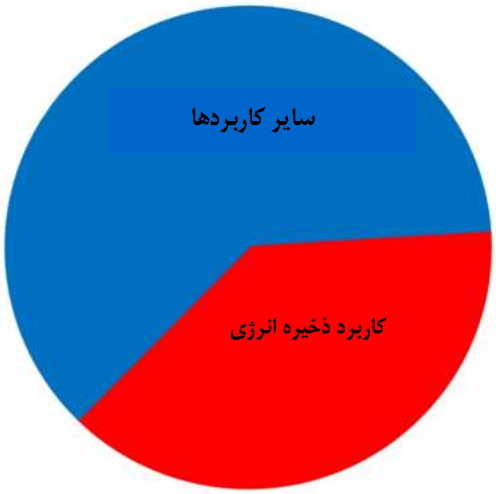
۱. وضعیت بازار جهانی

گرافن یک ماده شگفت‌انگیز است که در سال ۲۰۰۴ کشف شد و توجه زیادی به خود جلب کرده است و هنوز هم در مرحله بحرانی R&D و تجاری‌سازی قرار دارد و کل زنجیره صنعت به صورت کامل شکل نگرفته است. بر اساس گزارش بازار شرکت In Research China اندازه بازار جهانی گرافن در سال ۲۰۱۵، تنها ۲۴/۴ میلیون دلار بوده است و بیشتر تقاضا مربوط به صنایع نیمه‌هادی، باتری‌های لیتیومی و مواد کامپوزیتی است که ۶۰/۱ درصد سهم بازار را تشکیل می‌دهد. به دلیل پیشرفت کاربردهای تجاری شده، بازار جهانی گرافن انتظار می‌رود در سال ۲۰۱۸، به ۶۵ میلیون دلار برسد.

چین تحقیقات بر روی گرافن را دیر شروع کرد اما به دلیل سیاست‌های خود بر روی صنعت مواد جدید به نتایجی دست یافته است. در ضمن چین از طریق راه‌اندازی اتحادیه نوآوری صنعت گرافن و ایجاد پنج پارک صنعتی گرافن (Changzhou، Wuxi، Ningbo، Qingdao و Chongqing) صنعتی شدن گرافن را سرعت می‌بخشد. چین با ۷،۹۰۰ پتنت تا پایان مارس ۲۰۱۵، بیشترین پتنت را در دنیا بر روی گرافن دارد. با دستاوردها و پیشرفت‌های تجاری سازی چین، انتظار می‌رود بازار گرافن چین در سال ۲۰۱۸ به حدود ۲۰۰ میلیون یوان، معادل ۳۰ میلیون دلار برسد.



بر اساس گزارش شرکت IDTechEx، بازار گرافن از ۲۰ میلیون دلار در سال ۲۰۱۴ به بیش از ۳۹۰ میلیون دلار در سال ۲۰۲۴ رشد خواهد کرد. در حال حاضر بازار گرافن تحت سلطه بخش پژوهش است، اما موقعیت آن به سمت رشد بخش‌های دیگری نظیر ذخیره انرژی و کامپوزیت‌ها تغییر خواهد کرد. زنجیره ارزش آن نیز دگرگون خواهد شد، به دلیل اینکه شرکت‌ها به سمت زنجیره پیشنهاد محصولات واسطه‌ای، گرفتن ارزش بیشتر و کاهش زمان ورود به بازار و عدم قطعیت برای مصرف‌کنندگان، حرکت می‌کنند. علاقه به گرافن همچنان قوی خواهد بود. سرمایه‌گذاری شرکت‌ها و مراکز آکادمیک هر ساله چندین برابر می‌شود. با این حال گرافن هنوز در جستجوی کاربردهای است که ارزشی منحصر به فرد یا یک مزیت تکان دهنده ارایه دهد. در صورت عدم وجود چنین کاربردهایی، فرآیند تجاری‌سازی در حد یک بازی جایگزینی باقی خواهد ماند. گرافن قابلیت جایگزینی با ITO، گرافیت، کربن فعال، نانوسیم‌های نقره، کربن سیاه، جوهرهای فلزی و ... را دارا می‌باشد.



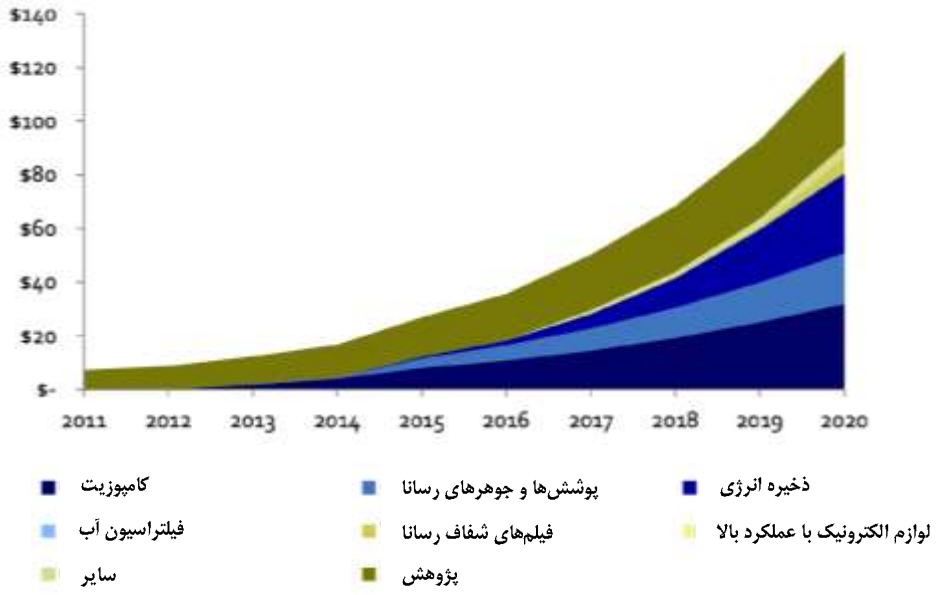
نمودار ۱۷- پیش‌بینی بازار گرافن در سال ۲۰۲۶ (منبع: IDTechEx)

در نمودار زیر پیش‌بینی تقاضای گرافن تا سال ۲۰۲۶ ارایه شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین کاربردهای آن در حوزه ذخیره انرژی، کامپوزیت و جوهر و پوشش‌های رسانا خواهد بود. این شرکت پیش‌بینی کرده، تقاضای گرافن در سال ۲۰۲۶ به حدود ۳،۳۰۰ تن در سال برسد. این در حالی است که مجموع ظرفیت تولید صنعت در حدود ۱،۰۰۰ تن در سال است. قیمت گرافن زودتر از زمان پیش‌بینی شده قبلی سقوط می‌کند، اما گرافن همچنان قیمت بالایی خواهد داشت. همچنین در دسترس‌پذیری گرافن دیگر مانعی برای انطباق گرافن نخواهد بود.



نمودار ۱۸- پیش‌بینی تقاضای گرافن تا سال ۲۰۲۶ بر حسب تن

شرکت Lux Research نیز اخیرا پیش‌بینی تهدیدآمیزی داشته که گرافن "**نانولوله کربنی بعدی**" می‌شود. این جمله اشاره به این موضوع دارد که نانوله‌های کربنی در گذشته شکست خوردند و نتوانستند موفقیت تجاری واقعی کسب کنند. این شرکت اعتقاد دارد که گرافن با وجود خواص فوق العاده، ردپای سیلیکون را دنبال نخواهد کرد و کاربردهای سراسری پیدا نمی‌کند، بلکه به نانولوله‌های کربنی نسبتا نزدیک‌تر است و کاربردهای محدودی در برخی بازارهای حاشیه‌ای خواهد داشت. پیش‌بینی تقاضای گرافن تا سال ۲۰۲۰ نیز توسط این شرکت در نمودار زیر ارایه شده است.



نمودار ۱۹- پیش‌بینی تقاضای گرافن تا سال ۲۰۲۰ بر حسب میلیون دلار (منبع: Lux Research)

همان گونه که در نمودار فوق نیز مشاهده می‌شود، تقاضای گرافن در سال ۲۰۲۰ با میانگین رشد سالانه ۴۰ درصد، به ۱۲۶ میلیون دلار خواهد رسید. در سال ۲۰۱۴ این گزارش به روز رسانی شده و پیش‌بینی شده بازار گرافن (فروش کل نانوپلیت‌ها و فیلم‌های گرافنی) در سال ۲۰۲۵ به ۳۴۹ میلیون دلار خواهد رسید. در این گزارش کامپوزیت، بزرگترین بازار و پس از آن ذخیره انرژی عنوان شده است.

برآورد بازار برای تولید گرافن و درآمد و ارزش تولید تا حد زیادی متفاوت است. ظرفیت‌های تولید فعلی به مراتب بیش از حد تقاضا است، به ویژه برای گرافن با کیفیت پایین که توسط تولیدکنندگان تازه وارد به بازار چین تولید می‌شود. این موضوع تا زمانی که هزینه ها کاهش یابد و کاربردهای آن متداول شود ادامه خواهد داشت. در طی ۱۰-۵ سال، ممکن است قیمت گرافن کمتر از سیلیکون شود، که به گرافن اجازه می‌دهد تا به طور مستقیم برای کاربرد در پردازنده‌ها، حسگرها و سلول‌های خورشیدی با سیلیکون رقابت کند. بیشترین فروش گرافن در حال حاضر نانو پلاکت‌های گرافنی و پودر اکسید گرافن برای جوهرهای رسانا و پلیمرها است. فیلم‌های CVD گرافن اساسا برای تحقیق و توسعه استفاده می‌شوند.

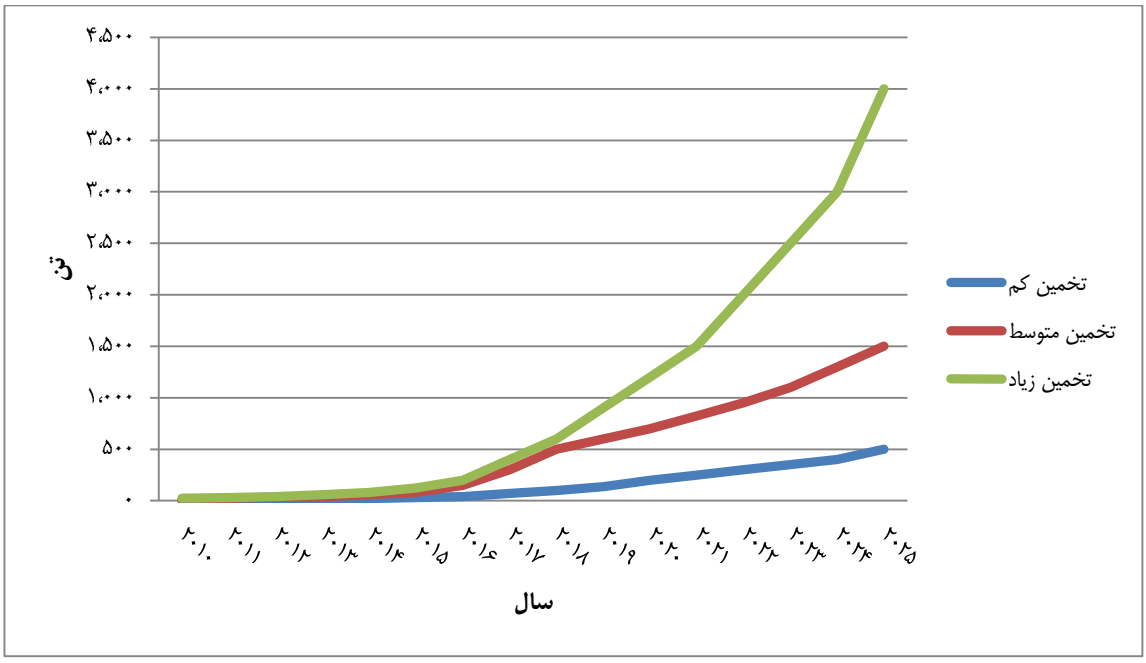
بر اساس گزارش شرکت Future Markets، با ورود محصولات بیشتر به بازار در سال ۲۰۱۵ و نفوذ به بخش‌های چند میلیاردی با رشد بالا، مانند لوازم الکتریکی مصرفی، بازار مواد گرافنی در ۱۰ سال آینده رشد چشم‌گیری خواهد داشت و به احتمال زیاد رشدی بیشتر از مقادیر پیش‌بینی شده خواهد داشت. با توجه به اینکه گرافن در مراحل ابتدایی رشد قرار دارد، به احتمال زیاد سودآوری چندانی نخواهد داشت. جدول زیر پیش‌بینی تولید جهانی گرافن در سال‌های ۲۰۲۵-۲۰۱۰ را نشان می‌دهد.

جدول ۷- پیش‌بینی تولید جهانی گرافن در سال‌های ۲۰۲۵-۲۰۱۰ بر حسب تن در سال- سال پایه ۲۰۱۴ (منبع: Future Markets)

سال	تخمین کم	تخمین متوسط	تخمین بالا
۲۰۱۰	۳-۵	۱۵	۲۵
۲۰۱۱	۵-۱۰	۲۵	۳۰
۲۰۱۲	۷/۵-۱۵	۳۵	۴۰
۲۰۱۳	۱۵	۴۰	۶۰
۲۰۱۴	۲۰	۶۰	۸۰
۲۰۱۵	۳۰	۸۰	۱۲۵

سال	تخمین کم	تخمین متوسط	تخمین بالا
۲۰۱۶	۴۰	۱۵۰	۲۰۰
۲۰۱۷	۷۰	۳۰۰	۴۰۰
۲۰۱۸	۱۰۰	۵۰۰	۶۰۰
۲۰۱۹	۱۳۵	۶۰۰	۹۰۰
۲۰۲۰	۲۰۰	۷۰۰	۱۲۰۰
۲۰۲۱	۲۵۰	۸۲۵	۱۵۰۰
۲۰۲۲	۳۰۰	۹۵۰	۲۰۰۰
۲۰۲۳	۳۵۰	۱۱۰۰	۲۵۰۰
۲۰۲۴	۴۰۰	۱۳۰۰	۳۰۰۰
۲۰۲۵	۵۰۰	۱۵۰۰	۴۰۰۰
رشد متوسط سالانه ۲۰۱۴-۲۰۲۵	٪ ۳۰/۷	٪ ۳۰/۷	٪ ۳۸/۵

پیش‌بینی تولید جهانی گرافن در نمودار زیر نیز ارایه شده است.



نمودار ۲۰- پیش‌بینی تولید جهانی گرافن در سال‌های ۲۰۲۵-۲۰۱۰ (منبع: Future Markets)

۲. تولیدکنندگان بین‌المللی

۱،۲. تولیدکنندگان و ماتریس نوع گرافن تولیدی

جدول ۸- نوع گرافن تولیدی برخی شرکت‌های مطرح بین‌المللی

ردیف	شرکت	اکسید گرافن/پلاکت	گرافن CVD (فیلم)
۱	2D Carbon Graphene Material Co., Ltd.		✔
۲	2-DTech Limited	✔	✔
۳	3D Graphtech	✔	
۴	Abalonyx AS	✔	
۵	Advanced Graphene Products	✔	
۶	Angstron Materials LLC	✔	
۷	Applied Graphene Materials plc	✔	
۸	Applied Nanolayers		✔
۹	Archimedes International	✔	
۱۰	Avanzare	✔	
۱۱	BGT Materials Ltd.		✔
۱۲	BTR New Energy Materials Inc.	✔	
۱۳	Cambridge Nanosystems	✔	
۱۴	Chongqing Moxi Science and Technology Co., Ltd.		✔
۱۵	Danubia Nanotech s.r.o.	✔	
۱۶	Deyang Graphene Science and Technology	✔	
۱۷	Directa Plus SPA	✔	
۱۸	ENano Tec Co., Ltd.	✔	
۱۹	Garmor, Inc.	✔	
۲۰	Gnanomat	✔	
۲۱	Grafen Chemical Industries Co.	✔	
۲۲	Grafentek	✔	
۲۳	GRAnPH Nanotec	✔	
۲۴	Graphenano s.l.	✔	
۲۵	Graphene 3D Lab, Inc.	✔	
۲۶	Graphene Frontiers		✔
۲۷	Graphene Industries		✔
۲۸	Graphene Platform, Inc.		✔
۲۹	Graphene Supermarket		✔
۳۰	Graphene Square		✔
۳۱	Graphene Technologies	✔	

۳۲	Graphenea	✔	✔
۳۳	Graphensic AB		✔
۳۴	Group NanoXplore Inc.	✔	
۳۵	Harbin Mulan	✔	
۳۶	Haydale	✔	
۳۷	Innophene Company Limited	✔	
۳۸	Jiangsu Yueda New Material Technology Co.,Ltd	✔	
۳۹	Jinan Moxi New Material Technology Co., Ltd		✔
۴۰	Nanjing SCF Nanotech Ltd	✔	
۴۱	Nanocarbon Sp. z o.o.		✔
۴۲	Nanografen	✔	
۴۳	NanoIntegris	✔	
۴۴	Ningbo Morsh Technology Co., Ltd.		✔
۴۵	Perpetuus Advanced Materials Plc	✔	
۴۶	PlanarTech		✔
۴۷	Powerbooster Technology		✔
۴۸	RMNano		✔
۴۹	The Sixth Element (Changzhou) Materials		✔
۵۰	SuperC Technology Limited	✔	
۵۱	Taiwan Carbon Nanotube Technology	✔	
۵۲	Thomas Swan & Co. Ltd.	✔	
۵۳	Vorbeck Materials Corporation	✔	
۵۴	Wuxi Graphene Film Co. Ltd.		✔
۵۵	XG Sciences	✔	
۵۶	Xiamen Knano Graphene Technology Co., Ltd	✔	
۵۷	Xolve, Inc.	✔	

در جدول زیر ظرفیت تولید سالانه شرکت‌های مطرح ارایه شده است.

جدول ۹- ظرفیت تولید سالانه تولیدکنندگان گرافن (منبع: Future Markets)

کشور	شرکت	ظرفیت تولید در سال
امریکا	Angstron Materials	۳۰۰ تن
	Garmor	۱۰۰ تن
	Vorbeck Materials	۴۰ تن
	XG Sciences, Inc.	۸۰ تن
	Xolve	۰/۵ تن
چین	2D Carbon Tech	۲۰۰ هزار متر مربع
	Deyang Carbonene Tech	۱/۵ تن

کشور	شرکت	ظرفیت تولید در سال
	Jining LeaderNano Co., Ltd.	۳۰ تن (۱۰۰۰ تن محلول در ۲۰۱۵)
	Ningbo Morsh	۳۰۰ تن (۱۰۰۰ تن در ۲۰۱۵)
	The Sixth Element	۱۰۰ تن (۵۰۰ تن در ۲۰۱۵)
	Wuxi Graphene Film	۸۰ هزار متر مربع
	BTR New Energy Materials Inc.	۱۰۰ تن
	Xiamen Knano Graphene	۱۰۰ تن
	SuperC Technology Ltd.	۱۰۰۰ تن (محلول گرافن)
انگلستان	2-D Tech	۱ تن
	Applied Graphene Materials	۱ تن
	BGT Materials	۶۰ هزار متر مربع
	Cambridge Nanosystems	۵ تن
	Haydale	۳ تن
	Perpetuus Carbon	۱۰ تن
	Thomas Swan	۴-۳ کیلوگرم در روز
دانمارک	Abalonyx	۸ تن
ایتالیا	Directa Plus	۳۰ تن
کانادا	Group NanoXplore Inc.	۳ تن
تایوان	Taiwan Carbon Nanotube	۲۵۰ تن

همان‌طور که در جدول فوق مشاهده می‌شود، ظرفیت تولید پودر گرافن در حدود ۱،۵۰۰ تن و ظرفیت تولید فیلم در حدود ۲۸۰ هزار متر مربع می‌باشد.

۲،۲. مشارکت‌های صنعتی در حوزه گرافن

محدودیت‌های موجود در فناوری‌های جدید، فرصت‌های زیادی را برای تولیدکنندگان گرافن و توسعه‌دهندگان کاربرد گرافن و تولیدکنندگان تجهیزات اصلی مهیا کرده است؛ البته ارائه راه‌حال‌های فناورانه پیشرفته نیازمند سرمایه‌گذاری زیادی است، به همین دلیل گسترش بهینه این سرمایه‌گذاری‌ها نیازمند افزایش مشارکت بین بازیگران است. اغلب تولیدکنندگان به دنبال برقراری ارتباط با طیف گسترده‌ای از مشتریان بالقوه خود در حوزه‌های مختلف هستند. تولیدکنندگان گرافن به دنبال این هستند تا در این ارتباطات، بتوانند گرافن را در قالبی که برای مصرف‌کنندگان به راحتی قابل کنترل باشد و با فرایندهای تولیدی آن‌ها منطبق باشد، تولیدکنند.

تولیدکننده گرافن	همکار	بازار هدف
2MD Tech	Dyesol	
3D Graphtech	CSIRO	
Applied Graphene Materials	Dyson Procter and Gamble DuPont Teijin Films	
Cambridge Graphene Centre	Nippon Kayaku	خورشیدی

تولیدکننده گرافن	همکار	بازار هدف
Directa Plus	Reda Group	پرینت سه‌بعدی
	Vittoria Group	فیلم‌ها و کامپوزیت‌ها
Grafoid	Mitsui Hydro Quebec	کامپوزیت‌های
Graphenano	Tokyo Electric Company	LED و روشنایی
Graphene Nanochem	Scomi Oiltools Fire Creek Resources	لاستیک‌های خودرو
	HWV Technologies	انرژی
	Sync R&D	فیلتراسیون
GRAnPH Nanotech	Grupo Antolin Ingenieria	سیالات حفاری
Graphene Sensors	Meditel Technologies	تصفیه آب
Graphenea	Phillips	LIB
Graphene 3D Lab	Ideum	خودرو
	ZeGo Robotics	حسگرهای زیستی
The Graphene Research Centre (GRC), National University of Singapore	BASF	OLED
Haydale	WCPC	جوهر رسانا/نفت و گاز/پرینت دوبعدی و سه‌بعدی
	EPL Composite Solutions	کامپوزیت‌ها
IDT International	Rocket Electric	باتری‌ها
Ulsan National Institute of Technology	Deokyang Energen Corp.	فناوری تولید
University of Manchester	Morgan Advanced Materials	فرایند تولید
University of Dresden	Talga Resources	ذخیره انرژی
University Jena	Talga Resources	جوهر رسانا
Stony Brook University	Graphene ESD	ذخیره انرژی
XG Sciences	Cabot Coporation	کامپوزیت‌ها

۳،۲. بازیگران اصلی

همان‌طور که گفته شد، به طور کلی، گرافن صنعتی را می‌توان به دو دسته گرافن به صورت فیلم (همبافته با مساحت زیاد) و گرافن بالک یا ورقه‌ای تقسیم کرد. بیشتر تولیدکنندگان گرافن در حال حاضر نانوپلاکت‌های گرافنی و اکسید گرافن تولید می‌کنند. در سال‌های اخیر تولیدکنندگان کوچک گرافن مانند XG Sciences، Angstron Materials و Angstron Materials ظرفیت تولیدشان را به طرز قابل توجهی افزایش داده‌اند. تولیدکنندگان مواد شیمیایی چند ملیتی هم وارد این بازار شده‌اند و تعدادی از استارت‌آپ‌های چینی با کمک‌های کوتاه مدت دولت، واحدهایی با ظرفیت تولید چندین تن احداث کرده‌اند. مجموع ظرفیت تولید سالانه صفحات کوچک گرافنی (پودر) و فیلم‌های گرافنی در چین، بیش از ۵۰۰ تن و ۱۱۰ هزار متر است. این مقادیر تا پایان سال ۲۰۱۵ افزایش می‌یابد.

شرکت‌هایی مانند IBM و سامسونگ به دنبال کاربرد گرافن در الکترونیک و اپتیک هستند، که به احتمال زیاد تنها در برنامه‌های میان مدت و بلند مدت برای کاربردهای پیشرفته محقق می‌شوند. پیش‌بینی می‌شود ترانزیستورها، عناصر با فرکانس بالا و ترانسفورماتورها با ارزش‌ترین کاربردهای گرافن باشند. هنگامی که فیلم تک لایه گرافن در حالت ویفر در مقیاس بزرگ تجاری شود، یک کاندیدای مناسب برای جایگزینی سیلیکون به عنوان ماده اصلی به کار رفته در نیمه هادی‌ها خواهد بود. بیشتر تولیدکنندگان گرافن صنعت الکترونیک را به

عنوان بازار کلیدی و به دنبال آن باتری‌ها، سنسورها، کامپوزیت‌ها و فیلتراسیون را هدف قرار داده‌اند. در ادامه برخی از تولیدکنندگان مطرح گرافن معرفی می‌شوند.

۵.۱.۳.۲ Grafoid

پروفایل شرکت GRAFOID, INC.	
توضیحات	شرکت خصوصی Grafoid در سال ۲۰۱۱ تاسیس شده است. Grafoid یک شرکت تحقیق و توسعه و سرمایه‌گذاری است. شرکت‌های تابعه آن نیز شامل Graflow، Calevia و Phos هستند. همچنین شرکت در حال ثبت ۱۵ قرارداد همکاری مشترک است. توسعه پایدار فناوری کانادا، در سال ۲۰۱۵ به دلیل اتوماسیون کامل خط تولید محصول MesoGraf® به این شرکت جایزه ۸/۱ میلیون دلاری اهدا کرده است.
محصولات	این شرکت گرافن خود را با برند MesoGraf® عرضه می‌کند که از گرافیت شرکت Focus Graphite Inc. استحصال می‌شود.
بازار هدف	✓ انرژی‌های تجدیدپذیر ✓ مواد پلیمری پیشرفته ✓ زیست‌پزشکی ✓ فناوری‌های پخش گرمایی ✓ پوشش‌ها
کشور	کانادا
تارنما	www.grafoid.com

۵.۲.۳.۲ XG Sciences

پروفایل شرکت XG Sciences	
توضیحات	شرکت در سال ۲۰۰۶ تاسیس شده است. ظرفیت تولید نانوپلاکت‌های گرافنی این شرکت حدود ۸۰ تن در سال است. شرکت‌های Samsung، POSCO و Cabot Corporation از جمله همکاران این شرکت هستند.
محصولات	از محصولات شرکت می‌توان به آندهای XG SiG®، جوهررسانا xGnP® و صفحات گرافنی XG Leaf® اشاره کرد. قیمت هر کیلوگرم نانوپلاکت گرافنی شرکت ۱۹۹ دلار است.
بازار هدف	✓ باتری‌ها ✓ هوافضا ✓ خودرو
کشور	ایالات متحده آمریکا
تارنما	www.xgsciences.com

۳،۳،۲ .Graphenea

پروفایل شرکت GRAPHENEA NANOMATERIALS	
توضیحات	شرکت در سال ۲۰۱۰ با سرمایه‌گذاری مشترک nanoGUNE و یک سرمایه‌گذار خصوصی تاسیس شده است. این شرکت با پیشروهای صنعت از جمله Nokia، Philips، Intel و ... جهت توسعه کاربردهای گرافن همکاری می‌کند.
محصولات	اکسید گرافن، گرافن یک‌لایه، گرافن دولایه و گرافن سه‌لایه از محصولات شرکت است. خطوط تولیدی این شرکت شامل دو مورد زیر است: ✓ **فیلم گرافن:** گرافن با کیفیت بالای CVD ✓ **پودر گرافن:** اکسید گرافن و اکسید گرافن کاهش یافته
بازار هدف	✓ الکترونیک ✓ اپتوالکترونیک ✓ سلول‌های خورشیدی ✓ تجهیزات پزشکی ✓ ذخیره انرژی
کشور	اسپانیا
تارنما	www.graphenea.com

۴،۳،۲ .2-DTech

پروفایل شرکت 2-DTECH LIMITED	
توضیحات	این شرکت از دل گروه تحقیقاتی ماده چگال دانشگاه منچستر بیرون آمده است و در حال حاضر یکی از زیرمجموعه‌های شرکت Versarie Plc که در حوزه مواد و فناوری‌های پیشرفته فعالیت می‌کند، محسوب می‌شود.
محصولات	**گرافن CVD چندکریستاله** ✓ رشدیافته بر روی مس ✓ رشد یافته بر روی SiO2 ✓ رشدیافته بر روی نیتریدبور هگزاگونال روی SiO2 **پلاکت گرافن** ✓ سوسپانسیون گرافن در NMP/DMF ✓ لمینت گرافن با ضخامت ۱۳، ۲۵ و ۴۷ میلی‌متر **اکسید گرافن** ✓ سوسپانسیون اکسیدگرافن در آب ✓ غشاء اکسیدگرافن با ضخامت ۱۳، ۲۵ و ۴۷ میلی‌متر شرکت همچنین در حال توسعه تجهیزات بر پایه گرافن برای کاربرد در حوزه الکترونیک است.
بازار هدف	✓ تجهیزات الکترونیکی خم‌شو ✓ ترانزیستور ✓ فتونیک ✓ رنگ و پوشش و مواد کامپوزیت ✓ تولید و ذخیره انرژی ✓ حسگرها

	✓ فناوری زیستی
کشور	انگلستان
تارنما	www.2-dtech.com

Directa PLUS .۵،۳،۲

پروفایل شرکت Directa Plus	
توضیحات	شرکت در سال ۲۰۰۵ تاسیس شده است و در حال توسعه فرایندهای تولید نانوساختارهای مهندسی‌شده کربن (+G) و نانوساختارهای فلز (+D) است. این شرکت در سال ۲۰۱۴ بزرگترین کارخانه تولید نانوپلاکت‌های گرافن در اروپا را با ظرفیت ۳۰ تن در سال بازگشایی کرد. این شرکت دو توافق‌نامه تجاری با شرکت‌های Reda Group (روشنایی و LED) و Vittoria Group (لاستیک‌های خودرو) دارد.
محصولات	✓ **Basic G+:** گرافیت فوق گسترش‌یافته ✓ **ULTRA G+:** پودر قابل کنترل ✓ **LIQUID G+:** انواع محلول‌ها ✓ **PURE G+:** نانوپلاکت‌های خشک
بازار هدف	✓ کامپوزیت‌ها ✓ روشنایی و LED ✓ خودرو (لاستیک‌های خودرو) ✓ فیلتراسیون آب
کشور	ایتالیا
تارنما	www.directa-plus.com

۳. کاربردهای تجاری

همانطور که گفته شد، در حالی که گرافن یک ماده نسبتا جدید است، کاربردهای آن در حال شروع شدن به نظر می‌رسد. اولین محصولی که در آن از گرافن استفاده شد، فناوری آژیر امنیتی بسته‌بندی‌های هوشمند است که از جوهرهای مبتنی بر گرافن شرکت Vorbeck Materials استفاده می‌کند.



تصویر ۱۱- برچسب‌های امنیتی حاوی جوهر گرافن

این برچسب‌های امنیتی جدید زیباتر هستند و طراحی جذابی دارند. برچسب‌های آژیر داخل فروشگاه‌های خرده فروشی مانند سیستم‌های نظارت الکترونیک بر اجناس (مانند تگ‌های EAS، که برای شناسایی اقلام هنگامی که از گیت عبور می‌کنند به کار می‌رود) و همچنین بیرون فروشگاه کار می‌کند. همه این موارد هزینه‌ای در حدود چند سنت برای هر برچسب دارد. این بسته‌بندی‌ها از Vor-ink برای ساخت یک مدار یکپارچه رسانا متشکل از گرافن استفاده می‌کنند که رسانایی بسیار عالی در قیمت رقابتی از خود نشان می‌دهند، و با خم شدن و چین خوردن آسیبی نمی‌بینند.

در اکتر سال ۲۰۱۳، یک شرکت جدید به نام Thermene یک خمیر حرارتی برای خنک کردن CPU با استفاده از اکسید گرافن تولید کرد. با ۱۵ دلار شما می‌توانید ۳ میلی لیتر از خمیر Themene را تهیه کنید که برای حدود ۱۰ پردازنده کافی است. گفته شده‌است که تامین کننده گرافن Graphene Supermarket است. آنها به طور خاص از پودر اکسید گرافن که حداقل ۸۰ درصد آن گرافن تک لایه باشد استفاده می کنند. استفاده از این محصول آسان است و به راحتی به روی سطح پردازنده اعمال می‌شود. این ماده ۱۰ ساعت طول می‌کشد تا تثبیت شود.



تصویر ۱۲- خمیر حرارتی حاوی اکسید گرافن برای خنک کردن CPU

۳. مصرف‌کنندگان بین‌المللی گرافن

HEAD .۱،۳

شرکت HEAD در زمی‌نه لباس و تجهی‌زات ورزشی، به وی‌ژه راکت‌های تنی‌س و اسکی از سال ۱۹۵۰ شروع به فعالی‌ت کرده است. شرکت تجهیزات ورزشی HEAD، در پایان سال ۲۰۰۸ یک پتنت برای راکت‌های تنیس تقویت شده با گرافن ثبت کرده است. در آغاز سال ۲۰۱۳، شرکت HEAD سری جدیدی از راکت‌های تنیس را معرفی کرد (سری YouTek Graphene Speed). این راکت‌ها از قرار معلوم از گرافن برای سبک‌تر شدن و قوی‌تر شدن دسته راکت استفاده می‌کنند، و این شرکت می‌گوید که گرافن به توزیع بهتر وزن کمک می‌کند و راکت‌هایی قوی‌تر و با کنترل بهتر تولید می‌شود. HEAD پنج راکت مختلف در محدوده ۲۸۶–۱۷۰ دلار تولید می‌کند. هنوز مشخص نیست که این شرکت دقیقا چه ماده‌ای را در این محصول استفاده می‌کند، اما به احتمال زیاد گرافن تولیدی شرکت AGM را به کار می‌برند. نواک جکوویچ، یکی از تنیس بازان برتر جهان به زودی از این راکت استفاده خواهد کرد.



تصویر ۱۳- تنیس حاوی گرافن شرکت HEAD

در سال ۲۰۱۴، شرکت HEAD خط تولید چوب‌های اسکی بهبود یافته با گرافن را برای زنان، به نام شادی (Joy) به راه انداخت. این چوب اسکی‌ها سبک‌تر و با دوام‌تر هستند. این سری شامل چندین مدل است و در حال حاضر در آمازن به فروش می‌رسد و از چوب اسکی‌های معمولی در حدود ۲۰ درصد گران‌تر است. همچنین این شرکت می‌گوید که خط تولید چوب اسکی بهبود یافته با گرافن برای مردان هم در حال احداث است.



تصویر ۱۴–چوب اسکی بهبود یافته با گرافن شرکت HEAD

POWERBOOSTER TECHNOLOGY

در سال ۲۰۱۲، شرکت POWERBOOSTER TECHNOLOGY، پس از شکل گیری تیم R&D در سال ۲۰۰۹، توسط یک تیم مدیریت تخصصی و خبرگان گرافن تاسیس شد.

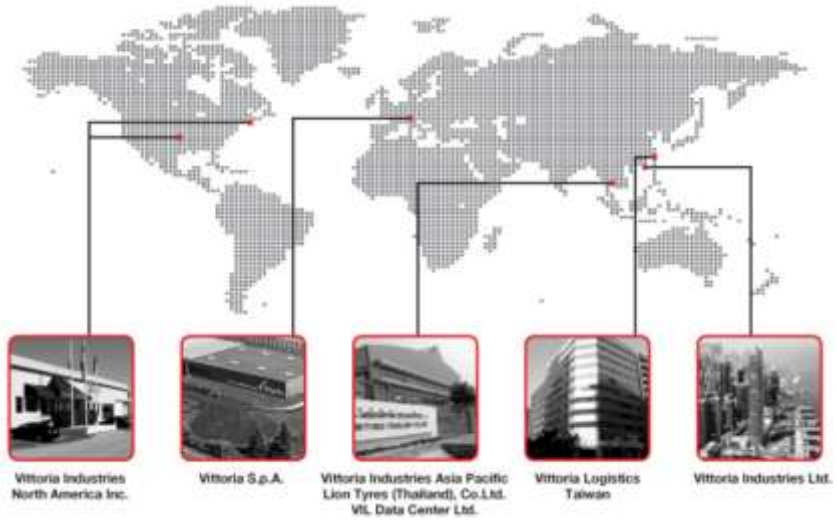
این شرکت پنل‌های لمسی معطف بر پایه گرافن را برای موبایل توسعه داده است. برخی از شرکت ها محصولاتی مبتنی بر گرافن را معرفی کرده‌اند، اما هنوز به واقعی بودن آنها اطمینانی نیست. شرکتPowerbooster Technology مدعی است که پنل‌های لمسی منعطفی مبتنی بر گرافن برای تلفن‌های همراه ساخته است. آنها می‌گویند که در حال حاضر ماهانه میلیون‌ها عدد از این صفحات تولید می‌کنند و به سازندگان متوسط گوشی‌های هوشمند چینی انتقال می‌دهند، که این موضوع هنوز تایید نشده است.



تصویر ۱۵- پنل‌های لمسی منعطف مبتنی بر گرافن

VITTORIA

صنایع VITTORIA از سال ۱۹۵۳ در صنعت دوچرخه‌سازی شروع به فعالیت نمود و تصویر برند منحصربفردی ایجاد کرد. در حال حاضر صنایع VITTORIA، تولیدکننده پیشرو لاستیک‌های دوچرخه با تولید سالانه بیش از ۷ میلیون لاستیک و ۹۰۰،۰۰۰ تیوب و لاسیک‌های کتان می‌باشد. مرکز تحقیق و توسعه این شرکت بهترین لاستیک‌های دوچرخه مسابقه برای همه سطوح، به ویژه لاستیک‌های کتان سری Corsa را توسعه داده است. کارخانه این شرکت در کشور تایلند و شبکه بازاریابی و فروش جهانی این شرکت از آمریکا شمالی (بوستون) تا آسیا (بانکوک و تایوان)، و در اروپا (ایتالیا، نتردام و آلمان) واقع شده است.



تصویر ۱۶- مکان دفاتر شرکت VITTORIA

این شرکت در سال ۲۰۱۵، برای استفاده گرافن در محصولات و ارایه بهبود عملکرد، برنده جایزه بهترین تجاری‌سازی شد. این شرکت از گرافن خیلی خالص و گرید بالا، تنها ۳ تا ۷ لایه، شرکت Directa Plus استفاده می‌کند.

در اکتبر ۲۰۱۴، Vittoria سری جدیدی از چرخ‌های دوچرخه‌های مسابقه‌ای را که از مواد کامپوزیتی بهبود یافته با گرافن ساخته شده‌بود، وارد بازار کرد. این چرخ‌های جدید (به نام Qurano) بهترین چرخ‌های تولید شده توسط این شرکت است، و آنها مدعی هستند که این چرخ‌ها سریع‌ترین چرخ‌های دنیا هستند و همه این‌ها به خاطر گرافن است. این شرکت از مواد گرافنی تولید شده توسط شرکت ایتالیایی Directa Plus را استفاده می‌کنند و آن را به شبکه فیبر کربنی چرخ‌هایشان اضافه می‌کنند که خواص آن را ۳۰-۱۰ درصد بهبود می‌بخشد. گرافن دمای ساخت را کاهش می‌دهد و مقاومت جانبی چرخ را افزایش می‌دهد. آنها می‌گویند با اینکه این چرخ‌ها از نمونه‌های قبلی عملکرد بهتری دارند اما قیمتشان مشابه است. Vittoria در حال حاضر این چرخ‌ها را به بیش از ۱۰ کشور ارسال می‌کند و برنامه دارد که محصولات گرافنی بیشتری تولید کند.



تصویر ۱۷- لاستیک‌های حاوی گرافن شرکت Vittoria

Catlike

شرکت اسپانیایی Catlike از سال ۱۹۹۶ در زمینه کالاهای ورزشی فعالیت می‌کند. این شرکت در سال ۲۰۱۴، خط تولید کلاه ایمنی دوچرخه با نام Mixino 2014 را که با گرافن بهبود یافته، راه‌اندازی کرد.گفته می‌شود این کلاه‌ها سبک‌تر و قوی‌تر هستند و پیشرفت زیادی در زمینه ایمنی و جذب نیرو داشته‌اند. این کلاه یک اسکلت قوی داخلی دارد، که به شکل اسکلت آرامید و با استفاده از گرافن در

ماتریس پلیمر آن ساخته شده است. این خط تولید در حال حاضر چندین مدل مانند Mixino Road و Mixino MTB دارد. این کلاه‌ها در حال حاضر در سایت آمازون در دسترس است.



تصویر ۱۸- کلاه ایمنی بهبود یافته با گرافن شرکت Catlike

همچنین شرکت Catlike خط تولید کفش‌های دوچرخه سواری بهبود بافته با گرافن را کریسمس ۲۰۱۵ راه اندازی کرد. این خط تولید whisper نام گذاری شده و ترکیبی از انواع کفش‌های دوچرخه سواری (برای جاده، کوهستان و ...) است. این کفش‌ها عملکرد بهتری دارند و سبکتر و مقاوم‌تر هستند.



تصویر ۱۹- کفش‌های ورزشی بهبود یافته با گرافن شرکت Catlike

BAC نام خودرویی انگلیسی است که توسط برادران نیل و یان تولید شده است. این شرکت به تازگی از محصول جدید خود، BAC Mono رونمایی کرده است که در ساخت قسمت‌هایی از این خودرو از گرافن استفاده شده است . گلگیر چرخ‌های عقب این خودرو از جنس گرافن است. به گفته‌ی سازندگان، این فلز ۲۰ درصد سبک‌تر از کربن و ۲۰۰ برابر سخت‌تر از فولاد است. شرکت BAC به دلیل پیچیدگی‌هایی که در قسمت گلگیر چرخ عقب BAC Mono وجود داشت، دست به استفاده از این ماده (گرافین) زد تا تاثیر آن را در خودرو را ارزیابی کند. به منظور توسعه‌ی فناوری، شرکت BAC با همکاری شرکت بریتانیایی Haydale Coposite Solutions، از این ماده در ساخت قسمت‌هایی از این خودرو بهره گرفته است.





۴. سطوح آمادگی فناوری

سطوح آمادگی فناوری (TRL)[1]، مجموعه‌ای از معیارها به منظور ارزیابی میزان بلوغ و آمادگی فناوری است که امکان مقایسه سازگاری بین انواع مختلف فناوری را در چارچوب محصولی خاص و در یک محیط عملیاتی و کاربردی میسر می‌کند.

TRL را نخستین بار، آژانس ملی هوافضای آمریکا (ناسا) در دهه ۸۰ میلادی مطرح کرد. در آن زمان، سطوح آمادگی فناوری در ۷ مرحله مطرح شده بود و با سپری شدن زمان در آغاز هزاره جدید، مراحل این مدل به ۹ مرحله ارتقا یافتند. نخستین بار تعریف TRL در پروژه ANSER در ناسا صورت گرفت. در سال ۱۹۹۵، در قالب مقاله‌ای با عنوان " سطوح آمادگی فناوری در ناسا" پیشنهاد استفاده از این سطوح در

[1] technology readiness levels

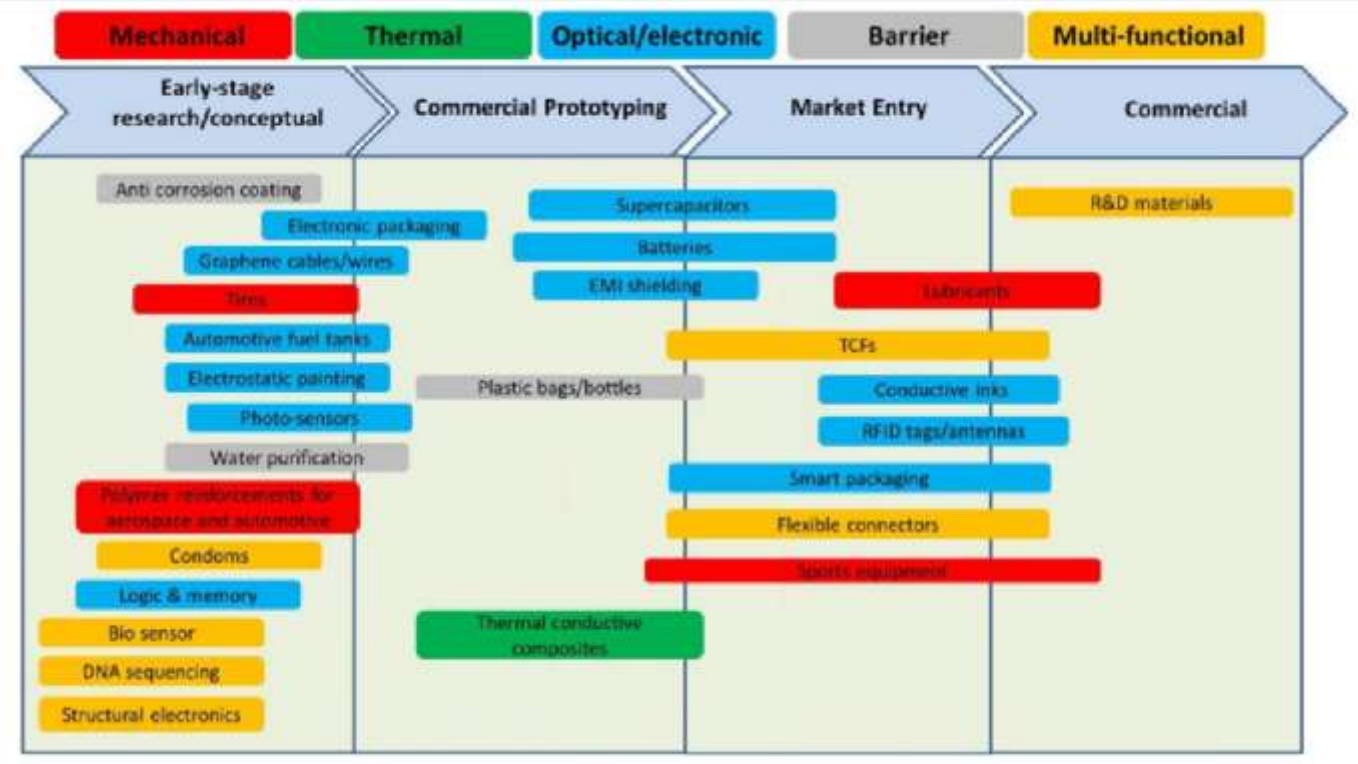
صنایع و فناوری‌های مختلف مطرح شد و پیرو آن سازمان حسابرسی ایالات متحده، در قالب یک گزارش رسمی، دستورالعمل استفاده از سطوح آمادگی فناوری را در صنایع و بخش خصوصی ابلاغ کرد. هدف از این کار، کاهش ریسک پروژه‌های فناوری و تعدیل هزینه‌های ناشی از آزمون فناوری‌ها و پروژه‌های ارتقای فناوری آمریکا بود.

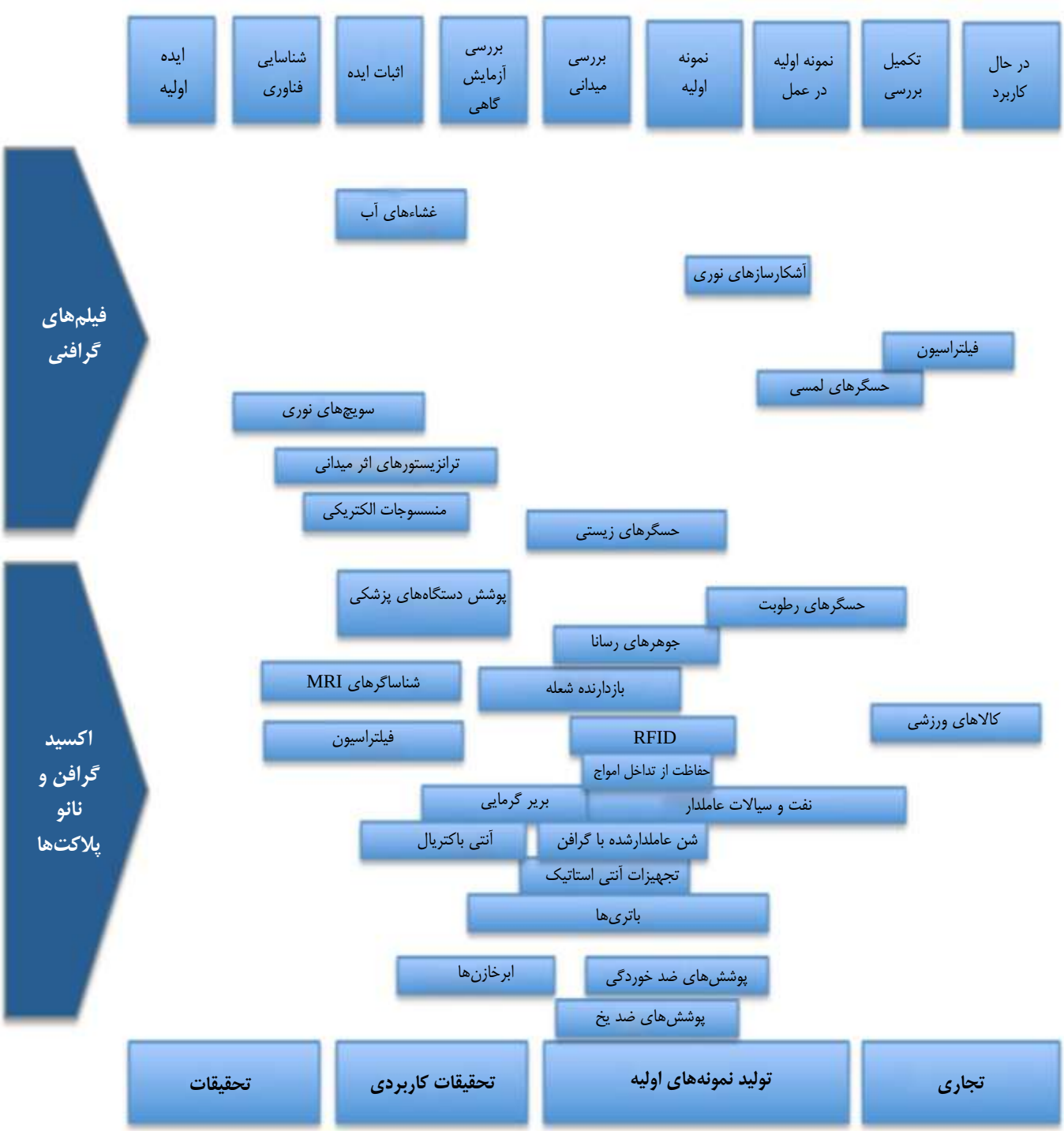
در جدول زیر شرح هر یک از سطوح TRL، ارایه شده است.

جدول ۱۰- تعریف سطوح آمادگی فناوری

سطح آمادگی فناوری (TRL)	فعالیت	شرح TRL
۱	کشف و پژوهش	شناسایی و تثبیت اصول و ایده‌های اولیه
۲		درک و نهادینه شدن اصول پایه
۳	نوآوری	شناسایی علمی اجزای اصلی فناوری و اثبات کارکرد آنها به طور جداگانه
۴		یکپارچه سازی اجزای اصلی فناوری
۵		تثبیت عملکرد مطلوب اجزای یکپارچه شده فناوری در محیط آزمایشگاهی
۶		تثبیت عملکرد مطلوب اجزای یکپارچه شده فناوری در محیط عملیاتی مورد نظر
۷		تثبیت عملکرد مطلوب اجزای یکپارچه شده فناوری در محیط عملیاتی متفاوت
۸	تجاری‌سازی	تکمیل فناوری واقعی و امکان بهره‌گیری از آن با ضریب اطمینان بالا
۹		تثبیت فناوری در آزمون عملیاتی کامل

سطوح آمادگی فناوری نانوسلولز در حوزه‌های مختلف ارزیابی و در نمودار زیر ارایه شده است.



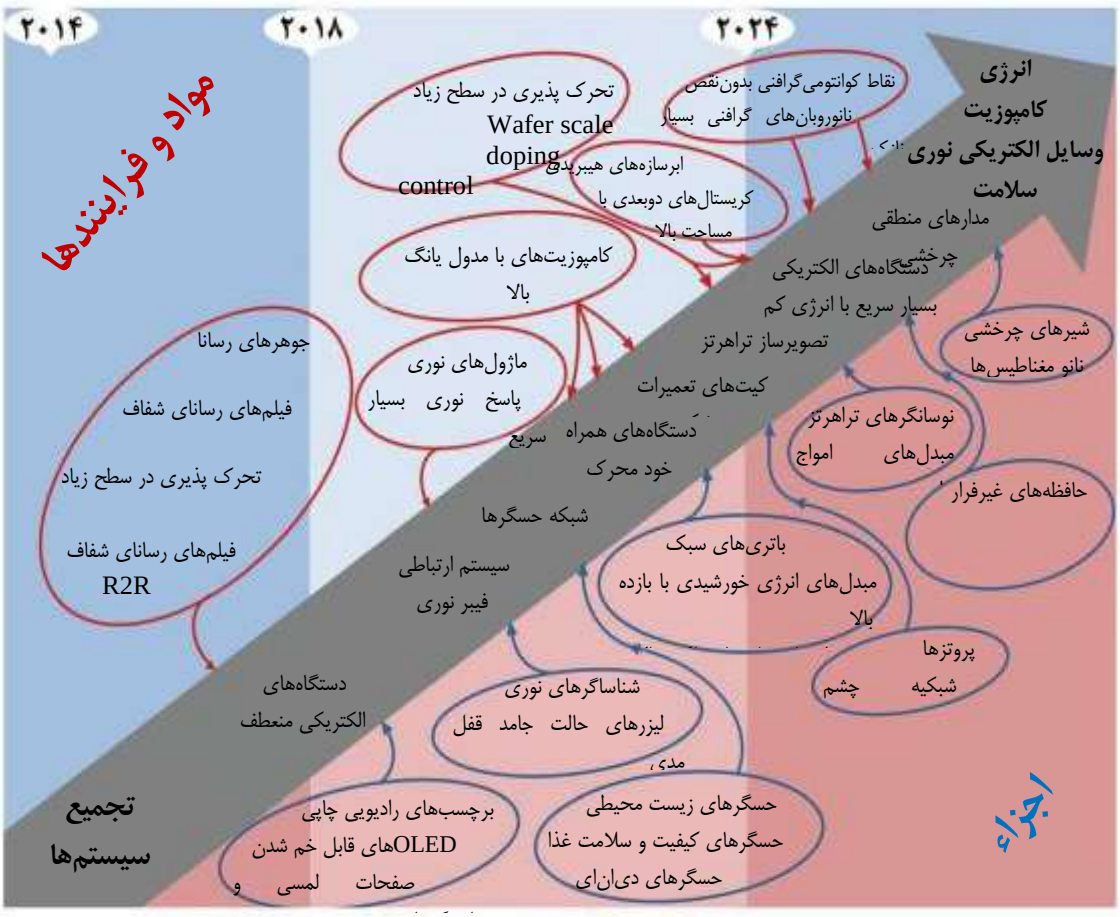


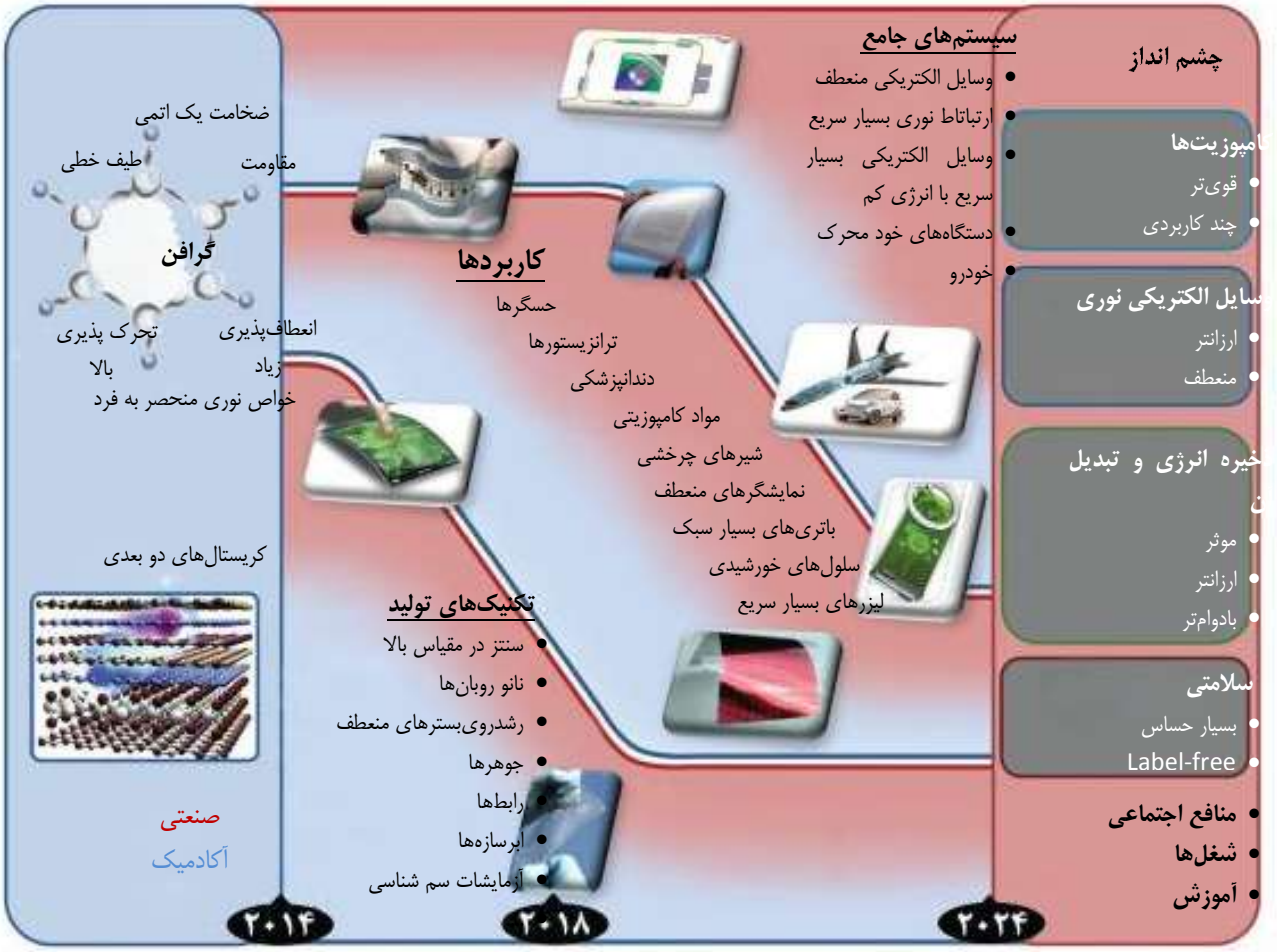
۵. رەنگاشت کاربردهای گرافن

گرافن به سرعت در حال تحول از علم به فناوری است. کاربردهای مختلفی به مواد گرافنی با خواص متنوع، از گرافن با ساختار بدون نقص برای کاربرد در وسایل الکتریکی پیشرفته گرفته تا ساختارهایی با نقص برای کاربرد در زمینه انرژی مانند باتری و ابر خازن‌ها، نیاز دارند.

بازار فعلی و آینده نزدیک برای کاربرد مواد گرافنی توسط استراتژی‌های تولید این ماده هدایت می‌شود. هنگامی که هر یک از این روش‌های تولید به بلوغ برسد، به کار گیری گسترده از آن برای کاربردهای عملی آغاز می‌شود. بنابراین همانطور که در ننقشه راه خلاصه شده در شکل زیر دیده می‌شود، در دسترس بودن محصول برای کاربر نهایی به شدت وابسته به سرعت توسعه مواد است. ارزان‌ترین مواد گرافنی با حداقل الزامات می‌تواند به عنوان اولین‌ها در بازار مورد استفاده قرار بگیرد، مانند دستگاه‌های الکتریکی کنعطف مبتنی بر جوهرهای رسانا، سلول‌های خورشیدی، باتری‌ها و ابرخازن‌ها، درحالیکه دستگاه‌هایی که نیاز به بالاترین کیفیت دارند، مانند حافظه غیر فرار زمان بیشتری برای ورود به بازار نیاز دارند. با این وجود، محصولات آزمایشی تولید شده تنها در صورتی جایگزین محصولات موجود می‌شود که خواص گرافن به کاربردهایی تبدیل شود که به اندازه کافی از نظر هزینه و تغییر فرایندهای صنعتی موجود رقابتی باشد.

گرافن یک کریستال منحصر به فرد است به این معنا که ترکیبی از خواص مکانیکی و الکتریکی را در حد بسیار خوبی ارائه می‌دهد.. قدرت کامل این ماده تنها زمانی در کاربردهای جدید مشخص می‌شود که به طور خاص با در نظر گرفتن خواص این ماده طراحی شده باشد، تا اینکه جایگزین مواد دیگر برای کاربردهای موجود شود. جالی اینجاست که، چنین فرصتی به احتمال زیاد به زودی با توسعه فناوری‌های جدیدی مانند دستگاه‌های الکتریکی انعطاف پذیر، سلول‌های خورشیدی منعطف و ابرخازن‌ها فراهم می‌شود.





۶. روندها و محرک‌های بازار

۱،۶. تولید بیش از تقاضا

گرافن در مقیاس بزرگ با فرآیندهای موجود، بر اساس فرآیندهای رول به رول کم هزینه توسط تولیدکنندگان بزرگ و کوچک تولید می‌شود. با این حال، در حال حاضر وضعیت عرضه بیش از حد در بازار گرافن وجود دارد، به خصوص برای گرافن با کیفیت پایین که توسط کسانی که تازه در بازار چین وارد شده‌اند تولید شده است. این موضوع تا زمانی که هزینه‌ها کاهش یابد و کاربردهای آن متداول شود ادامه خواهد داشت.

ساخت تجهیزات تولید انبوه در چین در سال ۲۰۱۳ توسط شرکت‌های چینی Ningbo Morsh Technology و The Sixth Element (Changzhou) ظرفیت تولید جهانی را به بیش از ۴۰۰ تن (۵۰۰ تن تا پایان سال ۲۰۱۵) افزایش داد. تعدادی از شرکت‌های چینی تولیدات خود را با قیمت کمتری به فروش می‌رسانند تا موجودی خود را خالی کنند. همچنین تعدادی از تولیدکنندگان نانو مواد نظیر شرکت Thomas Swan، ظرفیت تولید خود را در سال ۲۰۱۴ افزایش داده‌اند.

۲،۶. درآمد بازار کم اما در حال رشد خواهد بود

تقاضا برای گرافن با وجود تحقیقات صنعتی هنوز نسبتا کم است. تقاضا برای گرافن در حدود ۱۲-۹ میلیون دلار در سال ۲۰۱۳ و ۲۰-۱۵ میلیون دلار در سال ۲۰۱۴ برآورد می‌شود. در سال ۲۰۱۵ بازار تا حدود ۴۵-۲۵ میلیون دلار رشد خواهد کرد. ارزش بازار نانو لوله کربنی در حال حاضر به مراتب بیشتر است. بازار گرافن فعلی عمدتا بر مبنای فروش ماده خام گرافن است. با ورود محصولات بیشتر به بازار و نفوذ به بخش‌های چند میلیاردی با رشد بالا مانند لوازم الکتریکی مصرفی، بازار مواد گرافنی در ده سال آینده به شکل قابل توجهی رشد خواهد کرد و به احتمال زیاد از ارقام پیش بینی شده توسط برخی از مشاوران بازار بیشتر خواهد شد.

۳،۶. قابلیت افزایش مقیاس و هزینه

قابلیت افزایش مقیاس و هزینه‌های تولید در حال حاضر مهمترین عوامل محدودکننده تجاری‌سازی گرافن هستند. مهمترین مشکل در تولید گرافن در مقیاس صنعتی پیچیدگی فرآیند و هزینه بالای تولید آن است، که منجر به محصولی گران قیمت می‌شود. بیشتر روش‌های تولید موجود قابلیت افزایش ظرفیت به مقادیر بالا را برای تضمین عرضه بلند مدت ندارند. با این حال، بسیاری از تولیدکنندگان در حال تلاش برای رسیدگی به این موضوع هستند، و هزینه تولید گرافن با بهبود روش و افزایش ظرفیت تولید به شدت کاهش می‌یابد. هزینه‌های تولید بسته به هزینه مواد شیمیایی مصرفی و پیچیدگی فرآیند متغیر است. با این حال گرافن هنوز هم به شکل بازدارنده‌ای برای بسیاری از کاربردها گران است و هزینه یک مانع بزرگ برای صنعتی شدن کاربردهای آن است.

As there is no standardized material definition, benchmarking prices can be difficult and prices vary significantly. In 2008, it was estimated that it would cost $100M to produce a square centimeter. In 2012, price estimates ranged from $200K a square centimeter for ultra-high quality material, to $20 for a lower quality sample of the same size. The general R&D web based resellers in 2014 were offering research grade functionalized GNPs at $2,500 a kilo down to $450 a kilo for 'industrial' grade GNP powders. Generally, these prices reduce as volume increases. Certain GNP producers are already offering material at prices under $100 a kilo for volume supply of functionalized powders.

Many industry participants suggest that successful commercialization of graphene requires a final price of about $10/g for high quality and pure graphene in large sheets. The best quality of graphene (pristine, defect-free ultra-high quality graphene) currently available commercially costs around $1500 m^2. There are a number of companies producing graphene to this quality.

Within 5-10 years, graphene prices may drop below that of silicon, allowing graphene to be directly competitive in computing, sensor and solar cell applications. Most sales of graphene at present are graphene nanoplatelets and graphene oxide powders for conductive inks and polymers. CVD graphene films are primarily used in R&D.

Copyright © Future Markets, Inc, 2015. All rights reserved.

Table 4: Graphene types and cost per kg.

Graphene type	Carbon layers	Properties/Typical applications	Typical cost ($/kg)	Commercial availability
Epitaxial CVD	1-2	*Conductive* • Electronics *Transparency* • ITO replacement • Flexible electronics	>$10,000	Limited
Few layer graphene	3-10	*Conductive, flexible, high surface area* • Sensors	$200-$2000	Commercially available (problems with consistency)
Graphene nanoplatelets	11-100	• Composites • Inks • Coatings • Lubricants • Printing	$500-$200	Yes (with variable quality)
Graphene oxide	Various	• Insulator • Semiconductor? • Hydrophilic-Dispersions	$200-$2000	In part

Source: Haydale.

۴،۶. کاربردهایی که وارد بازار می‌شوند

در ۲ الی ۵ سال آینده کاربرد مواد گرافنی در محصولات زیر احتمالا وارد بازار می‌شوند:

- فرمولاسیون مواد رسانا و جوهرها برای دستگاه‌های الکتریکی قابل چاپ، پوشش‌ها و منسوجات
- پوشش‌های ضد خوردگی
- جمع‌کننده‌های (کالکتورهای) جریان و پوشش‌های جداکننده
- Themal management
- باتری‌های لیتیم-یون
- باتری‌های لیتیم- گوگرد
- ابرخازن‌ها
- مواد محافظ تداخل اومواج الکترومغناطیسی (EMI)
- کامپوزیت‌های آنتی استاتیک و تقویت شده از نظر مکانیکی و فیلم‌های برير

پیش‌بینی می‌شود کاربرد پرطرفدار گرافن، فیلم‌های رسانای شفاف برای نمایشگرها باشد، اما هنوز به اثبات نرسیده است. فیلم‌های تولید شده با مساحت زیاد معمولا عملکرد پایین‌تری را از فیلم‌های اکسید قلع ایندیم از خود نشان می‌دهند، اما هزینه بالاتری دارند. اکسید قلع ایندیم معمولا برای ساخت پوشش‌های رسانا برای دستگاه‌های مختلف الکترونیک نوری، مانند نمایشگرهای صفحه تخت، سلول‌های خورشیدی و دیودهای نور گسیل به کار می رود. اکسید قلع ایندیم به دلیل مقاومت کم صفحاتش و شفافیت نوری بالا (بیش از ۹۰ درصد) استفاده می‌شود. با این حال، هزینه بالا و سختی آن منجر به تحقیقات برای یافتن ماده جایگزین در الکترودهای شفاف شد. رشد مستقیم فیلم‌های کم لایه گرافن با مساحت بالا و بدون نقص و یکنواخت روی یک بستر دلخواه، و نحوه انتقال این فیلم‌ها از فلز به روی بستر

بصورت دست نخورده تا بتواند مجددا مورد استفاده قرار بگیرد، از چالش‌های بزرگ برای تولیدCVD فیلم‌های شفاف گرافنی با عملکرد بالا و هزینه کم است. همچنین مواد پیشرفته دیگری نیز وجود دارد که برای جایگزینی در بازار اکسید قلع ایندیم در حال رقابت هستند، مانند جوهر نانوسیم‌های نقره، جوهر نانو لوله کربنی، پلیمرهای نیمه هادی، فیلم‌های فلزی بسیار نازک و اکسیدهای فلزی.
به نظر می‌رسد بهبود جوهرهای زسانا و کامپوزیت‌ها هدف اصلی کوتاه مدت برای گرافن باشد. البته در حال حاضر تعدادی از محصولات جوهر رسانا در بازار لوازم الکترونیکی مصرفی وارد شده است. پیش بینی می‌شود که بازارهای اصلی برای گرافن طی ۱۰-۵ سال آینده به شرح زیر باشد:

۱. باتری‌های لیتیم-یون
۲. جوهرهای رسانا برای لوازم الکتریکی قابل چاپ
۳. سنسورها
۴. ابرخازن‌ها
۵. کامپوزیت‌ها
۶. فیلم‌های رسانای شفاف

۵،۶. صبر کن و ببین؟

بیشتر شرکت‌های بزرگ چند ملیتی استراتژی "صبر کن و ببین" را دارند، چرا که ارزش تجاری گرافن هنوز به صورت کمی مشخص نشده است و بیشتر تحقیقات انجام شده در مرحله اولیه است. با این حال، تعدادی از شرکت‌های بزرگ مانند BASF و Merck در حال حاضر سرمایه‌گذاری قابل توجهی روی گرافن انجام داده‌اند و در حال ادغام آن با کامپوزیت‌ها و ذخیره انرژی هستند. با این حال، صنعت همچنان نیازمند بهبود عملکرد مقرون به صرفه و به کارگیری آسان در فرآیندهای موجود است.

۶،۶. آسیا و چین رهبران رقابت

شرکت‌های کره جنوبی و آمریکا در مسیر ثبت پتنت گرافن پیشرو هستند. همچنین چین به طور فزآینده‌ای در حال فعالیت است، اما بیشتر این پتنت‌ها مربوط به مراکز تحقیقاتی است تا شرکت‌ها. چین و کره جنوبی ۴۳ درصد از اختراعات جهانی (آمریکا ۲۳ درصد) مربوط به گرافن را در اختیار دارند. شش تا از ده دارنده بزرگ پتنت در دنیا در آسیا قرار دارند، که چهار تای آنها مراکز تحقیقاتی هستند. بیشتر ثبت اختراعات صورت گرفته توسط شرکت ها در بخش الکترونیک در آسیا و آمریکا است. چین در حال حاضر دارای بیشترین ظرفیت برای نانو پلاکت‌های گرافنی است.

۷،۶. رقابت با سایر مواد

با تولید مواد و ترکیبات جدید با خواص بهبودیافته، رقابت شدیدی بین گرافن و سیار گزینه‌های مطرح شکل گرفته است. به عنوان مثال در حوزه نیمه‌رساناها، سیلیکون و حتی الیاف کربنی رقبای مهمی هستند. همچنین در زمینه جایگزینی ITO رقابت شدیدی با سایر نانومواد از جمله نانوسیم‌های نقره، نانولوله‌های کربنی، پلیمرهای رسانا، مش‌های فلزی، سایر مواد دو بعدی مانند نیترید بور، دی‌سولفید مولیبدن، دی‌سولفید تنگستن و ژرمانیم وجود دارد. رقابت مذکور به طور خاص در حوزه مواد دو بعدی نیز به شدت افزایش یافته است؛ طی چند سال گذشته حوزه مواد دو بعدی رشد چشمگیری را تجربه کرده است. به صورت تقریبی بیش از ۱۰۰ ماده با ساختار لایه‌ای وجود دارد که می‌توان از آنها مواد دو بعدی و تک‌لایه‌ای ایجاد کرد. معرفی این مواد جدید نیز طی سال‌های گذشته روند نسبتا منظمی را طی کرده است؛ از جمله این مواد می‌توان به بورفن[1] اشاره کرد که یکی از موادی است که در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی حول آن انجام شده است. با این حال بر خلاف ویژگی‌های جذاب مواد دو بعدی و پتانسیل بالای آن‌ها برای استفاده در فناوری الکترونیک موجود، چالش‌های متعددی در تجاری‌سازی

[1] Borophene

پیش رو دارند؛ محدودیت روش‌های تولید فعلی، ناپایداری مواد و شناسایی کاربردهای بهینه آن‌ها از این جمله‌اند. تمامی این مواد به طور بالقوه قابلیت کاربرد در الکترونیک و اپتوالکترونیک را چه به صورت ادغام با فناوری‌های موجود و چه به صورت ترکیب با سایر مواد دو بعدی دارا هستند. در حال حاضر تولید محصولات با ساختار هیبریدی، در ترکیب با گرافن، به احتمال زیاد اصلی‌ترین مسیر تجاری‌سازی است.

۷. چالش‌های فنی و بازار

روش‌های تولید گرافن در ظرفیت‌های بالا تحقق پیدا کرده است با این حال به عنوان یک ماده جدید هنوز برای بهره‌برداری صنعتی در زمینه سنتز، مشخصه‌یابی و کاربرد در دستگاه نهایی با چالش‌های فراوانی روبرو است. در ادامه به موانع مهم کاربرد گسترده گرافن پرداخته شده است.

۱،۷. کیفیت گرافن عرضه شده

در حال حاضر کیفیت گرافن عرضه شده بسیار متغیر است. به منظور پیشرفت از مرحله آزمایشگاهی به مرحله تجاری، لازم است تا روش‌های تکرارپذیر و مقرون به صرفه در مقیاس صنعتی به منظور تولید محصول بی‌نقص توسعه پیدا کند. همچنین روش‌هایی برای طبقه‌بندی، اصلاح، عامل‌دار کردن، دوپ کردن و پخش پایدار گرافن در ماتریس‌های مختلف جهت کاربرد گسترده این محصول لازم است. غالب روش‌های با ظرفیت بالای فعلی ذاتا با محدودیت‌هایی در زمینه کیفیت گرافن تولیدی روبرو هستند که این موضوع کاربردها و بازار آن را محدود می‌کند.

آماده‌سازی و انتقال گرافن با کیفیت بالا از نظر اقتصادی با صرفه نیست. CVD نیز به عنوان ارزان‌ترین روش تولید که در صنعت الکترونیک مورد استفاده قرار می‌گیرد، هنوز جهت فعال کردن بازارهای انبوه گرافن مانند تجهیزات الکترونیکی منعطف، نمایشگرهای لمسی نشکن، حسگرها و انرژی بسیار گران است. عامل‌دار کردن و پخش گرافن یکی از چالش‌های بسیار مهم است. در حال حاضر کاربردهای تجاری گرافن به دلیل نبود مواد عامل‌دار مناسب محدود شده است. ویژگی‌های گرافن تا زمانی که به درستی پخش و ترکیب نشود، محقق نخواهد شد. طراحی گرافن عامل‌دار کلید اصلی توزیع و پخش مناسب گرافن است. وجود نقص در ساختار گرافن تاثیر منفی بر خواص الکتریکی، حرارتی و مکانیکی آن دارد.

همانطور که پیشتر گفته شد، اختلاف زیادی در کیفیت گرافن‌های تولید شده وجود دارد. تولید گرافن‌های تک‌لایه و چندلایه یک‌دست با راندمان و بهره‌وری بالا یکی از چالش‌های تمامی روش‌های تولید انبوه گرافن است. همچنین تاثیرات جانبی فرآیند تولید گرافن بر محیط‌زیست نیز باید به حداقل برسد. شرایط شیمیایی سخت و پیچیده جهت تبدیل گرافیت خام به گرافن یکی دیگر از موانع اصلی تولید گرافن در مقیاس صنعتی و تجاری‌سازی آن است که شرکت Talga Resources مدعی شده است توانسته این چالش را برطرف نماید.

۲،۷. هزینه

علی‌رغم اینکه هزینه تولید گرافن طی دو سال گذشته با کاهش زیادی روبرو بوده است، با این حال هنوز تولید انبوه این ماده با یک هزینه قابل قبول از مسائل اساسی است. در حال حاضر نسبت هزینه به عملکرد گرافن در بسیار از کاربردها برای تولیدکنندگان تجهیزات اصلی نسبت به سایر مواد موجود چندان جذاب نیست.

۳،۷. یک‌پارچه‌سازی محصول

یکی از اصلی‌ترین پیشران‌های تجاری‌سازی گرافن، شکل‌گیری همکاری بین بازیگران مختلف زنجیره ارزش گرافن است. در حال حاضر همکاری‌های یک‌پارچه بین دانشگاه‌ها، استارت‌آپ‌ها و صنعت به سرعت در حال افزایش است. به عنوان مثال در بعضی از حوزه‌های کاربرد

اصلی مانند حسگرها، پیش‌بینی می‌شود کماکان ۵ تا ۱۰ زمان لازم است تا محصولات بر پایه گرافن قابلیت رقابت با سایر فناوری‌های موجود را داشته باشند؛ که این موضوع ناشی از نبود شیوه‌های سنتز بر پایه ویفرهای بزرگ و بدون نیاز به انتقال است.

۴،۷. قوانین و استانداردها

با توجه به پیچیدگی‌های تولید گرافن و اینکه این ماده هنوز در مراحل اولیه صنعتی شدن قرار دارد، مسائل مربوط به ایمنی و سلامت این محصول هنوز مدون نشده است. با این حال با افزایش روند تجاری‌سازی این محصول، انسان‌های بیشتری در معرض تماس با آن قرار می‌گیرند. به منظور تجاری‌سازی دستاوردهای آزمایشگاهی لازم است تا استانداردهایی که خواص و ویژگی‌های ماده و پروتکل‌های ارزیابی آن در طول زنجیره ارزش گرافن تعریف می‌کند، بر اساس توافق‌های بین‌المللی بین خبرگان، تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان شکل بگیرد.

۸. تحلیل قیمت

با توجه به اینکه هیچ استانداردی برای تعریف مواد پایه گرافنی در حال حاضر وجود ندارد، قیمت‌های ارایه شده بسیار متفاوت هستند و این مسئله مقایسه قیمت‌ها را بسیار دشوار می‌کند. در سال ۲۰۰۸ هزینه تولید ۱ سانتی‌مترمربع گرافن حدود ۱۰۰ میلیون دلار تخمین زده شده بود، اما در سال ۲۰۱۲ قیمت‌های ارایه شده برای ۱ سانتی‌مترمربع از ۲۰۰ هزار دلار برای مواد بسیار با کیفیت تا ۲۰ دلار برای مواد با کیفیت پایین متغیر بوده است. در سال ۲۰۱۴ فروشندگان اینترنتی، گریدهای تحقیقاتی عامل‌دار نانوپلاکت‌های گرافن با قیمت ۲،۵۰۰ دلار برای هر کیلو و گریدهای صنعتی پودر نانوپلاکت‌های گرافن با قیمت ۴۵۰ دلار برای هر کیلو عرضه می‌کردند. به طور کلی با افزایش قیمت‌ها با افزایش حجم تولید کاهش پیدا می‌کنند. در حال حاضر حتی بعضی از تولیدکنندگان نانوپلاکت‌های گرافن، پودرهای عامل‌دار را با قیمتی کمتر از ۱۰۰ دلار برای هر کیلو عرضه می‌کنند.

بسیاری از شرکت‌های صنعتی بیان می‌کنند که تولید تجاری موفق گرافن نیازمند قیمتی در حدود ۱۰ دلار برای هر گرم گرافن با کیفیت و خالص است. بهترین کیفیت گرافن (خالص، بدون نقص و با کیفیت فوق العاده) در حال حاضر به صورت تجاری هزینه‌ای در حدود ۱،۵۰۰ دلار برای هر متر مربع دارد. تنها تعدادی از شرکت‌ها هستند که گرافن را با این کیفیت تولید می‌کنند. در طی ۱۰-۵ سال، ممکن است قیمت گرافن کمتر از سیلیکون شود، که به گرافن اجازه می‌دهد تا به طور مستقیم برای کاربرد در پردازنده‌ها، حسگرها و سلول‌های خورشیدی با سیلیکون رقابت کند. بیشترین فروش گرافن در حال حاضر نانو پلاکت‌های گرافنی و پودر اکسید گرافن برای جوهرهای رسانا و پلیمرها است. فیلم‌های CVD گرافن اساسا برای تحقیق و توسعه استفاده می‌شوند.

جدول ۱۱- انواع گرافن و هزینه تولید آن به ازای هر کیلوگرم

نوع گرافن	تعداد لایه	خواص/ کاربردهای معمول	هزینه معمول به ازای هر کیلوگرم	دسترس‌پذیری تجاری
Epitaxial CVD	۱-۲	رسانایی ✓ الکترونیک شفافیت ✓ جایگزین ITO ✓ دستگاه‌های الکترونیک منعطف	بیش از ۱۰ هزار دلار	محدود
Few layer graphene	۳-۱۰	رسانایی، انعطاف‌پذیری، مساحت بالا ✓ حسگرها	۲۰۰-۲۰۰۰ دلار	به صورت تجاری در دسترس است (مشکل با ثبات)

Graphene nanoplatelets	۱۰۰-۱۱	✓ کامپوزیت‌ها ✓ جوهرها ✓ پوشش‌ها ✓ روانکارها ✓ چاپ	۲۰۰۰-۵۰۰ دلار	به صورت تجاری در دسترس است (با کیفیت‌های مختلف)
Graphene oxide	مختلف	✓ عایق ✓ نیمه هادی‌ها ✓ محلول‌های آب دوست	۲۰۰۰-۲۰۰ دلار	بخشی

کشورهای مختلف

سرمایه‌گذاری‌های آکادمی‌ک در حال افزایش است. برای مثال، اتحادیه اروپا در بیش از یک دهه یک میلیارد یورو متعهد شده است، برای تحقیقات بر روی گرافن و سایر مواد دو بعدی هزینه کند این در حالی است که دولت های کره و انگلستان در دو سال گذشته به ترتیب حداقل ۴۰ دلار و ۲۴ پوند هزینه کرده‌اند. در حدود ۸،۰۰۰ پتنت مربوط به گرافن ثبت شده است، که گواه سرمایه‌گذاری عظیم و خط محصولات در حال توسعه می‌باشد.

Business Layout of Major Global and Chinese Graphene Manufacturers

Company	Investment Time	Industrial Distribution
ANGSTRON MATERIALS	2007	In May 2015, it teamed with Stryke Industries LLC to accelerate development and commercialization of graphene products for military and defense applications.
GRAFOID	2011	In August 2014, the company created MesoGraf platform with which to produce high-purity, high-density graphene; In May 2015, it made a wholly-owned acquisition of MuAnalysis Inc., an electronic component analytical service provider.
The Sixth Element Inc.	2011	In 2014, it acquired a 100% stake in Wuxi Graphene Technologies Co., Ltd.; In addition, it also set up a joint venture Changzhou Boke Graphene Detection Technology Co., Ltd.
MX	2012	In April 2015, the company signed a tripartite agreement with Nanjiang Space and Nanjiang Robotics to jointly develop the application of graphene in near space aerocraft and robots.
KDX	2014	The company set up graphene R&D and production subsidiary; In collaboration with BAIC Capital, it set up a fund for graphene development; It also introduced Xi'an National Aviation Industrial Fund Investment Management Co. to expand R&D of graphene products for military and defense applications.
Der德尔	2014	It bought shares in Browah, a graphene heat abstractor manufacturing company; It established Der Future graphene industry fund and graphene investment platform; It also partnered with Xiamen University to set up Del Graphene Research Institute.

Source: Global and China Graphene Industry Report, 2015-2018; ResearchInChina

ResearchInChina
www.researchinchina.com

GLOBAL FUNDING

Government funding for graphene to date totals over $2.4 billion. The European Union is funding a 10 year 1,000 million Euros coordination action on graphene, The Graphene Flagship.[4] South Korea has plans to spend $350 million plus on commercialization initiatives, including $40 million from 2013-2020 on bringing touch screen panel and organic light-emitting diode (OLED) panel products to the market.

The United Kingdom is investing over $100 million on various initiatives and has increased funding in the past 12 months. In the United States there are numerous graphene programmes under the National Nanotechnology Initiative.

Copyright © Future Markets, Inc, 2015. All rights reserved.

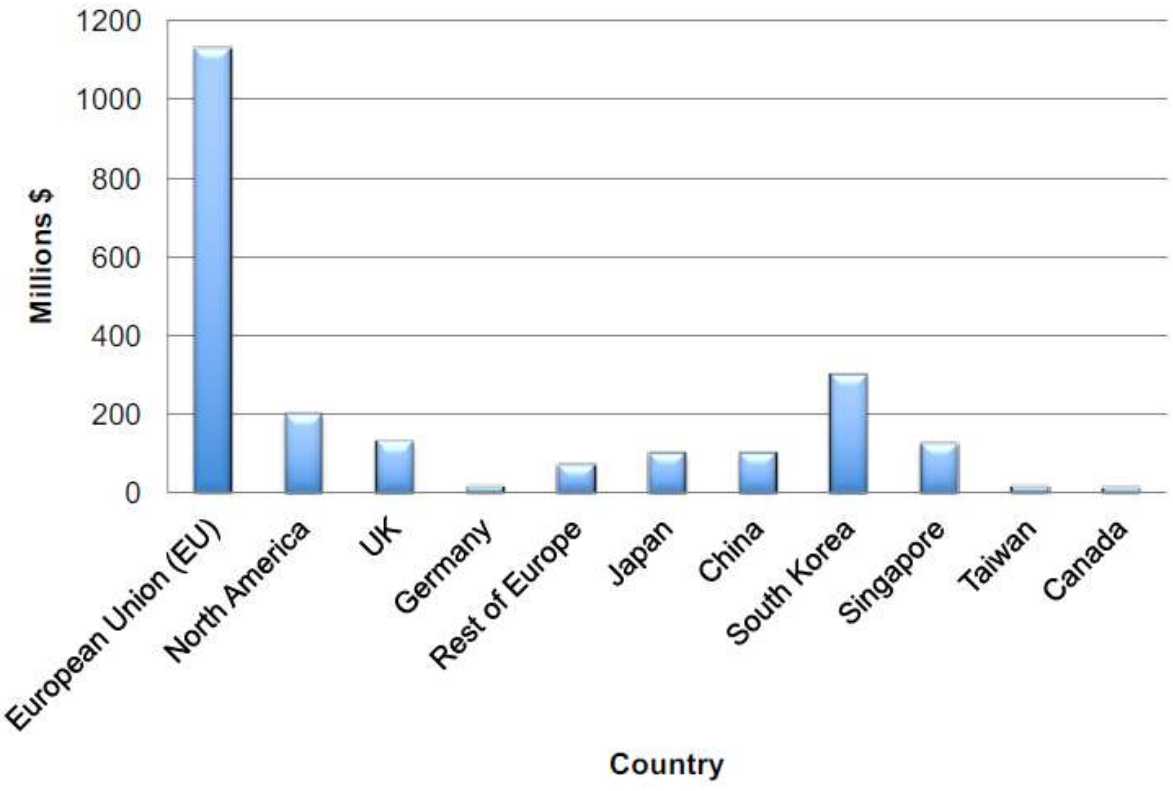


Figure 1: Global government funding for graphene.

فصل ششم
تحلیل بازار الکترونیک و فتونیک

مقدمه

گرافن خواص الکترونیکی بسیار عالی دارد؛ تحرک‌پذیری حامل‌های بار و رسانایی این ماده به طرز خارق‌العاده‌ای بالا است. الکترون‌ها در گرافن ده‌ها بار سریع‌تر از سیلیکون جریان دارند. این خواص گرافن را به یک گزینه ایده‌آل جهت استفاده در نسل بعدی تجهیزات الکترونیکی تبدیل می‌کند. کاربردهای الکترونیکی کوتاه و میان برای گرافن شامل برچسب‌های شناسایی فرکانس رادیویی (RFID)[1]، نمایشگرها و نور پس‌زمینه با وضوح پایین، حسگرها، اتصالات الکتریکی[2]، پردازش سیگنال‌های آنالوگ و بسته‌بندی لوازم الکترونیکی است. کاربردهای اولیه گرافن در تجهیزات الکترونیکی ارزان‌قیمت خواهد بود چرا که تولید تجهیزات گران‌قیمت نسبت به هزینه تولید حساسیت بالاتری دارند.

در حال حاضر روش‌هایی که از نظر هزینه، ظرفیت بالا و امکان فنی جهت کاربرد گرافن در لوازم و قطعات الکترونیکی سازگاری داشته باشد، تحت توسعه هستند. در حال حاضر تقاضا برای فیلم‌های رسانای شفاف، به دلیل افزایش لوازمی نظیر صفحات لمسی، نمایشگرها و فتوولتاییک‌ها، به شدت افزایش یافته است؛ با این حال موفقیت گرافن در این حوزه به توسعه سایر مواد جایگزین رقیب در این حوزه نیز بستگی دارد.

جدول ۱۲- گرافن در صنایع الکترونیک و فتونیک

کاربرد	مرحله تجاری‌سازی	اندازه بازار (دلار)
رساناهای شفاف (جایگزین ITO)	۳ – ۴	بیش‌تر از ۴/۵ میلیارد
کلیدهای نوری	۱	بیش‌تر از ۱/۵ میلیارد
جوهرهای رسانا	۴	بیش‌تر از ۱/۵ میلیارد
ترانزیستورهای فرکانس بالا و مدارهای مجتمع	۱ – ۲	بیش‌تر از ۵ میلیارد
دستگاه‌های حافظه	۱ – ۲	بیش‌تر از ۵ میلیارد
چاپ سه بعدی	۳ – ۴	بیش‌تر از ۱/۵ میلیارد

[1] Radio-frequency identification
[2] Electrical Contact

۱. فیلم‌های رسانای شفاف

۱،۱. معرفی فیلم‌های رسانای شفاف

فیلم‌های رسانای شفاف، لایه‌های نازک شفاف نوری و رسانای الکتریکی هستند. آنها به طور گسترده در تولید تجهیزاتی از جمله صفحات نمایش لمسی، نمایشگرهای کریستال مایع (LCD)، پنجره‌های هوشمند الکتروکرومیک، سلول‌های خورشیدی و دیودهای نور گسیل ارگانیک (OLED) کاربرد دارد. در حال حاضر ITO، با سهم ۹۰ درصدی، اصلی‌ترین ماده مورد استفاده در بازار جهانی فیلم‌های رسانای شفاف است. کاربردهای اصلی این فیلم‌های رسانای شفاف در موارد زیر است:

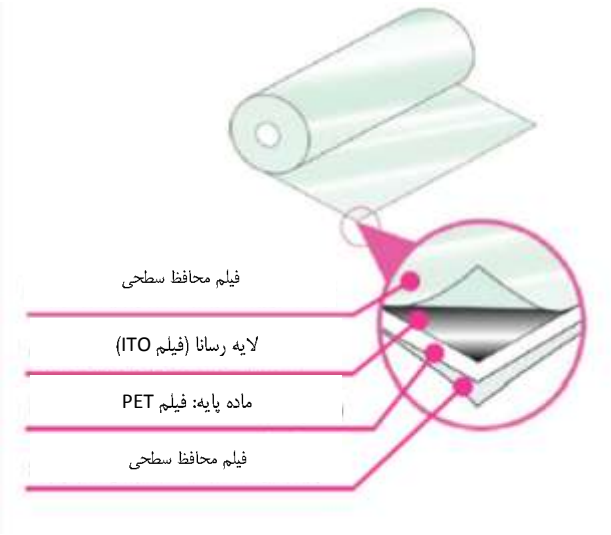
- ✓ تلفن‌های همراه هوشمند، تبلت‌ها، نت بوک‌ها، مانیتورها و تلویزیون
- ✓ تجهیزات پوشیدنی لمسی
- ✓ روشنایی OLED
- ✓ نمایشگرهای LCD
- ✓ پنجره‌های هوشمند
- ✓ سلول‌های خورشیدی و فتوولتائیک ارگانیک



تصویر ۲۰- نمونه کاربردهای فیلم‌های شفاف رسانا

۱،۱،۱. ساختار فیلم‌های رسانای شفاف

همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌کنید، فیلم‌های رسانای شفاف معمولا از چهار جزء مختلف شامل، دو لایه فیلم محافظ سطحی در دوطرف ، یک لایه رسانا و یک ماده پایه تشکیل شده است.



تصویر ۲۱- ساختار فیلم‌های رسانای شفاف

۲،۱،۱. انواع فیلم‌های رسانای شفاف

تکنولوژی‌های مورد استفاده در ساخت فیلم‌های شفاف رسانا شامل موارد زیر است:

- ✓ ITO بر روی شیشه
- ✓ ITO بر روی PET
- ✓ نانولوله‌های کربنی
- ✓ گرافن
- ✓ نانوسیم‌های نقره
- ✓ مش‌های فلزی (چاپ شده، اچ شده و ...)
- ✓ پلیمرهای رسانا (PEDOT)

۲،۱.کاربرد گرافن در نمایشگرها و فیلم‌های رسانای شفاف

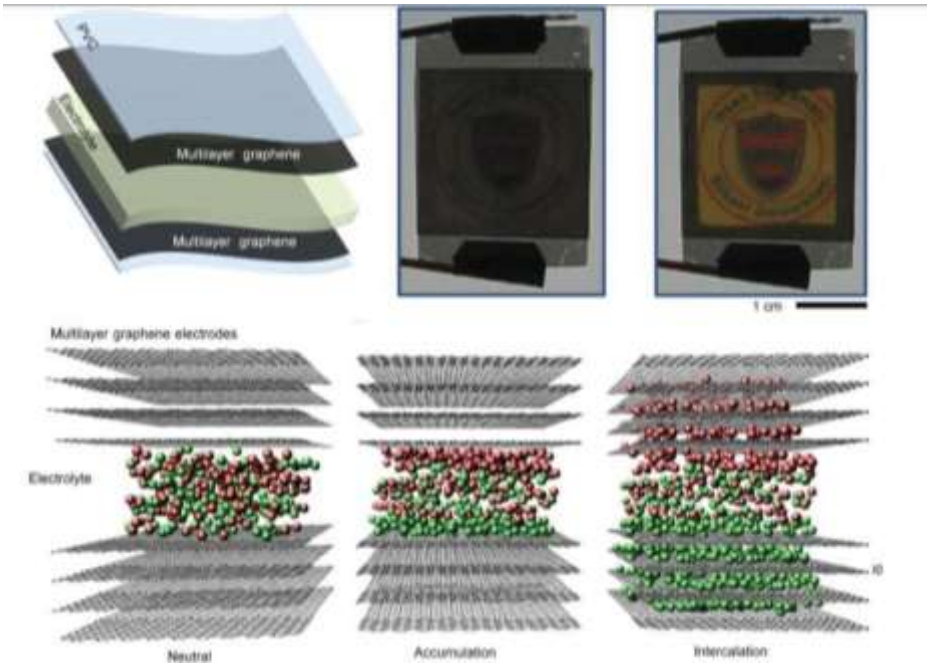
به زودی از گرافن در مقیاس صنعتی در کاربردهای فتوالکترونیک، به ویژه صفحات لمسی، نمایشگرهای کریستال مایع (LCD) و دیودهای نور گسیل ارگانیک (OLED) استفاده خواهد شد. برای اینکه یک ماده بتواند در کاربردهای فتوالکترونیک مورد استفاده قرار گیرد، باید قادر به انتقال بیش از ۹۰ درصد نور و همچنین خاصیت رسانایی الکتریکی زیاد و بنابراین مقاومت الکتریکی کم باشد. گرافن تقریبا یک ماده کاملا شفاف است و قادر به انتقال نور تا ۹۷/۷ درصد است. همچنین این ماده بسیار رسانا است، به همین دلیل همان‌طور که گفته شد برای کاربردهای فتوالکترونیک نظیر صفحات لمسی LCD برای گوشی‌های هوشمند، تبلت، کامپیوتر و تلویزیون بسیار مناسب است.

در حال حاضر به طور گسترده از ماده اکسید قلع ایندیم (ITO) استفاده می‌شود؛ توسعه تولید ITO در بیش از چند دهه، باعث شده این ماده خیلی خوب در این کاربرد مورد استفاده قرار گیرد. با این حال آزمایش‌های اخیر نشان داده‌اند که گرافن به طور بالقوه قادر به مطابقت با خواص ITO، حتی در وضعیت فعلی که نسبتا در حال توسعه است، باشد. همچنین اخیرا نشان داده شده که جذب نوری گرافن می‌تواند با تنظیم تراز فرمی[1] تغییر کند. این در حالی است که این خواص برای ITO مشاهده نشده است، گرافن دارای خواص اضافی است که می‌تواند با فناوری

[1] Fermi level

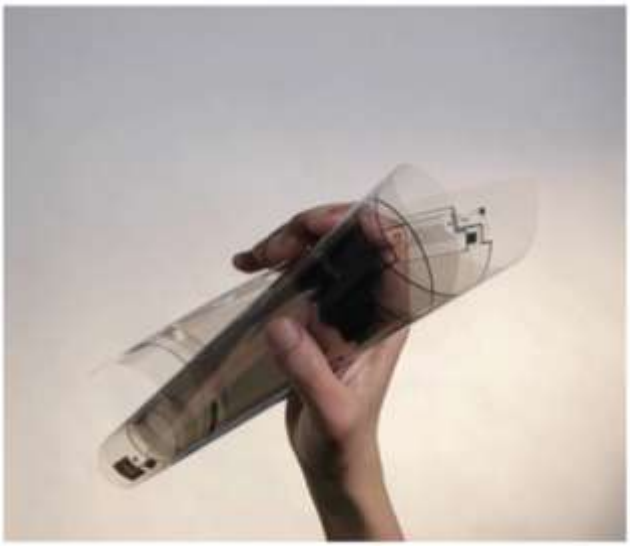
بسیار هوشمندانه برای توسعه در فتوالکترنیک با ITO جایگزین شود. واقعیت این است که گرافن با کیفیت بالا دارای استحکام کششی خیلی زیاد و انعطاف‌پذیر است و به زودی استفاده از آن در کاربردهای فوق اجتناب ناپذیر خواهد بود.

همان‌طور که گفته شد، رسانایی و شفافیت گرافن بسیار عالی است. علاوه بر این، انعطاف‌پذیری مناسب و استحکام مکانیکی بالای آن، گرافن را به گزینه مناسبی جهت استفاده در تجهیزات الکترونیکی منعطف تبدیل کرده است. این ماده تاکنون به عنوان الکترود رسانای شفاف در سلول‌های خورشیدی، حسگرهای نمایشگر لمسی مورد آزمایش قرار گرفته است. محققین همچنین الکترودهای ترکیبی نانوسیم–گرافن را به منظور افزایش رسانایی تولید کرده‌اند؛ نانوسیم‌های نقره‌ای به منظور تامین رسانایی الکتریکی مورد نیاز و گرافن نیز به منظور ممانعت از اکسید شدن و خوردگی این نانوسیم‌ها استفاده می‌شوند. در این میان گرافن‌های چند لایه پتانسیل خوبی جهت تولید تجهیزات الکتروکرومیک منعطف جهت کاربرد در نمایشگرهای نوری و شیشه‌های هوشمند دارد. این محصولات در ساختمان‌های هوشمند و نمایشگرهای هوشمند می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.



تصویر ۲۲- نمایش لوگو پس از اعمال ولتاژ بر روی الکترود گرافن چندلایه‌ای به همراه ارائه شماتیک آن

کاربرد گرافن به عنوان الکترود رسانای شفاف، اصلی‌ترین ارزش افزوده این ماده در نمایشگرهای لمسی برای بازار محسوب می‌شود. گرافن تقریبا می‌تواند بر روی تمامی مواد اعمال شود و سپس پس از آن به یک رسانا تبدیل شود. البته اگر چه گرافن‌های با شفافیت ۸۵ درصد و مقاومت ۱۵ Ω/sq به صورت آزمایشگاهی تولید شده‌اند، با این حال مقاومت گرافن‌های تولید شده به روش CVD، در حال حاضر Ω/sq ۴۰۰ است که این مقدار در مقابل ITO با شفافیت ۸۰ درصد و مقاومت ۱۰ Ω/sq قابل رقابت نیست خصوصا که قیمت ITO در حال حاضر از گرافن نیز پایین‌تر است.



تصویر ۲۳- صفحه ترانزیستو منعطف تولید شده توسط FexEnable

در حال حاضر سامسونگ اصلی‌ترین توسعه‌دهنده تکنولوژی در حوزه رساناهای شفاف پایه گرافن است و همچنین تعداد زیادی از توسعه‌دهندگان کاربرد و تولیدکنندگان فعال در این حوزه، آسیایی هستند. تعدادی از شرکت‌های چینی مانند AWIT و Galaxy Microsystems گرافن را در نمایشگرهای لمسی تلفن‌های همراه به کار برده‌اند.

۳،۱. بازار جهانی فیلم‌های رسانای شفاف

۱،۳،۱. محرک‌های بازار

جایگزین ITO در تجهیزات الکترونیکی منعطف: فیلم‌های رسانای شفاف به طور گسترده در تولید تجهیزاتی از جمله صفحات نمایش لمسی، پنجره‌های هوشمند الکتروکرومیک، سلول‌های خورشیدی و دیودهای نور گسیل ارگانیک (OLED) کاربرد دارد. در حال حاضر ITO با سهم ۹۰ درصدی، اصلی‌ترین ماده مورد استفاده در بازار جهانی فیلم‌های رسانای شفاف است. با این حال ITO ماده‌ای گران‌قیمت است که روش تولید آن نیز با چالش‌هایی همراه است (فرایند مکش پیچیده و در دمای بالا). از طرف دیگر بعضی از گزارش‌ها حاکی از آن است که منابع ایندیم به سرعت در حال کاهش است، هر چند منابع صنعتی چنین باوری نداشته و معتقدند که عرضه کافی در این مورد وجود دارد. چالش دیگر پیش روی این ماده، سختی و شکنندگی این محصول تحت فشارهای خارجی است که کاربرد آن را در تجهیزات منعطف آینده محدود می‌کند. این ماده همچنین ضریب انعکاس بالایی (IR=۲/۶) داشته و زرد رنگ است. با توجه به چشم‌انداز تجهیزات قابل انعطاف، تاشو و قابل کشش، نیاز شدیدی به مواد جدیدی که بتواند جایگزین ITO شود، احساس می‌شود. از این رو رساناهای شفاف غیر ITO که منعطف هستند، به سرعت در حال توسعه می‌باشند. هدف از جایگزینی ITO را می‌توان شامل موارد زیر دانست:

- ✓ بهبود عملکرد (رسانایی)
- ✓ کاهش مصرف مواد اولیه و هزینه تولید
- ✓ بهبود فرآیند تولید (عدم نیاز به مکش و کارخانه مبدل LCD)

اصلی‌ترین گزینه‌های جایگزین ITO، شامل مش‌های فلزی، نانوسیم‌های نقره، نانولوله‌های کربنی، پلیمرهای رسانا (PEDOT:PSS)[1] و گرافن است. نامناسب بودن ITO برای استفاده در لوازم الکترونیکی انعطاف‌پذیر، فرصت مناسبی را برای نانومواد کربنی ایجاد کرده است. در جدول زیر مقایسه‌ای از جایگزین‌های مختلف ITO ارایه شده است.

[1] poly(3,4-ethylenedioxythiophene) polystyrene sulfonate

جدول ۱۳- مقایسه خواص گرافن و سایر مواد در فیلم‌های شفاف رسانا

ویژگی	نانولوله‌های کربنی	گرافن	PEDOT	نانوسیم‌های نقره	مش فلزی
مقاومت صفحه (Ω/sq)	حدود ۲۰۰	حدود ۵۰ تا ۱۰۰	حدود ۳۰۰	حدود ۶۰	حدود ۱۰
پراکنش[1] (٪)	۸۸	۷۰ تا ۹۰	۸۸	۹۰	۸۵ تا ۸۸
مزایا	✓ قابلیت پوشش سطوح بزرگ	✓ R/sq پایین	✓ هزینه پایین ✓ فرایند ساده	✓ شفافیت بالا ✓ R/sq پایین	✓ هزینه پایین ✓ R/sq پایین
معایب	✓ R/sq بالا ✓ هزینه بالا	✓ دشواری پوشش سطوح بزرگ ✓ انتقال دشوار ✓ یکنواختی کم	✓ R/sq بسیار بالا ✓ شفافیت کم ✓ رنگ آبی ✓ پایداری	✓ هزینه بالا ✓ جریان فرایند طولانی	✓ شبکه قابل مشاهده ✓ انفصال راحت

رشد بازار تجهیزات الکترونیکی پوشیدنی: طی سال‌های گذشته تقاضا برای نصب تجهیزات الکترونیکی بر روی مواد شفاف و منعطف به شدت افزایش یافته است. انعطاف‌پذیری تجهیزات الکترونیکی معمولا به دلیل ضعیف بودن اتصالات و یا سختی یکی از قطعات که عمدتا یک فلز یا اکسید رسانا است، محدود می‌شود. بازار نمایشگرهای منعطف در حال حاضر با چالش‌هایی در فرایند تولید شامل دمای بالا (بیشتر از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) و هزینه تولید ماتریس فعال روتر است. مدارهای مجتمع منعطف چند کارکردی از نیازمندی‌های اصلی توسعه لوازم الکترونیکی پوشیدنی هستند. خواص مطرح در این مواد شامل انعطاف‌پذیری، شفافیت، استحکام مکانیکی و حداکثر دمای فعالیت است. توسعه این لوازم در آینده کاملا وابسته به ساخت موادی است که ویژگی‌های زیر را دارا باشند:

- ✓ انعطاف‌پذیری مکانیکی
- ✓ وزن کم
- ✓ ارزان‌قیمت
- ✓ رسانای الکتریکی
- ✓ شفاف

همانطور که گفته شد، نقاط ضعف ITO کاربرد این محصول را در تجهیزات الکترونیکی منعطف محدود کرده است، بنابراین در حال حاضر نیاز مبرمی به مواد رسانای شفاف با خواص مکانیکی مطلوب وجود دارد و نانومواد کربنی یکی از گزینه‌های مناسب جهت پر کردن این خلاء در آینده هستند.

الزامات فناوری‌های لمسی: بازار صفحات لمسی کالاهای مصرفی الکترونیکی رشد چشم‌گیری کرده است. تقریبا ۱/۳ میلیارد عدد صفحه لمسی در سال ۲۰۱۳ تولید شده است و انتظار می‌رود این تعداد در سال ۲۰۱۷ به ۲/۳ میلیارد عدد برسد. در حال حاضر فاکتورهایی که فعالین این حوزه به دنبال بهبود آن‌ها هستند شامل موارد زیر است:

- ✓ مکانیکی: تجهیزات سبک‌تر و نازک‌تر با استفاده از بوردهای باریک‌تر، لنزهای نازک‌تر
- ✓ لمسی: پاسخ بهتر و دقیق‌تر با تداخل کم برای استفاده در کالاهای فشرده‌تر
- ✓ نوری: حسگرهای مناسب برای نمایشگرهای با وضوح بالا
- ✓ هزینه: هزینه تمام شده پایین برای بقا در فضای رقابتی موجود

۲،۳،۱. اندازه بازار

بازار فیلم‌های شفاف رسانا در سال ۲۰۲۵ به ۱/۲ میلیارد دلار خواهد رسید. مواد جایگزین ITO یکی از بازارهای در حال رشد فیلم‌های رسانای شفاف است که تقریبا در اختیار مش‌های فلزی و نانوسیم‌ها قرار دارد. تعدادی از شرکت‌ها نیز مانند Atmel و Fujifilm نمایشگرهای لمسی را با استفاده از مش‌های فلزی تولید کرده‌اند. حجم بازار جهانی حسگرهای لمسی در سال ۲۰۱۵ حدودا ۵ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود که بخش تلفن‌های همراه حدود ۶۰ درصد از سهم این بازار را به خود اختصاص داده است. بازار حسگرهای تبلت نیز حدود بیش از ۱ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود. تخمن سهم

[1] Transmittance

بازار تجهیزات الکترونیکی پوشیدنی نیز برای این سال حدود ۷۵۰ میلیون دلار بوده است. بخش خودرو، بازار حسگرهای لمسی نیز به شدت در حال رشد است و انتظار می‌رود اندازه این بازار در سال ۲۰۲۰ به ۰/۲۵ میلیارد دلار برسد.

در حال حاضر نانومواد کربنی درصد بسیار کمی از این بازار را به خود اختصاص داده‌اند. کارشناسان بیشترین فرصت را برای این مواد در حوزه تجهیزات الکترونیکی پوشیدنی متصور هستند.



تصویر ۲۴- فیلم رسانای شفاف گرافنی تولید شده توسط شرکت 2D Carbon Tech و پروتوتایپ تلفن همراه تولید شده توسط این شرکت

۳،۲،۱. توسعه‌دهندگان محصول

در جدول زیر نام شرکت‌های فعال در حوزه توسعه کاربرد و محصولات گرافن در حوزه فیلم‌های رسانای شفاف و فعالیت‌های آن‌ها ارائه شده است.

جدول ۱۴- شرکت‌های فعال در حوزه توسعه فیلم‌های رسانای شفاف

شرکت	فعالیت
2D Carbon Graphene Material Co., Ltd.	تولید انبوه فیلم‌های گرافن برای نمایشگرهای لمسی برنامه‌ریزی برای تولید ۳،۰۰۰ مترمربع فیلم رسانای شفاف بر پایه گرافن
BASF	همکاری با Vorbech جهت بهبود پخش گرافن رسانا برای تولید کامپاندها و پوشش‌های رسانا برای صنایع الکترونیک
BG Materials Ltd.	تولید Grat-FET™، ترانزیستورهای اثر میدانی گرافنی و CVD Grat-Film™ برای تجهیزات الکترونیکی تولید آنتن فرکانس رادیویی بر استفاده از جوهر گرافنی در سال ۲۰۱۵ تولید BGTM's Grat-Ink™ شامل نانوصفحات گرافنی پخش‌شده در محلول‌های آبی و NMP است برای فیلم‌های رسانا
Flexenable	ارائه موفق یک نمایشگر منعطف بر پایه رسانای شفاف گرافنی در ارائه ترانزیستوری آن در سال ۲۰۱۴
Graphenea Nanomaterials	فیلم‌های نازک گرافن برای کاربرد در انرژی‌های تجدیدپذیر، ذخیره انرژی، تجهیزات الکترونیکی و نمایشگرها همکاری با Philips بر روی OLED با استفاده از الکترودهای گرافن
Graphene Square	تولید فیلم‌های گرافنی با استفاده از روش CVD برای کاربرد در تجهیزات الکترونیکی
Haydale	تولید جوهر گرافنی با مقاومت صفحه‌ای کمتر از ۱۰ Ω/sq و قابلیت خشک شدن در دمای پایین که به طور خاص برای چاپ سیلک فرموله شده با قابلیت استفاده در چاپ گراور و فلکسو این جوهرها قیمت پایین‌تری نسبت به نقره داشته و مانند مس اکسید نمی‌شوند و به دلیل انعطاف در تجهیزات الکترونیکی منعطف قابل استفاده هستند و در صورت افزایش سطح می‌توانند در حسگرهای شیمیایی نیز کاربرد داشته باشند.

شرکت	فعالیت
Nigbo Morsh Technology	توافق‌نامه با دو شرکت Guangdong Zhengyang و OGS maker برای تولید ۱۰ میلیون عدد فیلم رسانای شفاف بر پایه گرافن
Texas Instruments, Inc.	توسعه نانوصفحات تک‌لایه بزرگ گرافنی برای تجهیزات الکترونیکی
Wuxi Graphene Film	توسعه گرافن برای استفاده در نمایشگرهای لمسی

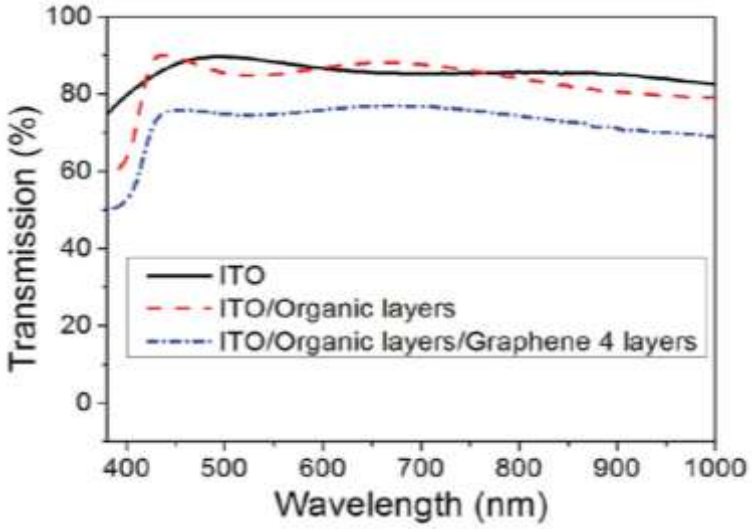
۴،۳،۱. چالش‌های بازار

سایر مواد رقیب: اگرچه فیلم‌های رسانای منعطف در تجهیزات الکترونیکی اصلی‌ترین بازار گرافن محسوب می‌شود، اما همزمان حدود ۲۰۰ شرکت و موسسه تحقیقاتی در حال توسعه جایگزین‌های دیگری برای ITO مانند مش‌های فلزی، نانوسیم‌های نقره، پلیمرهای رسانا، نانوتیوب‌های کربنی و سایر مواد دوبعدی هستند.

هزینه نسبت به ITO: در حال حاضر روش تولید مطمئنی برای تولید گرافن در ابعاد صفحات لمسی بزرگ و ظرفیت بالا وجود ندارد. علاوه بر این نمایشگرهای موجود نیازمند مقاومت صفحه‌ای پایینی هستند که گرافن‌های تولیدی در حال حاضر چنین کیفیتی ندارند (از دوپ شدن شیمیایی برای حال این مشکل استفاده می‌شود). فیلم‌های گرافنی تولید شده برای سطوح بزرگ در حال حاضر علاوه بر اینکه عملکرد پایین‌تری نسبت به ITO دارد، هزینه تمام شده بیشتری نیز دارد. هزینه نهایی تولید فیلم‌های گرافن با استفاده از فرایند CVD حدود ۶۴ دلار است که این قیمت در مقایسه با ITO بسیار بالاتر است.

مشکلات انتقال و رشد: یکی از روش‌های نسبتا ارزان و نوید بخش تولید گرافن با کیفیت روش CVD بر روی فلزات واسطه است؛ با این حال با توجه به پیوند قوی ایجاد شده بین گرافن تولیدی و سطح فلزات مذکور، انتقال گرافن به سایر سطوح مورد نظری امری دشوار است. بر اساس آزمایش‌های صورت گرفته CVD بر روی فویل‌های مسی اثربخش‌ترین روش برای تولید فیلم‌های گرافنی بزرگ با کیفیت مناسب است. از نظر تئوری امکان تولید گرافن به هر اندازه‌ای متناسب با اندازه فویل بستر و محفظه واکنش وجود دارد. در این رابطه اگرچه استفاده از فویل مسی بزرگ اقتصادی است، اما محفظه واکنش در اندازه مورد نظر غیر اقتصادی است. با افزایش اندازه محفظه واکنش، پیچیدگی واکنش و هزینه آن به طرز چشم‌گیری افزایش می‌یابد. شرکت آمریکایی LasLumin LLC در این باره مدعی شده است که توانسته مشکل مربوط به ابعاد محفظه واکنش را حل کند. آن‌ها توانسته‌اند فیلم گرافنی تا ۳۰۰ اینچ را با استفاده از یک محفظه لوله کوارتز ۵ اینچی تولید کنند.

بهبود مقاومت صفحات: به طور معمول مقاومت صفحه‌ای گرافن CVD تک‌لایه اولیه یا دوپ نشده حدود ۱۰۰۰ Ω/sq تا ۵۰۰۰ Ω/sq است که برای استفاده به عنوان رسانای شفاف بسیار بالا است. یکی از رویکردها برای بهبود مقاومت انباشتن چند لایه از گرافن بر روی هم است که این روش منجر به کاهش شفافیت فیلم گرافن می‌شود. شماری از مطالعات نیز به منظور کاهش مقاومت صفحه‌ای و بهبود عملکرد الکترودهای گرافنی با استفاده از دوپ شدن شیمیایی انجام شده است. همچنین استفاده از فیلم‌های نازک فلزی بر روی گرافن جهت کاهش مقاومت الکتریکی آن مورد بررسی قرار گرفته است. با این حال استفاده از هر یک از این روش‌ها، محدودیت‌هایی نیز به همراه دارد. به عنوان مثال دوپ شدن شیمیایی در طول زمان ناپایدار است و استفاده از فیلم‌های نازک فلزی نیز شفافیت را کاهش می‌دهد.



نمودار ۲۱- مقایسه شفافیت ITO، چهار لایه ارگانیک/ITO و چهار لایه گرافن/چهار لایه ارگانیک/ITO

به طور کلی مقاومت، شفافیت و قابلیت تولید گسترده این محصول هنوز به حد مورد انتظار صنعت نرسیده است.

۲. جوهرهای رسانا

۱،۲. معرفی جوهرهای رسانا

جوهر رسانا، یک مایع حاوی مواد رسانا عمدتا تشکیل شده از ذرات فلزی است که می‌تواند چاپ شده و سپس گرما دیده و پخته شود تا الگوهایی رسانا ایجاد کند. این ماده اصلی‌ترین جزء صنعت الکترونیک چاپی است. الکترونیک چاپی، به صنعتی گفته می‌شود که در آن مدارات الکترونیکی روی یک سطح انعطاف‌پذیر نظیر پلاستیک یا کاغذ چاپ می‌شوند. به‌صورت سنتی ادوات الکترونیکی با استفاده از فتولیتوگرافی، لایه‌نشانی در خلاء و فرآیندهای آبکاری بدون برق ساخته می‌شوند. برخلاف این روش‌های گرانقیمت، می‌توان از چاپ جوهرافشان به‌عنوان روشی ارزان و سریع برای ایجاد مدارات الکترونیکی استفاده کرد. تمام فناوری‌های جوهرافشان براساس اسپری قطرات جوهر مایع کار می‌کنند که معمولا دو حالت اسپری مداوم و اسپری کنترل شده برای این فناوری طراحی شده‌است. جوهرهای رسانا معمولا حاوی ترکیبات رسانای الکتریکی هستند که در آنها یک فاز سیال آلی یا آبی وجود داشته که درون آن افزودنی‌های مختلف وجود دارد که با کمک این افزودنی‌ها عملکرد آن بهبود می‌یابد. این جوهرها معمولا حاوی مواد رسانا نظیر پودر یا ورقه‌های نقره و مواد کربنی است، هر چند رسانایی پلیمری نیز شناخته شده است. جوهرهای رسانا می‌توانند یک روش اقتصادی‌تر برای ایجاد قطعات رسانای مدرن باشند.



تصویر ۲۵- جوهر رسانای محصولات شرکت Vorbeck Materials

تقاضای جوهرهای رسانای چاپی به سرعت در حال رشد است. بخش الکترونیک چاپی به سرعت در حوزه‌های برچسب‌های شناسایی فرکانس رادیویی (RFID) برای رهگیری موجودی، فتوولتائیک (PV)، حسگرها، وسایل نقلیه، بسته‌بندی‌های هوشمند ضدسرقت، کارت‌های هوشمند، باتری‌های چاپی، حسگرهای الکتروشیمیایی، نمایشگرهای و چراغ‌های منعطف، حسگرهای پوشیدنی و نمایشگرهای لمسی در حال رشد است. صفحه کلیدهای کامپیوتر شامل غشاهایی با مدارات چاپ شده است. بسیاری از خودروهای جدید دارای اثرهای رسانای چاپ شده روی پنجره عقب است که به عنوان آنتن رادیویی عمل می‌کند. در حال حاضر حوزه فتوولتائیک اصلی‌ترین مصرف‌کننده جوهرهای رسانا است که از آن برای اتصالات چاپی در فرآیند تولید استفاده می‌کند. به طور کلی، بازارهای اصلی جوهرهای رسانا را می‌توان موارد زیر عنوان کرد:

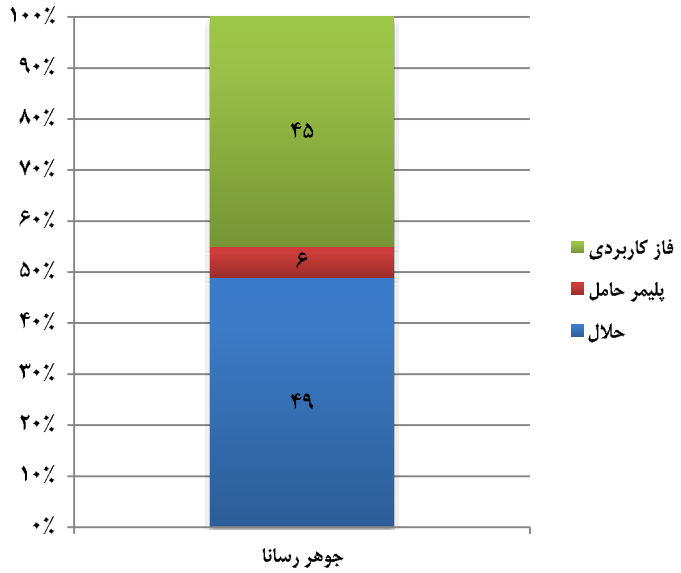
- ✓ خودرو
- ✓ صفحات لمسی
- ✓ فتوولتاییک‌ها
- ✓ FRID
- ✓ EMI
- ✓ حسگرها
- ✓ بسته‌بندی‌های هوشمند

جوهرهای رسانا یکی از اجزای کلیدی تجهیزات الکترونیکی چاپی هستند اما محدودیت‌های جوهرهای رسانای موجود، رشد بازار را با محدودیت‌هایی روبرو کرده است. اجزایی که با جوهرهای رسانای موجود چاپ می‌شود با تنش‌های خمشی زیادی روبرو می‌شوند که می‌تواند

منجر به شکستن و قطع شدن مسیرهای رسانا شود. جوهرهای رسانایی که حاوی نقره هستند گران‌قیمت و شکننده هستند و جوهرهای سنتی کربنی نیز مقاومت الکتریکی بالایی دارد.

۲،۱،۱. اجزای جوهرهای رسانا

به طور کلی اجزای تشکیل‌دهنده جوهر رسانا را می‌توان به سه بخش حلال، پلیمر حامل و فاز کاربردی تقسیم‌بندی کرد. سهم هر یک از این اجزا متناسب با نوع مواد و کاربرد نهایی می‌تواند در بازه‌های مشخصی تغییر کند. در نمودار زیر سهم وزنی هر یک از این اجزا مشخص شده است.



نمودار ۲۲- درصد وزنی اجزای تشکیل دهنده جوهررسانا

۲،۱،۲. انواع جوهرهای رسانا

انواع جوهرهای رسانا را بر اساس نوع ماده رسانا می‌توان به موارد زیر تقسیم کرد:

- ✓ نانوذرات و پولک‌های نقره
- ✓ نانوذرات و پولک‌های مس
- ✓ کربن/ گرافن
- ✓ نانو لوله‌های کربنی
- ✓ دی‌الکتریک
- ✓ پلیمر

۲،۲. کاربرد گرافن در جوهرهای رسانا

یکی از فرصت‌های آینده برای جوهرهای رسانا، توسعه جوهرهای رسانای بر پایه گرافن است که انعطاف‌پذیری مکانیکی و عملکرد بالایی ارایه می‌دهند. این جوهرها می‌توانند در دستگاه‌های پیچیده برای دستیابی به رسانایی بالا حتی در سطوح پیچیده مورد استفاده قرار گیرند. اصلی‌ترین کاربردهای جوهرهای رسانای گرافنی شامل موارد زیر است:

- ✓ مدارهای الکترونیکی منعطف
- ✓ دستگاه‌های RFID

- ✓ برچسب‌های هوشمند
- ✓ پوشش‌های هوشمند
- ✓ بسته‌بندی هوشمند

جوهرهای رسانای بر پایه گرافن به طور معمول حاوی ۵ تا ۱۵ درصد وزنی گرافن هستند. این جوهرها می‌توانند در هوا خشک شده و دیگر نیازی به فرآیندهای اضافی مانند سایر جوهرهای رسانای بر پایه فلز (لیتوگرافی) ندارد. بر اساس ادعای شرکت BGT Materials، مقاومت صفحه‌ای این محصولات می‌تواند برای ضخامت ۲۵ میکرومتری کمتر از Ω/sq ۱۰ باشد.

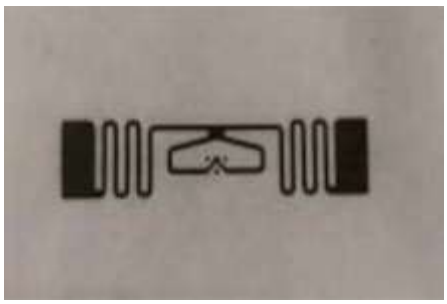


تصویر ۲۶- جوهر گرافنی محصول شرکت BGT Materials

جوهرهای رسانای گرافنی نیازی به پخت ندارند و نسبت به سایر گزینه‌های پایه کربنی برای جایگزینی جوهرهای پایه نقره، از رسانایی بهتری برخور است. این جوهرها استحکام مکانیکی خیلی خوبی دارند و از انعطاف پذیری و چسبندگی سطحی مناسبی بهره می‌برند که منجر به بهبود عملکرد و افزایش طول عمر تجهیزات الکترونیکی چاپ شده می‌شود. همچنین این جوهرها نسبت به جوهرهای پایه نقره بسیار مقرون به صرفه‌تر هستند. جوهرهای گرافنی می‌توانند با استفاده از فرایند رول به رول بر روی بسترهای مختلفی مانند پلی‌اتیلن، کاغذ، مقوا و برچسب چاپ شود. ویژگی‌های مطلوب این نوع جوهر شامل موارد زیر است:

- رسانایی بالاتر: تقریبا ۱۰ برابر بیشتر از جوهرهای کربنی رایج
- قیمت پایین‌تر: در مقایسه با جوهرهای پرمصرف بر پایه نقره
- عدم نیاز به دمای بالا برای پخت جوهر
- انعطاف‌پذیری در برابر تنش‌هایی مانند خم شدن، افتادن، دست‌کاری شدن و مچاله شدن
- چاپ مستقیم باتری‌های ذخیره انرژی بر روی بسترهای پلاستیکی

جوهرهای گرافنی بر پایه گرافن خام (برخلاف اکسید گرافن کاهش یافته)، رسانایی الکتریکی و انعطاف‌پذیری مکانیکی دارند و از نظر شیمیایی بی‌اثر هستند. این خواص جوهرهای گرافنی را برای کاربرد در بازارهای مختلفی مانند نمایشگرهای بزرگ و منعطف، برچسب‌های شناسایی فرکانس رادیویی، ذخیره و جذب انرژی، حسگرهای پزشکی و مدارهای منطقی مناسب می‌سازد.



تصویر ۲۷- آنتن چاپ شده گرافنی

در جدول زیر مقایسه خواص انواع جوهرهای رسانا ارایه شده است.

جدول ۱۵- مقایسه خواص انواع جوهرهای رسانا

جوهر	رسانایی	اکسید	پخت	انسجام فیلم	چسبندگی	فرآیندپذیری
نقره	عالی اما گران	رسانا	دمای بالا در مدت طولانی	متوسط	-	-
مس	خوب	اکسید شدن سریع و لایه عایق	دمای بالا در محیط بی‌اثر	-	-	-
نیکل و آلومینیوم	متوسط	اکسید شدن تا ایجاد یک لایه	-	-	-	-
کربن	متوسط	-	-	ضعیف	ضعیف	مسدود شدن نازل جوهرافشان با ذرات بزرگ
بر پایه پلیمر	متوسط	-	-	-	ضعیف	حلالیت کم
نانو لوله‌های کربن	عالی	-	-	-	-	پخش کم
گرافن	عالی	رسانا	خشک شدن با هوا			

۳،۲. بازار جهانی جوهرهای رسانا

ارزش سالانه بازار جهانی جوهرهای رسانا حدود ۲/۵ تا ۳ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود. اکثر جوهرهای رسانای موجود در بازار از ذرات فلزات گران‌بهایی چون نقره، آلومینیوم و مس استفاده شده است. همچنین این جوهرها پس از اعمال باید با گرما پخته شوند، که این موضوع منجر به عدم امکان استفاده آن‌ها بر روی بسترهای حساس به گرما مانند پلیمرها می‌شود. بخش عمده بازار جوهرهای رسانا در اختیار جوهرهای بر پایه نقره است. این عنصر علاوه بر رسانایی بالا در برابر اکسید شدن نیز مقاوم است، با این حال بسیار گران‌قیمت است (۵۰۰ تا ۶۰۰ دلار هرکیلوگرم). گرافن به عنوان یکی از گزینه‌های مناسب جایگزینی در این بازار شناخته می‌شود که با توجه به رشد بازار تجهیزات الکترونیکی منعطف و قابل چاپ، یکی از فرصت‌های کوتاه - میان مدت برای گرافن محسوب می‌شود.

۱،۳،۲. توسعه‌دهندگان محصول

در جدول زیر نام شرکت‌های فعال در حوزه توسعه کاربرد و محصولات گرافن در حوزه جوهرهای رسانا و فعالیت‌های آن‌ها ارایه شده است.

جدول ۱۶- شرکت‌های فعال در حوزه توسعه جوهرهای رسانا

شرکت	فعالیت
3D Graphtech	تحقیق و توسعه کاربرد جوهر گرافن برای چاپ سه بعدی و FFF[1]
American Graphite Technologies	تحقیق و توسعه بر روی کاربرد گرافن در چاپ سه بعدی با همکاری دانشگاه ملی علوم اوکراین
BASF	همکاری با Vorbech جهت بهبود پخش گرافن رسانا برای تولید کامپاندها و پوشش‌های رسانا برای صنایع الکترونیک
Cambridge Graphene Platform Ltd.	توسعه روش تولید با ظرفیت بالا جهت تولید جوهر گرافنی ارائه جوهرهای مشتق‌شده از گرافن و سایر مواد لایه‌ای دوبعدی

[1] Fused Filament Fabrication

Haydale	تولید جوهر گرافنی با مقاومت صفحه‌ای کمتر از ۱۰ Ω/sq و قابلیت خشک شدن در دمای پایین که به طور خاص برای چاپ سیلک فرموله شده با قابلیت استفاده در چاپ گراور و فلکسو این جوهرها قیمت پایین‌تری نسبت به نقره داشته و مانند مس اکسید نمی‌شوند و به دلیل انعطاف در تجهیزات الکترونیکی منعطف قابل استفاده هستند و در صورت افزایش سطح می‌توانند در حسگرهای شیمیایی نیز کاربرد داشته باشند.
Innophene Co.	تولید جوهر رسانا PHENE با استفاده از یک فناوری سبز تاسیس مرکز تحقیقاتی کاربرد تجهیزات الکترونیکی چاپی در تایلند به عنوان اولین مرکز تحقیقاتی این حوزه در سازمان ملل جنوب‌شرقی آسیا
Vorbeck Materials	تولید تجاری جوهر رسانا بر پایه گرافن Vor-ink™ در سال ۲۰۰۹ جایگزینی نقره و کربن در بازار ۳ میلیارد دلاری جوهرهای رسانا و ایجاد بازارهای جدید بسته‌بندی هوشمند و تجهیزات الکترونیکی پوشیدنی و EMI ظرفیت فعلی تولید ۵۰ تن جوهر رسانا در سال همکاری با MeadWestvaco جهت کاربرد جوهر در بسته‌بندی‌های ضدسرقت همکاری با سایر تولیدکنندگان جهت ایجاد یک خط تولید تجهیزات الکترونیکی پوشیدنی برای بازار ابنوه

۳. مدارهای مجتمع و ترانزیستورها

۱،۳. معرفی مدارهای مجتمع و ترانزیستورها

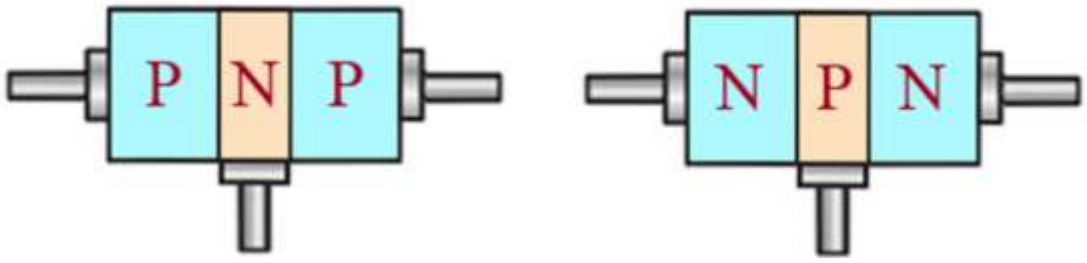
تراشه، مدار یکپارچه، مدار مجتمع یا آی‌سی (IC)[1]، به مجموعه‌ای از مدارات الکترونیکی اطلاق می‌گردد که با استفاده از مواد نیمه‌رسانا (عموماً سیلیکون همراه با میزان کنترل شده‌ای ناخالصی) در ابعادی کوچک (معمولاً کمتر از یک سانتی‌مترمربع) ساخته می‌شود. اگر هزاران ترانزیستور در یک ریز تراشه ساخته شود؛ به آن مدارات مجتمع خیلی فشرده[2] می‌گویند. مدارات الکتریکی عموما شامل المان مداری، مقاومت، خازن، سلف و ترانزیستور می‌باشد. با توجه به اینکه فرآیند ساخت ترانزیستور در تکنولوژی‌های مدارات مجتمع راحت‌تر از المان‌های پسیو دیگر است، طراحان ترجیح می‌دهند این المان‌های پسیو را توسط ترانزیستورها پیاده‌سازی کنند و تا حد ممکن تمامی المان‌های مدارات الکترونیکی را به ترانزیستور تبدیل نمایند، سپس با تکنولوژی‌های ساخت مدارات مجتمع آنها را پیاده‌سازی کنند. هر تراشه معمولاً حاوی تعداد بسیار زیادی ترانزیستور می‌باشد که با استفاده از فناوری پیچیده‌ای در داخل لایه‌ای از ماده نیمه هادی؛ مانند سیلیکون همگون با پروسه‌های ساخت مدارات مجتمع ساخته می‌شوند. امروزه تراشه‌ها در اکثر دستگاه‌های الکترونیکی و به ویژه رایانه‌ها در ابعادی گسترده بکار می‌روند. شرکت اینتل به عنوان مهمترین سازنده مدارات مجتمع در جهان شناخته شده است.

ترانزیستور یکی از مهمترین و پرکاربردترین قطعات در صنعت الکترونیک است که با اختراع آن در سال ۱۹۴۷ میلادی تحولی عظیم در صنعت الکترونیک به وقوع پیوست. ترانزیستور یکی از ادوات حالت جامد است که از مواد نیمه رسانایی مانند سیلیکون و ژرمانیم ساخته می‌شود. ترانزیستور هم در مدارات الکترونیک آنالوگ و هم در مدارات الکترونیک دیجیتال کاربردهای بسیار وسیعی دارد. در مدارات آنالوگ ترانزیستور در حالت فعال کار می‌کند و می‌توان از آن به عنوان تقویت‌کننده یا تنظیم کننده ولتاژ (رگولاتور) و... استفاده کرد. در مدارات دیجیتال نیز ترانزیستور در دو ناحیه قطع و اشباع فعالیت می‌کند که می‌توان از این حالت ترانزیستور در پیاده‌سازی مدار منطقی، حافظه، سوئیچ کردن و... استفاده کرد. در واقع می‌توان گفت، ترانزیستور قلب تپنده الکترونیک است.

۱،۱،۳. *اجزای ترانزیستور*

ترانزیستور معمولی یک المان سه قطبی معمولی است که از سه عدد نیمه هادی نوع N و P تشکیل شده است. این نیمه هادی‌ها به دو شکل می توانند در کنار هم قرار گیرند.

۱) دو نیمه هادی نوع N در دو طرف و یک نیمه هادی نوع P در وسط قرار می‌گیرند که در این حالت ترانزیستور را NPN می‌نامند. در شکل زیر نمایی از ساختمان این نوع ترانزیستور نمایش داده شده است.

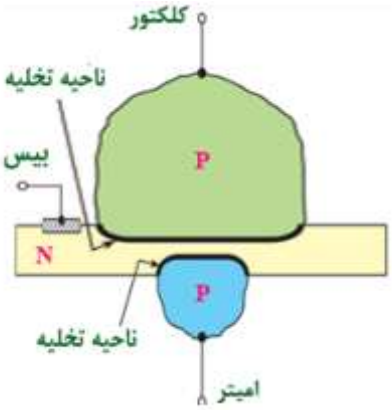


تصویر ۲۸- ترانزیستور نوع npn (سمت راست). ترانزیستور نوع pnp (سمت چپ)

[1] Integrated circuit
[2] Very-large-scale integration

۲) دو نیمه هادی نوع P در دو طرف و یک نیمه هادی نوع N در وسط قرار می‌گیرند که در این حالت ترانزیستور را PNP می‌نامند. در شکل فوق نمایی از ساختمان این نوع ترانزیستور نمایش داده شده است.

پایه‌های ترانزیستور را امیتر[1]، بیس[2] و کلکتور[3] می‌نامند که امیتر را با حرف E، بیس را با حرف B و کلکتور را با حرف C نمایش می دهند. نیمه هادی نوع N یا P که به عنوان امیتر به کار می‌رود، نسبت به لایه‌های بیس و کلکتور دارای ناخالصی بیشتری می‌باشد. ضخامت این لایه حدود چند ده میکرون است و سطح تماس آن نیز بستگی به فرکانس کار و قدرت ترانزیستور دارد. لایه بیس نسبت به لایه‌های کلکتور و امیتر دارای ناخالصی کمتری است و ضخامت آن نیز به مراتب کمتر از ضخامت لایه‌های امیتر و کلکتور می‌باشد و عملاً از چند میکرون تجاوز نمی‌کند. ناخالصی لایه کلکتور از لایه امیتر کمتر و از لایه بیس بیشتر است. ضخامت این لایه به مراتب بزرگتر از ضخامت لایه امیتر می‌باشد؛ زیرا تقریباً تمامی تلفات حرارتی ترانزیستور در لایه کلکتور ایجاد می‌شود. سطح تماس لایه کلکتور با لایه بیس حدوداً نه برابر سطح تماس لایه امیتر با لایه بیس می‌باشد. در شکل زیر تصویری از نسبت تقریبی ضخامت و سطح تماس لایه‌های ترانزیستور نمایش داده شده است.



تصویر ۲۹- نمایی از ساختار یک ترانزیستور

۲،۱،۳. انواع ترانزیستور

دو دسته مهم از ترانزیستورها، ترانزیستور دو قطبی پیوندی (BJT)[4] و ترانزیستور اثر میدانی (FET)[5] هستند.

ترانزیستور دو قطبی پیوندی: در ترانزیستور دو قطبی پیوندی، با اعمال یک جریان به پایه بیس جریان عبوری از دو پایه کلکتور و امیتر کنترل می‌شود. ترانزیستورهای دو قطبی پیوندی در دو نوع npn و pnp ساخته می‌شوند. بسته به حالت بایاس این ترانزیستورها ممکن است در ناحیه قطع، فعال و یا اشباع کار کنند. سرعت بالای این ترانزیستورها و بعضی قابلیت‌های دیگر باعث شده که هنوز هم از آنها در بعضی مدارات خاص استفاده شود. امروزه بجای استفاده از مقاومت و خازن و... در مدارات مجتمع تماماً از ترانزیستور استفاده می‌کنند.

[1] Emitter
[2] Base
[3] Collector
[4] Bipolar Junction Transistors
[5] Field Effect Transistors



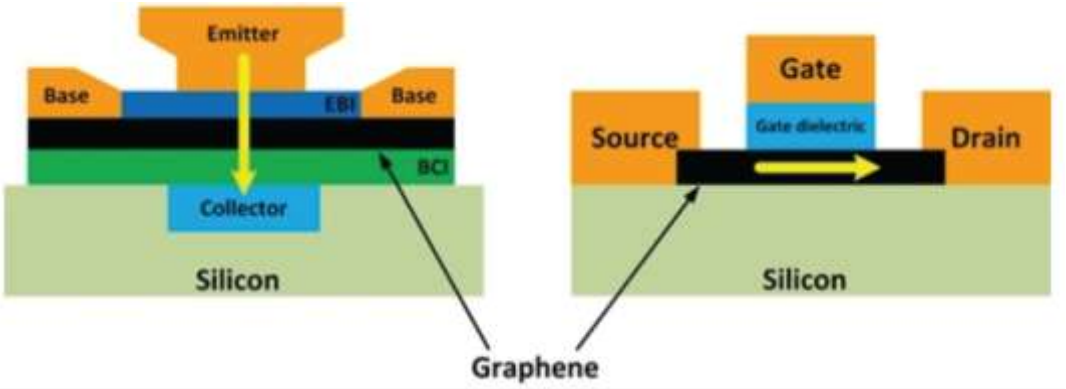
تصویر ۳۰- ترانزیستور دو قطبی پیوندی یا BJT

ترانزیستور اثر میدانی: دسته‌ای از ترانزیستورها هستند که مبنای کار کنترل جریان در آن‌ها توسط یک میدان الکتریکی صورت می‌گیرد. با توجه به اینکه در این ترانزیستورها تنها یک نوع حامل بار (الکترون آزاد یا حفره) در ایجاد جریان الکتریکی دخالت دارند، می‌توان آن‌ها را جزو ترانزیستورهای تک‌قطبی محسوب کرد که در مقابل ترانزیستورهای دوقطبی (که حامل‌های اکثریت و اقلیت همزمان در آن‌ها نقش دارند) قرار می‌گیرند. ترانزیستورهای اثر میدان دارای سه پایه سورس[۱]، درین[۲] و گیت[۳] هستند. این دسته از ترانزیستورها خود به دو گروه ترانزیستور پیوند اثر میدانی و ماسفت‌ها(MOSFET)[۴] تقسیم می‌شوند. در این نوع ترانزیستورها، برخلاف ترانزیستورهای دو قطبی پیوندی که کنترل جریان امیتر و کلکتور با جریان ورودی به بیس صورت می‌گیرد، کنترل جریان سورس و درین با اعمال ولتاژ به گیت صورت می‌گیرد.

۲،۳. کاربرد گرافن در مدارهای مجتمع و ترانزیستورها

طی سه دهه گذشته علمکرد مدارهای مجتمع بسیار بزرگ سیلیکونی (Si-ULSIs)[۵] با استفاده از افزایش تعداد ترانزیستورها بر طبق قانون مور افزایش یافته است. قانون مقیاس‌بندی ترانزیستور سیلیکونی آن را قادر ساخته است تا ترانزیسنورهای به کار رفته در Si-ULSIها کوچک گردند. اگرچه، ترانزیستورهای مبتنی بر فناوری سیلیکون از نظر سرعت و دانسیته ادغام در طول سال‌ها بهبود یافته‌اند، کاهش شدید طول کانال آن‌ها موجب کمبود اجتناب‌ناپذیر جریان می‌شود، که پیروی از قانون مور را برای آن بسیار دشوار می‌سازد. اندازه پردازنده‌ها هر دو سال با فاکتوری از دو کاهش می‌یابند (برای مثال، نود[۶] ۵۶ نانومتری در سال ۲۰۰۶ به نود ۱۴ نانومتری در سال ۲۰۱۴). یکی از راه‌حل‌های پیش رو ترکیب نانولوله‌های کربنی با تجهیزات الکترونیکی پایه سیلیکون است که می‌تواند در حوزه‌های مختلفی مانند فتوولتائیک، نانوژنراتورها، حسگرهای زیستی و شیمیایی، مبدل‌های و ذخیره‌کننده‌های انرژی کاربرد داشته باشد. گرافن نیز با توجه به خواصی نظیر تحرک‌پذیری و سرعت اشباع بسیار بالا، می‌تواند گزینه جذابی برای ترانزیستورهای نسل بعد باشد.

[1] Source
[2] Darin
[3] Gate
[4] Metal Oxide SemiConductor Field Effect Transistor
[5] Silicon Ultra-Large Scale Integrated circuits
[6] node

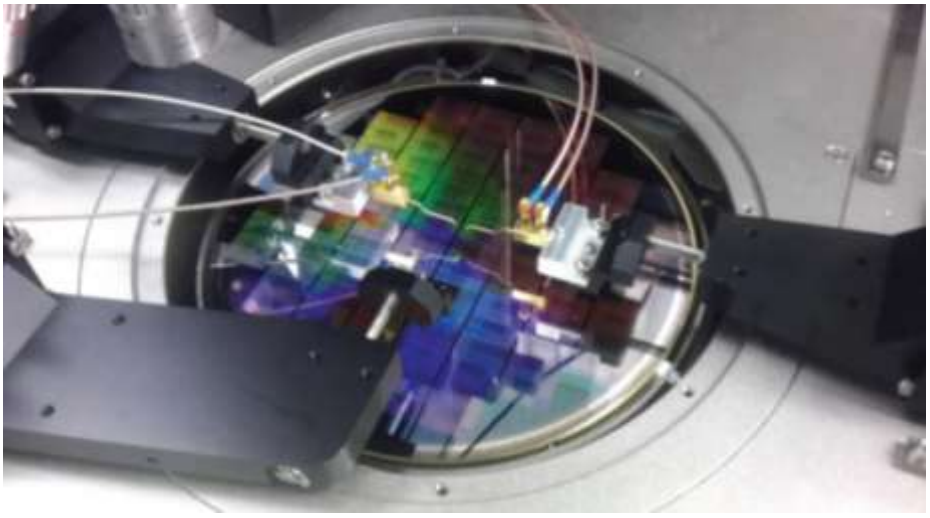


تصویر ۳۱- نمای شماتیک یک ترانزیستور اثر میدانی گرافنی (تصویر راست) و یک ترانزیستور بر پایه گرافن (تصویر چپ)

از نظر تئوری گرافن تحرک‌پذیری بسیار بالایی در حدود $cm^2/V.s$ ۲۰۰،۰۰۰ دارد که حدود ۱۰۰ برابر بیشتر از سیلیکون است. بنابراین ترانزیستورهای اثر میدانی بر پایه گرافن به عنوان جایگزین‌های مناسب برای ترانزیستورهای ماسفت به شدت مورد تحقیق و توسعه قرار گرفته‌اند. این موضوع نیز ثابت شده است که در طول گیت مشابه، ترانزیستورهای اثر میدانی فرکانس بسیار بالاتری از استانداردهای قابل دسترسی برای ماسفت‌های سیلیکونی دارند. خواص زیر منجر به تبدیل گرافن رسوب داده شده بر روی SiC به یک گزینه کاربردی برای مدارهای مجتمع شده است:

- ✓ ضریب جریان روشن/خاموش ۱۰۵
- ✓ تحرک‌پذیری بالا تا $cm^2/V.s$ ۲۹،۰۰۰
- ✓ پایداری دمایی تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد

گرافن به عنوان یک نیمه‌رسانا شکاف انرژی[1] صفر دارد که این موضوع سبب می‌شود برای کاربردهای منطقی مناسب نباشد، چرا که نمی‌تواند به حالت خاموش سوئیچ شود. در نتیجه برای اینکه گرافن بتواند در تجهیزات الکترونیکی مورد استفاده قرار بگیرد باید اصلاح شود تا یک شکاف انرژی در آن ایجاد شود.



تصویر ۳۲- مدار مجتمع گرافن در تست‌کننده ویفر

[1] Band gap

۳،۳. بازار جهانی مدارهای مجتمع و ترانزیستورها

۱،۳،۳. اندازه بازار

درآمد بازار مدارهای مجتمع در سال ۲۰۱۴ حدود ۳۳۳ میلیارد دلار برآورد شده است. این موضوع بیانگر یک رشد متوسط در یک بازار پایدار است. پیش‌بینی می‌شود به طور سالانه حدود ۱ میلیارد عدد مدار مجتمع تولید شود.

۲،۳،۳. توسعه‌دهندگان محصول

در جدول زیر نام شرکت‌های فعال در حوزه توسعه کاربرد و محصولات گرافن در حوزه ترانزیستورها و مدارهای مجتمع و فعالیت‌های آن‌ها ارایه شده است.

جدول ۱۷- شرکت‌های فعال در حوزه توسعه ترانزیستورها و مدارهای مجتمع گرافنی

شرکت	فعالیت
AMO GmbH	در اختیار داشتن فناوری چاپ بر پایه نانومواد
BG Materials Ltd.	تولید Grat-FET™، ترانزیستورهای اثر میدانی گرافنی و CVD Grat-Film™ برای تجهیزات الکترونیکی تولید آنتن فرکانس رادیویی بر استفاده از جوهر گرافنی در سال ۲۰۱۵ تولید BGTM's Grat-Ink™ شامل نانوصفحات گرافنی پخش‌شده در محلول‌های آبی و NMP است برای فیلم‌های رسانا
Carbon Sciences, Inc.	توسعه تجهیزات بر پایه گرافن برای رایانش ابری تمرکز بر روی تولید یک آشکارساز فوق سریع
Crayonano	تولید مواد هیبریدی نیمه‌رسانا بر پایه گرافیت و گرافن تا سال ۲۰۱۷
Flexenable	ارائه موفق یک نمایشگر منعطف بر پایه رسانای شفاف گرافنی در ارائه ترانزیستوری آن در سال ۲۰۱۴
Firmis SAM	ثبت پتنت روش تولید تجهیزات الکترونیکی جدید بر پایه گرافن و سایر مواد دوبعدی
Fujitsu Laboratories	توسعه ترانزیستورها، اتصالات و کامپوزیت‌های نیمه رسانا بر پایه نانومواد کربی
Graphensic AB	تولید فیلم‌های گرافنی با کیفیت بر روی بستر سیلیکون که در ساخت ترانزیستورهای یکپارچه کاربرد دارد
HRL Laboratories LLC	توسعه ترانزیستور اثر میدانی در فرکانس رادیویی با فیلم هم‌بافته گرافن جهت تولید نسل جدید مدار مجتمع فرکانس رادیویی بر پایه کربن
IBM	تحقیق و توسعه بر روی ترانزیستورهای بر پایه گرافن
Texas Instruments, Inc.	توسعه تک‌لایه‌های گرافنی بزرگ برای کاربردهای الکترونیکی
Wuxi Graphene Film	توسعه فیلم‌های گرافنی برای نمایشگرهای لمسی

۳،۳،۳. چالش‌های بازار

باید توجه داشت که استفاده از گرافن در مدارهای مجتمع و ترانزیستورها دارای چالش‌هایی نیز می‌باشد که در ادامه به آنها اشاره می‌گردد:

سایر مواد رقیب: در حال حاضر مواد دیگری در ترانزیستورهای اثر میدانی و مدارهای مجتمع استفاده می‌شوند که عملکرد بهتری نسبت به گرافن با سطح بزرگ از خود نشان می‌دهند. این مواد شامل سیلیکون آمورف، سیلیکون چندبلوری و اکسیدهای نیمه‌رسانا هستند.

نبود شکاف انرژی: یکی از موانع اصلی پیش روی کاربرد گرافن در تجهیزات الکترونیکی نبود شکاف انرژی در آن است که منجر می‌شود تا عملا سوئیچ گرافن خام به حالت خاموش غیر ممکن شود. اولین راه‌حلی که به منظور حل این مشکل به نظر می‌رسد، اضافه کردن

یک شکاف باند مناسب به گرافن است. این موضوع تحقیقات را به سمت نانونوارهای گرافن کشانده است که با توجه به اثر حبس‌شدگی کوانتومی[1] دیگر نیمه فلزی نیستند. گرافن را می‌توان با تبدیل کردن به نانونوارهایی با ضخامت کمتر از ۱۰ نانومتر، جهت‌گیری کریستالوگرافی کنترل شده از یک نیمه‌فلز به یک نیمه‌رسانا تبدیل کرد. هر چند هنوز تولید نانونوارها بر روی بسترهای نیمه‌رسانا و عایق، با این دقت و در ظرفیت بالا امکان‌پذیر نیست. روش دیگری که شرکت سامسونگ برای حل این مشکل ارایه کرده است، یک کلاس از دستگاه‌های سه ترمیناله بر پایه هیبرید سیلیکون گرافن است که ضریب جریان روشن/خاموش بالایی (حدود 10^5) دارد. همچنین با به کاربردن هترواتم‌ها[2] در گرافن این پتانسیل وجود دارد تا خواص الکترونیکی و الکتروشیمیایی آن را از طریق تغییر تراکم الکترونیکی در صفحات گرافن، تغییر داد.

انتقال و یکپارچه‌سازی: هنوز راه طولانی برای یکپارچگی کامل بین گرافن و فناوری نیمرسانای اکسید فلزی مکمل (CMOS)[3] وجود دارد که حتی شاید بدون استفاده از فرآیندهای اساسا متفاوت، غیرممکن باشد. تولید ICهای گرافنی که عملکرد ترانزیستورها را تحت شعاع قرار ندهند یکی از چالش‌های پیش رو است که به مانع اصلی رقابت گرافن با سایر مواد موجود نیز تبدیل شده است. اگر چه انتقال گرافن می‌تواند یکی از گزینه‌های موجود در نمونه‌سازی و تولید بعضی از محصولات تجاری باشد، با این حال در تولید قطعات میکروالکترونیک بر پایه گرافن لازم است تا گرافن به صورت مستقیم و بی‌نقص بر روی بستر عایق یا رسانا رشد کند. علی‌رغم مطالعات گسترده‌ای که در این حوزه انجام شده است، با این حال هنوز روش مستقیمی برای نشاندن گرافن با کیفیت بر روی سطوح دلخواه به جز روش انتقال وجود ندارد.

از دیگر چالش‌هایی که می‌توان به آن اشاره کرد، افزایش مقاومت در سطح تماس بین گرافن و الکترودهای فلزی و کاهش تحرک‌پذیری گرافن به وسیله دی‌الکتریک گیت است.

[1] quantum confinement
[2] heteroatoms
[3] complementary metal-oxide semiconductor

۴. حسگرها

۱،۴. معرفی حسگرها

حسگر یک وسیله الکتریکی است که تغییرات فیزیکی یا شیمیایی مانند فشار، حرارت، رطوبت، دما، و ... را اندازه‌گیری می‌کند و آنرا به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌نماید. حسگرها معمولاً در طبقه اول مدارات کنترلی قرار می‌گیرند. بعضی از حسگرها به تنهایی قابل استفاده‌اند و برای خواندن آنها احتیاجی به وسایل جانبی دیگری نیست، مانند دماسنج جیوه‌ای. دسته دیگر برای استفاده باید با وسایل دیگری مانند ترموکوپل همراه باشند. بیشتر حسگرها الکتریکی یا الکترونیکی هستند که انواع الکتریکی از دقت پایین‌تری برخوردارند. البته انواع دیگری نیز موجود است. حسگرها در زندگی روزمره ما به صورت فراوان مورد استفاده قرار می‌گیرند، مواردی که در صنایعی چون صنایع خودرو، ماشین‌های صنعتی، تجهیزات فضائی و حتی دارویی استفاده می‌شوند. پیشرفت فنی باعث شده تا انواع مختلف و گوناگونی از حسگرها با فناوری سیستم‌های میکرو الکترومکانیکی (MEMS)[1] تولید شود. در اکثر موارد این کار باعث بدست آمدن حساسیت بالا شده است.



تصویر ۳۳- انواع مختلف حسگرها

[1] Microelectromechanical systems

۱،۱،۴. انواع حسگرها

فاکتورهای زیادی به منظور تقسیم‌بندی انواع حسگرها وجود دارد. به عنوان مثال از نظر تامین انرژی آن‌ها را می‌توان به دو گروه فعال (به منبع انرژی نیاز دارد) یا منفعل (به منبع انرژی نیاز ندارد) تقسیم کرد. همچنین از نظر حوزه کاربرد می‌توان انواع حسگرها را به دو گروه کنترل فرایند صنعتی و کاربردهای غیرصنعتی (پزشکی، تجهیزات مصرفی و ...) تقسیم کرد. در ادامه نیز تقسیم‌بندی حسگرها بر اساس کمیتی مورد ارزیابی ارائه شده است:

- ✓ حسگرهای صدا مانند میکروفون و هیدروفون
- ✓ حسگرهای خودرو مانند سرعت‌سنج
- ✓ حسگرهای شیمیایی مانند حسگر pH و حسگر گاز
- ✓ حسگرهای الکتریکی و مغناطیسی مانند گالوانومتر، فلزیاب و حسگر هال
- ✓ حسگرهای محیطی مانند باران‌سنج و حسگر رطوبتی
- ✓ حسگرهای نوری مانند فتودیود و فتوترانزیستور
- ✓ حسگرهای مکانیکی مانند فشارسنج
- ✓ حسگرهای دما و گرما مانند کالری‌سنج و ترموکوپل
- ✓ حسگر مجاورت و حضور مانند رادار داپلر و آشکارساز حرکت
- ✓ حسگرهای زیستی مانند آینه رزونانس
- ✓ حسگرهای سطح و نشتی

۲،۴. کاربرد گرافن در حسگرها

مواد بر پایه کربن با توجه به خواص استثنائی خود به عنوان یکی از جایگزین‌های قابل بررسی تجهیزات بر پایه سیلیکون، جهت توسعه تجهیزات با حساسیت بیشتر، قیمت ارزان‌تر و مصرف کم‌تر مطرح شده‌اند. گرافن در این میان به عنوان یکی از مواد با قابلیت فراوان برای حسگرهای فوق حساس گازی، زیستی و شیمیایی مطرح شده است و حتی برای حسگرهای زیستی به یک کلاس مجزا تقسیم‌بندی شده است. علاوه بر این، گرافن در سایر حوزه‌ها مانند اندازه‌گیری فشار و دما نیز می‌تواند کاربرد داشته باشد. این ماده همچنین بستری مناسب جهت اتصال سایر کاتالیست‌ها و حسگرها است. با توجه به جذب سطحی و مساحت ویژه (۲۶۳۰ مترمربع در گرم) بالا و نویز جانسون کم[1]، گرافن پتانسیل بالایی در تشخیص انواع مولکول‌ها، از جمله مولکول‌های گازی و زیستی دارد. هر گونه فعل و انفعالی بین صفحات گرافن و ماده جذب شده بر روی ساختار الکترونیکی گرافن تاثیر گذاشته که منجر به تغییر رسانش گرافن حتی در دمای محیط می‌شود. نازکی و مدول یانگ گرافن، آن را به یک گزینه مناسب برای تجهیزات بر پایه غشاء منعطف در فرکانس‌های رزونانس بالا تبدیل می‌کند.

جدول ۱۸- ویژگی‌های مرتبط با کاربرد گرافن در حسگرها

ویژگی	توضیحات
نسبت سطح به حجم بسیار بالا	حساسیت بسیار بالا نسبت به تک اتم‌ها و مولکول‌های جذب شده (فیزیکی یا شیمیایی)
رسانایی	رسانایی بالا حتی در دانسیته حامل بسیار کم
عیوب ساختاری	نقایص ساختاری بسیار کم با توجه به کیفیت بالای کریستال دو بعدی آن
نسبت سیگنال به نویز	نسبت سیگنال به نویز بسیار بالا حتی در دمای اتاق
حساسیت	گرافن می‌تواند با انواع پیوندها از جمله پیوندهای ضعیف واندروالس تا پیوندهای قوی کواوالانسی با مواد دیگر واکنش دهد. این ویژگی می‌تواند منجر به تشخیص انواع مختلفی از مواد با دقت بالا شود. حسگرهای شیمیایی بر پایه گرافن حساسیت خوبی را به موادی چون NH_3، CO، NO_2، SO_2، H_2O و ... در دمای محیط از خود نشان داده است.

[1] Johnson noise

انعطاف‌پذیری	گرافن مدول یانگ بسیار بالایی (حدود ۱ ترا پاسکال) دارد و انعطاف آن از بسیاری از مواد غشائی مانند نیترید سیلیکون که در MEMS کاربرد دارد، بیشتر است. بنابراین برخلاف ضخامت تک مولکولی آن، گرافن می‌تواند پایه MEMSهای با ضخامت کم، جرم اندک، سطح ویژه بالا و مدول یانگ بالا باشد.

همان‌طور که گفته شد، گرافن در حسگرهای مختلفی کاربرد دارد که در ادامه هر یک تشریح می‌شود.

۱،۲،۴. حسگرهای فروسرخ (IR)

ثابت شده است که حسگرهای بر پایه گرافن، تشخیص اشعه فروسرخ را بهبود می‌بخشند. گرافن با توجه به ویژگی‌های ساختاری خود واکنش اپتوالکترونیک خوبی در بازه فروسرخ نشان می‌دهد. در این حوزه ارتش ایالات متحده آمریکا نیز سرمایه‌گذاری کرده است.

۲،۲،۴. حسگرهای گازی و الکتروشیمیایی

اهمیت تشخیص گازها برای کاربردهای چون اندازه‌گیری و کنترل آلودگی‌های محیط زیستی، گرمایش کره زمین، تخریب لایه اوزون و تجهیزات درمانی تشخیصی در حال افزایش است. حساسیت بالا و واکنش انتخابی در تشخیص گازهای انفجاری و تشخیص در زمان گازهای سمی، بیماری‌زا و قابل اشتعال در کاربردهای صنعتی بسیار مهم است. از دیگر کاربردی‌های حسگرهای گازی و الکتروشیمیایی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ✓ کشاورزی: تشخیص غلظت آفت‌کش‌ها
- ✓ امنیت کشور: سیستم‌های هشدار تروریسم زیستی
- ✓ نظامی: تشخیص عامل‌های جنگ شیمیایی

با توجه به تغییر بالای مقاومت الکتریکی گرافن در واکنش با گازهای مشخص، این ماده گزینه مناسبی جهت کاربرد در حوزه‌های مذکور است. به دلیل تغییرات مشهود مقاومت الکتریکی گرافن در اثر جذب مولکول‌های گاز، حتی این امکان وجود دارد که حسگرهای حساس به تک مولکول‌هیا گاز را نیز تولید کرد. این حسگرها با توجه به قیمت ارزان و تطبیق‌پذیری بالا می‌توانند گزینه مناسبی جهت جایگزینی مقاومت شیمیایی اکسیدهای فلزی که در دمای بالا عمل می‌کنند، باشد. حسگرهای گرافنی ساخته شده عملکردی ۱۰ برابر بهتر از حسگرهای موجود در بازار است. علاوه بر این حسگرهای گرافنی می‌توانند در دمای اتاق قرار بگیرند در حالی که سایر حسگرهای تجاری نیازمند استعمال در دمای بالا هستند.

۳،۲،۴. حسگرهای فشاری

گرافن می‌تواند هم به عنوان یک جزء الکتریکی و هم یک جزء مکانیکی، گام‌های لازم جهت تولید حسگرهای فشاری را کاهش دهد. غشاهای گرافنی انعطاف‌پذیری و استحکام استثنائی دارند که نازک‌ترین ساختار شناخته شده غیرقابل نفوذ برای گازها را ایجاد می‌کنند و در نتیجه پتانسیل بالایی برای بهبود عملکرد و کاهش اندازه حسگرهای فشاری دارند.

۴،۲،۴. حسگرهای زیستی

خواصی از گرافن که در حسگرهای زیستی مورد توجه است عبارت است از: قابلیت بسیار عالی برای ارتباط مستقیم با بیوملکول‌ها، ساختار الکتریکی و شیمیایی ناهمگن، نیمه رسانا یا شبه فلز. گرافن در چیپ‌های ترانزیستور اثر میدانی (FET) برای کاربرد در حسگرها به کار رفته‌است. ترانزیستورهای اثر میدانی گرافنی بسیار حساس می‌باشند. همچنین گرافن، ماده‌ای بسیار پایدار و زیست سازگار است و انعطاف‌پذیری آن را امیدوار کننده‌ترین ماده برای کاربرد در دستگاه‌های زیستی قابل کاشت می‌کند.



تصویر ۳۴- نسل اول تجهیزات تشخیصی مراقبتی بالینی

جدول ۱۹- مقایسه ELISA و حسگرهای زیستی گرافنی

پارامتر	ELISA	گرافن
محدودیت تشخیص	۱ تا ۲۰ پیکوگرم در میلی‌لیتر	۱۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر بهتر از ELISA
قابلیت مولتی‌پلکس	خیر (۱ پادتن در هر استفاده)	بله
سرعت	تا چند ساعت	تا چند دقیقه
هزینه	تجهیزات نوری گران‌قیمت	تمام تجهیزات الکترونیک کم‌هزینه
راحتی استفاده	افراد آموزش دیده	انجام فرایند به صورت خودکار بعد از نمونه‌گیری

۵،۲،۴. حسگرهای نوری

گرافن با توجه به خواصی مانند بهره انتقال انرژی بالا، سطح ویژه بزرگ و زیست سازگاری بالا برای کاربرد در حسگرهای نوری توسعه یافته است. حسگرهای نوری بر پایه گرافن می‌توانند مواد مختلفی از جمله نوکلئیک‌اسیدها، پروتئین‌ها و سایر مولکول‌های کوچک را شناسایی کنند.

۶،۲،۴. حسگرهای رطوبتی

شرکت Nokia و Graphenea توانسته‌اند سریع‌ترین حسگر رطوبتی را تولید کنند. سیستم‌های هوشمند و نظارتی می‌توانند جهت اندازه‌گیری رطوبت خاک در کشاورزی و تشخیص خوردگی در ساختمان‌ها از جمله کاربردهای اصلی حسگرهای رطوبی است.

۷،۲،۴. حسگرهای صوتی

گرافن همچنین به عنوان مواد غشائی در حسگرهای هدفون و میکروفون توسعه یافته است. با توجه به سفتی و جرم کم این مواد می‌تواند تجهیزات صوتی راحت و کاربرپسندی را تولید کرد.

۸،۲،۴ حسگرهای بی‌سیم

شفافیت، قابل کشش بودن، خمش بالا، راحتی و سبکی از ویژگی‌های اصلی تجهیزات و حسگرهای پوشیدنی است. حسگرهای قابل کشش ترانزیستور اثر میدانی که با استفاده از نانو سیم‌های فلزی-گرافنی تولید می‌شوند با قابلیت حمل بالا و اتصال به سطوح مختلف می‌توانند در کنار مدارهای RLC امکان اندازه‌گیری و تشخیص بدون سیم را مهیا کنند.

اگرچه گرافن به عنوان یکی از گزینه‌های اصلی برای کاربرد در حسگرها مطرح است، با این حال از شناخت انتخابی بعضی از مواد شیمیایی را ندارد. انرژی بالای پیوندهای ایجاد شده بین گرافن و مولکول‌های مواد سبب می‌شود تا آن‌ها به سختی جدا شوند و در نتیجه دقت اندازه‌گیری آن‌ها کاهش می‌یابد. همچنین خواص ضعیف گرافن از نظر نیمه رسانایی سبب ایجاد موانعی جهت عملکرد سنجشی مناسب آن می‌شود. در این رابطه بعضی از تحقیقات نشان می‌دهد که MoS_2 می‌توانند عملکرد مناسب‌تری را در تشخیص بین مولکول‌های مواد شیمیایی مختلف در حسگرهای گازی داشته باشند. با این حال بعضی از گزارش‌ها نشان می‌دهد ترکیب گرافن و MoS_2 جذب نوری و واکنش نوری مناسبی خواهد داشت.

علی‌رغم تلاش‌هایی که جهت توسعه روش‌های تولید حسگرهای پایه گرافن در مقیاس صنعتی صورت گرفته است، با این حال به نظر می‌رسد تا ۵ الی ۱۰ سال آینده، این محصولات توانایی رقابت با محصولات موجود در بازار را نداشته باشند؛ یکی از دلایل اصلی این موضوع نبود تکنیک‌های تولید بر پایه ویفر و سنتز بدون نیاز به انتقال در مقیاس صنعتی است.

۳،۴. بازار جهانی حسگرها

۱،۳،۴. محرک‌های بازار

افزایش قدرت و عملکرد در عین کاهش هزینه: نیاز به هرچه کوچک‌تر، ارزان‌تر و حساس‌تر شدن حسگرها، یکی از ویژگی‌های دائمی بازار حسگرها است. در حال حاضر تجهیزات الکترونیکی مصرفی و موبایل، بزرگ‌ترین بازار حسگرها است، هر چند خودروسازی و مراقبت‌های محیط زیستی و بهداشتی از دیگر بازارهای اصلی آن‌هاست. یکی از روندهای اصلی موجود در بازار حسگرها، افزایش هوشمندی و یکپارچگی سیستم‌ها در عین کاهش هزینه از طریق ادغام حسگرها وجود دارد. همچنین در بازار حسگرهای زیستی تقاضای رو به افزایشی برای حسگرهایی وجود دارد که با ساختار الکتریکی/نوری ساده خود هزینه تشخیص را کاهش می‌دهند.

افزایش حساسیت: حساسیت بالا و پاسخ‌های هدفمند از ویژگی‌های اصلی تجهیزات تشخیصی و عیب‌یاب است. با توجه به اینکه غلظت مورد بررسی در نمونه‌های درمانی، محیط زیستی و غذایی بسیار کم است، لازم است سیستم‌های حسی زیستی از حساسیت بالایی برخوردار باشند و از قابلیت بالایی جهت ارایه واکنش‌های انتخاب شده داشته باشد. البته در کنار این موضوع باید به راهکارهایی جهت مقابله با چالش‌های عملیاتی از جمله محدودیت‌های تشخیص و محدودیت‌های فنی تولید انبوه نیز اندیشید.

برای دست‌یابی به این اهداف، اغلب پژوهش‌ها و تحقیقات بر روی تقویت امواج و کاهش پارازیت‌ها حسگرهای زیستی با استفاده از نانومواد تمرکز دارد. نانوحسگرهای توسعه‌یافته اکنون این قابلیت را دارند تا آلودگی‌های با غلظت بسیار پایین را نیز در محیطهای مختلف از جمله محیطهای آبی تشخیص دهند. فناوری نانوحسگرها هم‌اکنون عملکردی ۱۰۰ برابر بهتر از تجهیزات تشخیصی تجاری از خود ارایه می‌دهند. دستاوردهای این فناوری امکانات دیگری از جمله اندازه‌گیری دقیق، سریع و پیوسته و حتی از راه دور ذرات با غلظت بسیار پایین (PPT)[1] را

[1] Part Per Trilion

نیز مهیا کرده است. نانوذرات کربنی خواص الکتریکی و مکانیکی منحصر به فردی دارند که می‌توانند بهبودهای چشمگیری را در عملکرد حسگرها از جمله زمان واکنش کوتاه و حساسیت بالاتر، ایجاد کنند.

جایگزینی الکترودهای نقره‌ای: الکترودهای نقره‌ای که به طور گسترده در حسگرها (به خصوص حسگرهای گلوکز و ECG) استفاده می‌شود و طی سال‌های اخیر گرافن به عنوان یکی از اصلی‌ترین گزینه‌های جایگزینی آن است؛ خصوصا در کاربردهایی که نقره با بافت هدف ناسازگار است و یا رسانایی بالایی مورد نیاز نیست.

رشد در کاربردهای خانگی: افزایش اگاهی افراد نسبت به مسائل بهداشتی و درمانی سبب رشد بازار تجهیزات تشخیصی بالینی[1] شده است. نسل اول این تجهیزات به دلیل قابلیت حساسیت محدود، واکنش کند و دقت پایین استانداردهای لازمه را نداشتند. حسگرهای زیستی چاپی برای بازار تجهیزات تشخیصی بالینی یک فرصت توسعه کلیدی در آینده است.

پایداری دمایی بهتر: نظارت مستمر و مطمئن غلظت گازها در زندگی روزمره انسان‌ها،از نقطه نظرهای مختلفی چون ایمنی، انرژی و آلودگی‌های محیط زیستی اهمیت دارد. در حال حاضر حسگرهای گاز حالت جامد بر پایه مقاومت‌های شیمیایی اکسید فلز به طور گسترده‌ای در تشخیص گازها مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ با این حال به دلیل دمای عملیاتی این حسگرها (بیشتر از ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد) علاوه بر مصرف بالای انرژی، پایداری دمایی آن‌ها به مرور زمان کاهش می‌یابد، اما حسگرهای گازی پایه گرافن به دلیل اینکه در دمای پایین‌تر (۲۵ تا ۸۵ درجه سانتی‌گراد) نیز قابل استفاده هستند، می‌توانند به عنوان یکی از جایگزین‌های جذاب مطرح شود.

شرایط محیط زیستی: افزایش حساسیت‌ها بر روی مسائل محیط زیستی و نیاز بیشتر به حفاظت از شرایط محیط زیستی منجر به توسعه حسگرهای رطوبتی نوینی شده است.

۲،۳،۴. اندازه بازار

ارزش بازار جهانی حسگرها حدود ۷۰ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود. درآمد پیش‌بینی شده بازارهای هدف به صورت زیر پیش‌بینی می‌شود:

- ✓ درآمد ۲۱ میلیارد دلاری حسگرهای زیستی در سال ۲۰۲۰
- ✓ ارزش سالانه ۵۰ میلیارد دلاری بازار جهانی تجهیزات تشخیصی خارج از بافت (IVD) و ۶/۴ میلیارد دلاری بازار حسگرهای زیستی اندازه‌گیری گلوکز
- ✓ ارزش بازار سالانه ۴ میلیارد دلاری فشارسنج‌ها
- ✓ ارزش بیش از ۱۵ میلیارد دلاری بازار حسگرهای شیمیایی

کاربردهای گرافن در بازار حسگرها، اندازه بازار و مرحله تجاری سازی هر یک در جدول زیر ارایه شده است. همان‌طور که در جدول زیر مشاهده می‌شود حسگرهای رطوبتی به بازار نزدیکتر هستند.

جدول ۲۰-کاربردهای گرافن در بازار حسگرها

کاربرد	مرحله تجاری سازی	اندازه بازار (میلیون دلار)
حسگرهای گازی و شیمیایی	۱ تا ۲	۱۰۰ تا ۲۵۰
حسگرهای زیستی	۱ تا ۲	۲۵۰ تا ۵۰۰
حسگرهای رطوبت	۳ تا ۴	۱۰۰ تا ۲۰۰

[1] Point Of Care Market

۳،۳،۴. توسعه‌دهندگان محصول

در جدول زیر نام شرکت‌های فعال در حوزه توسعه کاربرد و محصولات گرافن در زمینه صنعت حسگر و فعالیت‌های آن‌ها ارایه شده است.

جدول ۲۱- شرکت‌های فعال در حوزه توسعه حسگرها

شرکت	محصول
BGT Materials	چاپ آنتن فرکانس رادیویی مورد با جوهر گرافن فشرده قابل استفاده در RFID و حسگرهای بی‌سیم
Bosch	توسعه حسگرهای مغناطیسی هال بر پایه گرافن با همکاری موسسه مکس پلانک
FlexTraPower	توسعه فیلم گرافن برای حسگرهای پوشیدنی
Graphene 3D Lab	موافقت‌نامه با Ideum جهت توسعه حسگرهای خازنی
Graphene Frontiers	توسعه حسگرهای اختصاصی GFET ارائه حسگرهای زیستی و شیمیایی بر پایه گرافن با برند Six Sensors
Graphene Industries	عرضه فیلم‌های گرافن با ضخامت ۱۰۰ میکرومتر بر روی بستر سیلیکونی برای کاربردهای میکروسکوپ‌های الکترونی
Graphenea	توسعه سریع‌ترین حسگر رطوبتی با همکاری Nokia
Honda	ثبت پتنت حسگر گازهای اتمسفری مانند NO، NO_2 و NH_3 بر پایه گرافن و نانوتیوب‌های گرافنی
IBM	توسعه حسگر فروسرخ بر پایه گرافن
Nokia	تحقیق بر روی حسگرهای رطوبتی اکسید گرافن و MoS_2 ممریستورها
Vorbeck Materials	توسعه جوهر رسانا برای حسگرها و برچسب‌های RFID

۵. دستگاه‌های حافظه

۱،۵. معرفی دستگاه‌های حافظه

حافظه یا ابزار ذخیره‌سازی رایانه، ابزاری است که می‌توان دانسته‌ها را در آن انباشته و بازیابی نمود. در مفهوم گسترده‌تر این واژه به ابزارهای انبارش بیرونی چون دیسک‌گردان و یا نوار گردان گفته می‌شود. ابزار ذخیره‌سازی نیمه‌هادی مستقیم به پردازنده وصل می‌شود. حافظه پنهان[۱]، حافظه سریعی است که برای افزایش سرعت پیوند سیستم با دستگاه‌های کندتر بهره گرفته می‌شود و بکارگیری آن مایه آن می‌شود که سرعت و توانایی‌های دستگاه سریع هرز نرود. استفاده از حافظه صرفاً محدود به رایانه‌های شخصی نبوده و در دستگاه‌های متفاوتی نظیر: تلفن همراه، رایانه جیبی، رادیوهای اتومبیل، دستگاه پخش نوار ویدیویی، تلویزیون و ... نیز در ابعاد وسیعی استفاده می‌گردد.

ریشه اصلی فناوری حافظه که در سیستم‌های محاسباتی امروزی استفاده می‌شود، به اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی برمی‌گردد؛ زمانیکه صنعت نیمه‌هادی مدرن امروز، نوپا بود. این فناوری شامل حافظه‌های حالت جامد نظیر حافظه دسترسی تصادفی پویا (DRAM)[۲]، حافظه دسترسی تصادفی ایستا (SRAM)[۳] و حافظه برنامه‌پذیر پاک‌شدنی (EPROM)[۴] و حافظه‌های مکانیکی نظیر نوار و هارد دیسک (HDD)[۵]. مقیاس‌پذیری فناوری‌های حافظه، یک فاکتور کلیدی در ظهور دستگاه‌های محاسباتی پیچیده بوده است. با این حال فناوری‌های متعارف حافظه با چالش‌های زیادی، نظیر مشکلات کوچک‌سازی و مسائل قابلیت اطمینان روبرو هستند. تقاضای فزاینده نمایی برای محصولات بهبود یافته و افزایش عملکرد در نسل بعدی بازار حافظه، جریان اصلی کاربردهای محاسباتی، منسوخ شدن این فناوری‌های حافظه را در پی دارد. با توجه به روندهای محاسبات چند هسته‌ای، مجازی‌سازی و ادغام پردازنده‌ها، صنعت نیمه‌هادی و الکترونیک احساس نیاز فزاینده‌ای به نسل بعدی راهکارهای حافظه اصلی دارد که قادر به دستیابی به نرخ داده تا ۶،۴۰۰ Mbps، با همان قدرت یا کمتر باشند.

۱،۱،۵. انواع دستگاه‌های حافظه

حافظه با هدف انباشتن اطلاعات در رایانه به کار برده می‌شود و دارای انواع گوناگونی است. حافظه‌ها را می‌توان بر پایه نمایه‌های گوناگونی بخش‌بندی کرد. حافظه فرار[۶] و حافظه غیرفرار[۷] نمونه‌ای از این بخش‌بندی‌ها است. حافظه‌های فرار بلافاصله پس از خاموش شدن سیستم دانسته‌ها خود را از دست می‌دهند و همواره برای نگهداری دانسته‌ها خود به منبع تامین انرژی نیاز خواهند داشت. بیشتر حافظه‌های با دسترسی تصادفی یا رَم (RAM)[۸] در این گروه جای می‌گیرند. حافظه غیر فرار، داده‌های خود را همچنان پس از خاموش شدن سیستم نگه خواهند داشت. حافظه فقط خواندنی یا رام (ROM)[۹] نمونه‌ای از این نوع حافظه‌ها است. نام انواع حافظه‌ها در زیر آمده‌است:

[1] Cache
[2] Dynamic RAM
[3] Static Random Access Memory
[4] erasable programmable read-only memory
[5] Hard Disk Drive
[6] Volatile
[7] Nonvolatile
[8] Random access memory
[9] Read-Only Memory

- ✓ حافظه دسترسی تصادفی
- ✓ حافظه فقط خواندنی
- ✓ حافظه دسترسی تصادفی پویا
- ✓ حافظه دسترسی تصادفی ایستا
- ✓ حافظه پنهان
- ✓ حافظه فِلَش[1]
- ✓ حافظه مجازی[2]
- ✓ حافظه ویدیویی[3]
- ✓ واسط سخت‌افزار و نرم‌افزار (BIOS)[4]

در جدول زیر نیز حافظه‌های نسل جدید، دسته‌بندی و ارایه شده است.

جدول ۲۲- انواع حافظه‌های نسل جدید

حافظه فرار	حافظه غیر فرار
✓ حافظه دسترسی تصادفی پویا ✓ حافظه دسترسی تصادفی ایستا	✓ حافظه با دسترسی تصادفی مقاومتی (RRAM)[5] ✓ حافظه با دسترسی تصادفی مغناطیسی مقاومتی (MRAM)[6] ✓ حافظه با دسترسی تصادفی فروالکتریک (FeRAM)[7] ✓ حافظه با دسترسی تصادفی تغییر فاز (PCRAM)[8]

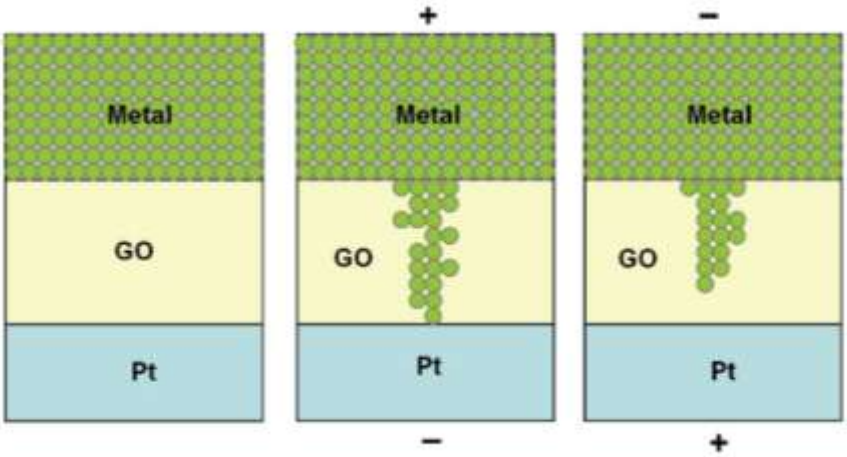
۲،۵. کاربرد گرافن در دستگاه‌های حافظه

نانومواد این قابلیت را دارند که دستگاه‌های حافظه را از منظرهای مختلف سرعت، مصرف انرژی، حجم، قابلیت اطمینان، غیرفرار بودن و هزینه بهبود دهند. در حال حاضر رویکردهای جدیدی برای ساخت دستگاه‌های حافظه بر پایه فناوری نانو وجود دارد که می‌توان به MRAM، FeRAM، RRAM و حافظه با دسترسی تصادفی نانولوله (NRAM)[9] اشاره کرد. اثر مقاومت مغناطیسی بزرگ و مقاومت مغناطیسی تونلی در نانوساختارهای چندلایه به فرم FM/NM/FM که در آن FM یک لایه از فلزات واسطه فرومغناطیس (مانند آهن و نیکل) و NM یک فلز غیرفرومغناطیس (مانند کروم، مس و نقره) مشاهده شده است. در مورد اثر مقاومت مغناطیسی تونلی NM یک مانع عایق است.

گرافن و اکسید گرافن هر دو به عنوان الکترود و اکسید در دستگاه‌های حافظه مختلفی چون رم‌های مقاومتی، حافظه فروالکتریک و حافظه‌های فلش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در گرافن به عنوان یک نیمه‌رسانای فاقد گپ و شکاف، حامل‌های بار می‌توانند به طور پیوسته با استفاده از میدان الکتریکی خارجی بین حفره و الکترون تنظیم شوند. گرافن به طور ذاتی در نقطه خنثی مقاومت بالایی دارد و هنگامی که به شدت دوپ شده است، مقاومت پایینی دارد و در نتیجه پتانسیل بسیار بالایی دارد تا در حافظه‌های مقاومتی مورد استفاده قرار بگیرد. حافظه‌های منعطف RRAM، با توجه به سرعت سوئیچ بالا، مصرف انرژی کم و مقیاس‌پذیری می‌توانند گزینه امیدبخشی برای حافظه‌های

[1] Flash Memory
[2] Virtual Memory
[3] Video Memory
[4] basic input/output system
[5] Ressistive Random Access Memory
[6] Magnetoresistive Random Access Memory
[7] Ferroelectric RAM
[8] Phase-Change Random-Access Memory
[9] Nanotube Random Access Memory

غیرفرار منعطف در آینده باشند. اکسید گرافن به عنوان یک ماده سوئیچ‌کننده مقاومتی مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است. این ماده می‌تواند به راحتی تولید شود و عملکرد حافظه‌ای مناسبی نیز از نظر نگه‌داری و پایداری در طول تست خمش از خود نشان داده است.



تصویر ۳۵- نمایش شماتیک مکانیزم سوئیچ مقاومتی گرافن اکسید در ساختار لایه‌ای فلز/اکسید گرافن/پلاتین

۳،۵. بازار جهانی دستگاه‌های حافظه

۱،۳،۵. محرک‌های بازار

حجم و ولتاژ: تقاضا برای دستگاه‌های حافظه با مصرف انرژی کم، سرعت بالا و اندازه کوچک طی دهه گذشته با توجه به رشد بازار تجهیزات الکترونیک مصرفی به شدت افزایش یافته است. پیشرفت‌های حاصل شده در حافظه منجر به نوآوری‌های بسیاری در صنعت تجهیزات الکترونیکی در ۳۰ سال گذشته شده است با این حال بسیاری از خبرگان معتقدند که در حال حاضر به حافظه‌هایی جدید با سرعتی بالا و حجم کم نیاز است تا موج بعدی نوآوری‌ها نیز مجددا در این صنعت شکل بگیرد.

در حال حاضر انواع حافظه‌ها از جمله حافظه با دسترسی تصادفی پویا، حافظه با دسترسی تصادفی ایستا و حافظه‌های فلش (NAND) به دلیل کاهش اندازه تجهیزات با محدودیت‌های تکنولوژیک و فیزیکی بسیاری روبرو شده‌اند. در این رابطه، تولید DRAMها از ۲۸ nm به ۲۰ nm در سال ۲۰۱۴ کاهش یافته است. به نظر می‌رسد که حافظه‌های فلش نیز از نظر اندازه و میزان ولتاژ در آینده نزدیک با چالش روبرو شوند. این نیاز وجود دارد تا ساختارها و مواد جدیدی برای ساخت سلول‌های حافظه توسعه پیدا کنند که بتوانند به این چالش‌ها پاسخ دهند. SRAM و DRAMها فرار هستند و انرژی نسبتا زیادی مصرف می‌کنند و از طرف دیگر به مدارهای حاشیه‌ای اضافی نیاز دارند. در حال حاضر با استفاده از مکانیسم‌های جدید سوئیچ‌کردن و حفظ‌کردن، مفاهیم جدیدی برای دستگاه‌های حافظه غیرفرار توسعه پیدا کرده است. از این مکانیسم‌های جدید می‌توان به حافظه با دسترسی تصادفی مغناطیسی (MRAM)[1]، حافظه با دسترسی تصادفی انتقال گشتاور اسپینی (STT-RAM)[2]، FeRAM، حافظه تغییر فاز (PCM)[3] و اخیرا نیز حافظه‌های مقاومتی بر پایه کربن اشاره کرد.

[1] Magnetic Random Access Memory
[2] Spin-Transfer Torque Random Access Memory
[3] Phase Change Memory

رشد بازار تلفن‌های هوشمند و تبلت‌ها: رشد بازار تلفن‌های هوشمند، تبلت‌ها و درایوهای حالت جامد (SSD)[1] منجر به افزایش تقاضا برای DRAM و حافظه‌های فلش طی چند سال گذشته شده است. تمرکز این بازار بر روی افزایش سرعت خصوصا در بخش دستگاه‌های موبایل کم‌مصرف است.

رشد بازار تجهیزات الکترونیک منعطف: در حال حاضر تقاضای خوبی برای حافظه‌های منعطف با ثبات، جهت تولید تجهیزات الکترونیکی منعطف ارزان با مصرف انرژی کم وجود دارد.

۲،۳،۵. اندازه بازار

در حال حاضر رشد سالانه بازار DRAMهای فرار و فلش‌های NAND غیرفرار بیش از ۶۵ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود که حدود ۴۰ میلیارد دلار آن مربوط به حافظه‌های DRAM و ۲۰ میلیارد دلار آن نیز مربوط به حافظه‌های NAND است. انواع مختلف دستگاه‌های حافظه DRAM و NAND توسط شرکت‌های یکسانی تولید می‌شود. فرصت‌های زیادی جهت استفاده از فناوری‌های جدید دستگاه‌های حافظه در بازارهای تلفن‌های همراه، کارت‌های هوشمند، ذخیره اطلاعات با حجم بالا و ذخیره‌سازی اطلاعات شرکتی وجود دارد. در بازار حافظه‌های DRAM بخش کامپیوترهای شخصی در حال افول است اما بازار سرورها کماکان پایدار باقی مانده است. این بازار شاهد کاهش ظرفیت و قیمت DRAMهای فرار بوده است.

۳،۳،۵. توسعه دهندگان محصول

در جدول زیر نام شرکت‌های فعال در حوزه توسعه کاربرد و محصولات گرافن در حوزه دستگاه‌های حافظه و فعالیت‌های آن‌ها ارایه شده است.

جدول ۲۳- شرکت‌های فعال در زمینه توسعه حافظه‌های بر پایه گرافن

شرکت	فعالیت
Advanced Science Research Center	توسعه یک روش شناساسیی حالت اسپینی گرافن در تماس با فلز مغناطیسی از سوی مرکز تحقیقات علوم پیشرفته ژاپن، آژانس انرژی اتمی و موسسه ملی علم مواد
Fuji Electric	انجام یک پروژه تحقیقاتی توسعه یک هارد دیسک مغناطیسی بر پایه گرافن با همکاری دانشگاه ملی سنگاپور

[1] solid-state drive

فوتونیک‌ها

دستگاه‌های فوتونیک بسیاری با استفاده از گرافن به صورت تجربی ساخته شده‌اند و به صورت تئوری مورد بررسی قرار گرفته‌اند، از جمله می‌توان به آشکارسازهای نوری، لیزرهای بسیار سریع، کنترلرهای قطبش[1] و ساختارهای پلاسمونیک[2] اشاره کرد. تحقیقات اخیر توانایی‌های گرافن را برای کاربردهای فتونیک نشان داده است. از گرافن به دلیل جذب نورش (از ماوراء بنفش تا تراهرتز) برای تشخیص پهنای باند استفاده می‌شود، که در نتیجه توزیع خطی مواد و مشخصه شکاف باند صفر است.

مدولاتورهای نوری[3]

مدولاتورهای نوری (OMs) به عنوان دستگاه‌های کلیدی در سیستم‌های نوری مدرن هستند. به دلیل خواص نوری منحصر به فرد گرافن، از آن به برای ساخت مدولاتورهای نوری استفاده می‌شود، که منجر به بهبود پاسخ پهنای باند، سرعت مدولاسیون بالا و عمق مدولاسیون بالا می‌شود.

جدول ۲۴- خواص گرافن مرتبط با کاربرد آن در مدولاتورهای نوری

خاصیت	
سرعت مدولاسیون بالا	تحرک‌پذیری بالای بار در دمای اتاق (برابر ۲۰۰،۰۰۰ $cm^2/V.s$)
پهنای باند وسیع نوری	به دلیل خواص الکتریکی منحصر به فرد، گرافن در طول موج‌های مرئی تا مادون قرمز مقدار جذب ثابتی برابر ۲/۲۹۳ درصد دارد.
جذب نوری بالا	جذب نور در حدود ۲/۳ درصد، که تقریبا ۵۰ برابر بزرگتر از GaAs[4] با ضخامت مشابه است.

آشکارسازهای نوری

گرافن ماده‌ای نوید بخش برای آشکارسازهای نوری با پهنای باند فوق العاده است، به دلیل که طیف جذبی آن تمام محدوده ماوراء بنفش تا مادون قرمز را پوشش می‌دهد و حامل‌ها نور برانگیخته[5] را برای بهبود پاسخ طیفی چند برابر می‌کند. مطابق آخرین پیشرفت‌های علمی آشکارسازهای نوری، مبتنی بر سیلیکون و مواد پرقدرت گران و کمیاب مانند ژرمانیوم، گالیم، آرسنیک و ایندیم (نیمه هادی‌های گروه III-V) است. با این حال، فیزیک این مواد آن‌ها را تا پهنای باند عملی برابر با ۲۵ گیگابایت در ثانیه (Gbps)[6] محدود کرده است. توسعه مواد پیشرفته مانند گرافن جهت حفظ سرعت تبادل اطلاعات با سیستم‌های رایانش ابری ضروری است.

آشکارسازهای نوری مبتنی بر گرافن سرعت تشخیصی برابر با ۵۰ گیگابایت بر ثانیه نشان داده‌اند. پهنای باند نوری ذاتی گرافن، بیش از ۲۵۰ گیگابایت بر ثانیه اندازه‌گیری شده است. این موضوع نشان‌دهنده سرعت انتقال ۱۰ برابر بیشتر از آشکارسازهای نوری فعلی است.

[1] polarization controllers
[2] plasmonic structures
[3] optical modulators
[4] Gallium Arsenide
[5] photoexcited carriers
[6] gigabits per second

ادغام اجزای مختلف نوزی زوی یک تراشه راه اصلی برای افزایش پهنای باند و کاهش هزینه است. در حالی‌که س‌ی‌ل‌ی‌کون ی‌ک کاده مناسب برای هدای‌ت و مس‌ی‌ری‌اب‌ی نور مادون قرمز است، برهمکنش کم سیلیکون با نور نیاز به ادغام با مواد دیگر دارد. این یک فرصت عالی برای وارد شدن گرافن به فناوری سیلیکون است تا ویژگی‌های مفقوده را اضافه کند.

بازار ایران

جدول ۲۵- لیست شرکت‌های مصاحبه شده در صنعت الکترونیک

ردیف	نام شرکت	حوزه کاری
۱	تجارت الکترونیک عرش گستر	برد مدار چاپی
۲	تهران مدار	طراحی و ساخت مدارات الکترونیکی
۳	فراز مدار	تولید مدار چاپی
۴	آلفا مدار صنعت	تولید بوردهای الکترونیکی
۵	صنایع نیمه هادی ایران	تولید کارت‌های هوشمند
۶	صا شیراز	تولید کننده تجهیزات الکترونیکی
۷	فن آوران ایماکو	RFID
۸	صنام	تولید کننده لوازم خانگی، تلویزیون، صوتی و تصویری
۹	مادیران	تولید کننده مانیتور، تلوزیون و قطعات الکترونیکی
۱۰	اتحادیه الکترونیک و الکتروتکنیک تهران	-
۱۱	پژووهشکده نیمه هادی پژوهشگاه مواد و انرژی	-
۱۲	فراسو	تولید کننده تجهیزات الکترونیکی و کامپیوتری
۱۳	ماتریس	تولید، صادرات و واردات و خرید و فروش کلیه تجهیزات و سخت افزار رایانه
۱۴	سازمان نظام صنفی رایانه کشور	-
۱۵	سازمان نظام صنفی رایانه تهران	-
۱۶	آزمایشگاه میکروالکترونیک جهاد دانشگاهی شریف	ارائه خدمات تخصصی لایه نشانی لایه‌های نازک

۱۷	نوین سنسور	تولید کننده حسگر
۱۸	ایلیا بنیان دانش	تولید کننده حسگر
۱۹	توسعه حسگرسازان آسیا	تولید کننده حسگر
۲۰	مهرکاناز	تولید کننده حسگر
۲۱	نیمه هادی عماد	الکترونیک و میکروالکترونیک
۲۲	حساسه ساز دقیق صنعت	ساخت تجهیزات عملیات صنعتی
۲۳	مرکز میکرو ماشین ارومیه	تولید سنسور با تکنولوژی MEMS .
۲۴	ایران تگ	تولید کننده کارت مجاورتی و تگ‌های RFID

شرکت نوین سنسور: در سال ۱۳۹۳ تعدادی از فعالان این صنعت تصمیم به تاسیس شرکت نوین حسگر نمودند تا در بستری نو در جهت ارتقاء سطح کیفی تولیدات داخلی موثر باشند. در سال ۱۳۹۴ شرکت نوین حسگر به عنوان اولین شرکت دانش بنیان در شاخه طراحی سنسور پذیرفته گردید.

از محصولات این شرکت می‌توان به حسگرهای صنعتی و سوییچ‌های غیرلمسی اشاره کرد که با کنار هم قرار دادن قطعات و طراحی و بستن مدار، حسگر را مونتاژ می‌کنند. این شرکت توانایی تولید سنسورهای متنوعی را بسته به نیاز مشتری دارد. به گفته آقا تاجر موسس این شرکت، این مجموعه یک سال است که تاسیس شده و در مقیاس صنعتی در حال حاضر تولید ندارد و مطابق سفارش مشتریان سنسور تولید می‌کند و محصولات آنها عموما در اتوماسیون صنعتی کاربرد دارند. البته ایشان ۲۰ سال است که در این زمینه فعالیت و تجربه دارند و در مورد موانع و چالش‌های تولید سنسور در داخل کشور فرمودند، تولیدکنندگان خارجی در مقیاس زیاد تولید می‌کنند و همین هزینه تولید آن‌ها را کاهش می‌دهد هر بخش شامل گروه تحقیق و توسعه است و همین باعث بهبود روز به روز این محصولات می‌شود. به اعتقاد ایشان تولید داخلی دارای مزایای خاص خود است. زمان تحویل در ایران بهتر است به خصوص برای سنسورهای سفارشی. محصولات ایرانی معمولا کیفیت بهتری نسبت به محصولات مشابه خارجی دارند و قیمت تمام شده کمتری هم برای مشتری خواهند داشت. هرچه سنسور تخصصی‌تر باشد واردکننده در مورد آن اطلاعات کمتری دارد و تعداد کمتری از آن نیاز است و در نتیجه برای واردکننده صرفه اقتصادی ندارد. در همین حوزه‌ها بستر برای ورود سنسورهای داخلی مهیاست. همچنین تولیدکننده‌های داخلی از علم صحبت و مذاکره با مشتری آگاه‌ترند که خود یک مزیت رقابتی برای آن‌ها نسبت به تولیدکنندگان خارجی می‌باشد. تولیدکنندگان داخلی باید از این ظرفیت‌ها استفاده کنند و وارد بازار شوند.

ایلیا بنیان دانش:

به گفته ایشان این شرکت در زمینه تولید سنسورهای الکترواپتیکی در ایران بی‌رقیب است. این شرکت سنسورهای اپتوالکتریکی را جایگزین سنسورهای کاتالیستی کرده‌است که عمر بیشتر و خطر کمتری دارند.برآورد از نیاز به سنسور نقطه‌ای ۱۲۰۰۰ عدد در سال است که البته این میزان در حال حاضر تولید نمی‌شود اما بازار چنین ظرفیتی را داراست. برای سنسور مسیرباز دوتایی ۶۵۰ عدد سالانه مورد نیاز است. این شرکت مزیت رقابتی خود را قیمت پایین‌تر و کیفیت بهتر نسبت به رقبا می‌داند. همچنین این شرکت خدمات پس از فروش به مشتریان ارئه می‌دهد و صادرات محصولات از برنامه‌های شرکت می‌باشد.

توسعه حسگرسازان آسیا: شرکت حسگرسازان آسیا یک شرکت تحقیقاتی–صنعتی می‌باشد که در راستای تحقیقات علمی–دانشگاهی شکل گرفته است. این شرکت در سال ۱۳۸۰ به ثبت رسیده و در پارک تحقیقاتی پردیس در بومهن احداث شده است. در این شرکت برخی نتایج تحقیقات علمی–دانشگاهی به مرحله تولید صنعتی و یا نیمه صنعتی خواهند رسید که از آن میان می‌توان به ساخت حسگرهای گازهای سمی، حسگرهای اکسیژن، سنسورهای الکترونیکی خودرو و سنسورهای مادون قرمز اشاره نمود. همچنین ساخت نمایشگرهای مسطح با ابعاد متوسط و کوچک، ساخت سنسورهای اندازه گیری قند خون، سنسورهای حرکت بدون تماس (با استفاده از حسگرهای گرما) و غیره در مراحل بعدی تولید قرار دارند.

این شرکت توانایی ساخت سنسورهای گازی کربن مونوکسید، گاز شهری، الکل‌ها (به عنوان مثال اتانول) و H_2S را دارد. به گفته خانم وحدتی کارشناس واحد تحقیق و توسعه این شرکت، تنها حسگر متان به طور صنعتی در حال تولید است و سایر سنسورها بر اساس سفارش مشتری ساخته می‌شوند. به طور کلی فعالیت این شرکت به صورت دریافت سفارش از مشتری و تهیه سنسور مورد نظر برای متقاضی می‌باشد. البته در صورتی که استفاده از سنسور گاز طبیعی و گاز مونوکسید اجباری شود این سنسورها بازار بسیار بزرگی خواهند داشت. در حال حاضر سنسورهای زیادی در صنایع مختلف ایران مورد استفاده می‌شوند و تقریبا همه وارداتی هستند و این در حالی است که در داخل کشور توانایی تولید این سنسورها وجود دارد. ایشان در زمینه چالش‌های ورود سنسورهای داخلی به این بازار فرمودند، حسگرهای چینی ارزان قی‌مت هستند و بازار را در اختیار گرفته اند. همچنین عمر مفید یک سنسور یک سال است اما حسگرهای درون بازار عمر مفید اغراق آمیزی را مطرح نموده‌اند که باعث جذب مشتریان می‌شود. ایشان از طرح استفاده از گرافن در سنسورها استقبال نمودند و افزایش دقت سنسورها به کمک گرافن را عاملی برای برتری محصولات داخلی نسبت به محصولات وارداتی دانستند. به این صورت محصولات داخلی امکان رقابت با محصولات ارزان قیمت وارداتی را می‌یابند.

صنایع نیمه هادی ایران: شرکت صنایع نیمه هادی ایران یکی از پیشگامان صنعت کارت‌های هوشمند در ایران می‌باشدکه فعالیت خود را از سال ۱۳۷۹ در زمینه تولید کارت تلفن شروع نموده است. این شرکت متعاقباً فعالیت خود را در زمینه کارت‌های هوشمند گسترش داده، به نحوی که هم اکنون به عنوان یکی از عمده‌ترین تامین کنندگان محصولات مختلف از قبیل سیم‌کارت تلفن همراه، ماژول امنیتی SAM و سایر کارت‌های هوشمند محسوب می‌گردد.

آقای محمدزاده مسئول دفتر این شرکت بیان داشتند که فقط سیم کارت و کارت‌های هوشمند تولید می‌کند و قطعه نیمه هادی به کار رفته در آن وارداتی است.

شرکت نیمه هادی عماد: شرکت نیمه هادی عماد در سال ۱۳۷۶ با ماموریت ایجاد و توسعه صنعت الکترونیک و میکروالکترونیک در ایران تاسیس گردید. این شرکت با توجه به رویکردهای خود با تکیه بر دانش فنی تولید شده و تجربیات کسب شده در حوزه‌های تخصصی ذیل فعالیت می‌نماید:

- ✓ تولید انواع کارت هوشمند .
- ✓ تولید سیستم ضد سرقت خودرو (Immobilizer) و سیستم کددهی خودرو.
- ✓ تولید سیستم ایربگ خودرو.
- ✓ تولید سنسور با تکنولوژی MEMS .

به گفته آقای حاجی عزیزی مسئول دفتر مدیر عامل، این شرکت در حال حاضر در زمینه تولید کارت‌های هوشمند و سیستم‌های ایمنی خودرو فعالیت می‌کند. قبلا در کارخانه ارومیه فعالیت‌هایی در زمینه میکرو الکترونیک انجام می‌شده است که این کارخانه به صا ایران واگذار شده است و بیشتر فعالیت‌های انجام شده هم در حد تحقیقاتی بوده. همچنین حافظه‌های مورد استفاده در تولیدات کارت هوشمند آنها وارداتی است.

مرکز میکرو ماشین ارومیه: این مرکز در سال ۱۳۸۳ با سرمایه گذاری سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران از طریق شرکت نیمه هادی عماد ایجاد شده است. این کارخانه از جمله طرح‌های با فناوری پیشرفته کشور می‌باشد که در فضایی به وسعت ۱۰،۰۰۰ مترمربع و با

زیر بنای ۲۲۰۰ متر مربع در جوار دانشگاه ارومیه ساخته شده است و در آن تاسیسات و تجهیزات کامل یک Clean-Room نیمه صنعتی جهت بهره برداری در صنعت پیشرفته سیستم‌های میکروالکترومکانیکی (MEMS) قرار گرفته است.

مسئول کلین روم این مرکز، آقای انتظار مهدی، بیان کردند که در ایران امکانات تولید مدارات مجتمع وجود ندارد و همچنین ترانزیستوری هم ساخته نمی‌شود در نتیجه تولید ادوات زیر مجموعه آنها مانند حافظه‌ها هم وجود ندارد. در این مرکز بیشتر کارهای انجام شده تحقیقاتی است و روی ساخت حسگرهای MEMS[1] فعالیت می‌کنند که حسگرهایی با قابلیت تبدیل عوامل فیزیکی محیط مانند فشار و جریان به سیگنال‌های الکتریکی هستند. مکانیزم عملکرد حسگرهای مورد مطالعه در این مرکز اغلب فیزیکی است.

پژووهشکده نیمه هادی پژوهشگاه مواد و انرژی: این پژوهشکده درحال حاضر در قالب سه گروه رشد بلور ، ساخت قطعات و شناخت مواد درحال فعالیت است. بررسی خواص و کاربرد تک بلورها و نیمه هادی، انجام آنالیز، شناسایی و بررسی ساختارهای حاصل از سنتز، ساخت قطعات تحقیقاتی و ارائه طرح‌های تحقیقاتی مرتبط از جمله فعالیت‌های این پژوهشکده است.

به گفته مدیر گروه ساخت قطعات این پژوهشکده، اقای دکتر مسعودی، این گروه بر روی کاربردهای گرافن در موضوعات متعددی مانند ساخت سلول خورشیدی، حسگرهای گازی، باتری‌های لیتیوم-یون، شکافت آب با استفاده از نیروی خورشیدی برای تولید هیدروژن، حافظه‌های مقاومتی و ... تحقیقات انجام داده‌اند. به نظر ایشان هنوز برای حضور گرافن در اشل تجاری زود است و نیاز به کارهای بیشتری دارد.

اصلی‌ترین تولید کننده قطعات الکترونیکی در داخل ایران شرکت صنایع قطعات الکترونیک ایران (وابسته به وزارت دفاع) است ولی در ایران نیمه هادی به صورت صنعتی تولید نمی‌شود و حتی صنعت سیلیکون هم نداریم زیرا فناوری تولید آن بسیار پیشرفته است.

صنام: شرکت صنام الکترونیک تولید ، تلویزیون رنگی با نام صنام را از سال ۱۳۷۲ آغاز کرده است . شرایط خاص حاکم بر بازار ایران در سال‌های ۱۳۷۰- ۱۳۷۵ که عموماً با کمبود عرضه مواجه بود باعث گردید که تفکر ادامه فعالیت بصورت گسترده در شرکت شکل گرفته و بر این اساس سیاستهای تولید، تامین، تجارت، تحقیق و توسعه و خدمات پس از فروش را راه اندازی نماید. در سال ۱۳۸۴ به موضوع فعالیت شرکت پروژه‌های فن‌آوری اطلاعات و سیستم‌های کنترل و مانیتورینگ اضافه گردید. در ادامه فعالیت‌ها ، در سال ۱۳۸۶ فعالیت‌های مربوط به تولید و عرضه محصولات خانگی نظیر جاروبرقی به طور کامل در دستور کار قرار گرفت. در سال ۱۳۸۸ مواردی از قبیل: راه اندازی کارخانه فوم، گسترش مدیریت تولید بدون کارخانه با محصولاتی نظیر اجاق گاز فردار و طرح فر، ماشین لباسشویی، ماشین ظرفشویی، یخچال و یخچال فریزر و کولر آبی جهت حضور پررنگ تر در بازار صورت گرفت.

مسئول بخش تحقیق و توسعه این شرکت، آقای غفاری، بیان کردند که تمامی قطعات از چین وارد می‌شود و در اینجا تنها مونتاژ صورت می‌گیرد. در سال‌های اخیر تولید و فروش بسیار کم شده و بخش تحقیق و توسعه برنامه‌ای برای تولید این قطعات ندارد. همچنین گفتند در سایر شرکت‌ها هم تنها مونتاژ انجام می‌شود.

مادیران: گروه مادیران که در سال ۱۳۴۳ تاسیس شده است یکی از معتبرترین و موفق‌ترین شرکت‌های حوزه IT در ایران می‌باشد. مادیران شرکتی کاملا خصوصی است و بیش از ۵۰ سال تجربه موفق در ارائه کالاهای باکیفیت و خدمات پس از فروش آنها در سراسر کشور از افتخارات مادیران می‌باشد.

[1] Micro Electro Mechanical Systems

آقای صفری مسئول بخش تحقیق و توسعه مادیران فرمودند که کار ساخت در ایران انجام نمی‌شود و اگر هم چیزی باشد در شیراز است . کار ساخت به سرمایه گذاری طولانی مدت و زیادی نیاز دارد که در شرایط ایران جواب نمی‌دهد.

فراسو: این شرکت از سال ۱۳۶۸ به صورت رسمی فعالیت خود را در زمینه تولید لوازم جانبی رایانه آغاز کرده‌است. شرکت فراسو به تولید قطعات سخت‌افزار رایانه، تلویزیون، گیرنده دیجیتال و تبلت در ایران می‌پردازد. این گروه در دی ماه سال ۱۳۹۲، خط تولید جدیدی به نام SMT[1] را برای تولید تبلت ایرانی و لوازم کامپیوتر در کارخانجات خود در شهرک صنعتی پرند راه‌اندازی نمود. در حقیقت فراسو جزو اولین شرکت‌هایی است که این تجهیزات را در ایران داراست و تنها شرکتی می‌باشد که توانسته خط تولید تبلت و لوازم جانبی کامپیوتر را با این دستگاه راه‌اندازی نماید. SMD[2] اسم قطعات این تکنولوژی و SMT اسم خود تکنولوژی است.

آقای رشیدی مدیر زنجیره تامین فراسو گفتند که قطعات لازم برای ساخت در این شرکت از کشورهای چین، تایوان و کره تهیه می‌شوند چرا که تولید آن‌ها صرفه اقتصادی ندارد. در این شرکت طراحی مدار صورت می‌گیرد و چاپ مدار توسط شرکت‌های دیگر ایرانی انجام می‌شود. البته چاپ مدارهای خیلی ظریف و یا چندین لایه (بیش از دو لایه) هم به کشورهای دیگر سپرده می‌شود. در تولید قطعات حمایت دولتی وجود ندارد و تعرفه گمرکی ترانزیستور و قطعات ۴ درصد می‌باشد بنابراین صرفه اقتصادی ندارد، اما تعرفه تبلت برابر ۱۵ درصد است و طراحی مدار برای تبلت در ایران می‌تواند از لحاظ قیمت با محصولات خارجی رقابت کند.

ماتریس: مجتمع تولیدی ماتریس (واقع در شهرک صنعتی پرند)، صادر کننـده نمونه استان تهران و عضو اتحادیه صادرکنندگان کالا و خدمات است. این مجموعه از سال ۱۳۷۶ در زمینه تولید، صادرات و واردات و خرید و فروش کلیه تجهیزات و سخت افزار رایانه فعالیت می‌نماید و نماینده انحصاری تولید و پخش بسیاری از برندهای معتبر از جمله msi بوده و دارای ۵۰۰ فروشگاه و مرکز خدمات پس از فروش و نماینده درکلیه شهرهای ایران می‌باشد. هم اکنون شرکت ماتریس نمایندگی انحصاری فروش و ارائه خدمات پس از فروش محصولات بسیار معتبری است که از آن جمله می‌توان به برندهای بسیار مشهور زیراشاره کرد:

MSI, AMD, Edifier, Thermaltake, Supertalen

به گفته کارشناس واحد تحقیق و توسعه این شرکت، هیچ گونه قطعه سخت‌افزاری در ایران تولید نمی‌شود و همه وارداتی هستند.

آزمایشگاه میکروالکترونیک جهاد دانشگاهی شریف: آقای مساحتی مسئول این آزمایشگاه، بیان کردند که در ایران فبریکیشن[3] (تولید ترانزیستور و ادوات نیمه هادی) وجود ندارد. فبریکیشن در مقیاس زیاد صرفه اقتصادی دارد و در ایران بازار بزرگی ندارد، به همین دلیل با این که این آزمایشگاه در ابتدا به اینسو گرایش داشته، حالا به لایه نشانی CVD و ... می‌پردازد و شرایط در کل کشور به همین منوال است. این آزمایشگاه سفارشاتی در زمینه ساخت پایه برای جای گیری گرافن در روی آن داشته که از کاربرد آن‌ها بی‌اطلاع است و معتقد است در اکثر موارد کاربردها نظامی و هسته‌ای هستند و یا برای انجام پروژه‌های دانشجویی می‌باشند. در زمینه حسگرها به دلیل سخت‌گیری استانداردهای جهانی در زمینه سلامتی و نیاز به قابلیت اطمینان بالا، فعالیت شرکت‌ها به صورت سرمایه‌گذاری مشترک[4] با شرکت‌های خارجی با نام تجاری معتبر در آن زمینه است؛ چرا که بحث اعتماد در حوزه سلامتی از اهمیت بالایی برخوردار است. پیشنهاد

[1] Surface Mount Technology
[2] Surface Mount Device
[3] fabrication
[4] joint venture

ایشان تمرکز بر کاربردهای کامپوزیتی گرافن است. نیازمندی‌های کامپوزیت‌های سبک (در ساخت هواپیما، پهباد، گلایدر، توربین بادی) می‌تواند آینده خوبی داشته باشد.

فن آوران ایماکو: شرکت فن آوران ایماکو در زمینه معرفی و ارائه راهکارها و پیاده سازی سیستم‌های شناسایی خودکار در ایران فعالیت می‌نماید. این مجموعه با توجه به نیاز روز افزون مجموعه‌ها نسبت به تهیه وتامین سیستم‌ها و تجهیزات مبتنی بر بارکد و RFID و همچنین تهیه و توزیع اقلام مصرفی از قبیل نرم افزارهای مبتنی بر بارکد و RFID، پیاده‌سازی آن بر روی ترمینال‌های سیار اطلاعات و ارائه تجهیزات و همچنین تامین مواد مصرفی این تجهیزات از قبیل لیبل پرینتر و بارکد اسکنر ،انواع کاغذهای پشت چسب‌دار ،انواع لیبل و ریبون و همچنین خدمات چاپی از سال ۱۳۸۹ تا به امروز آغاز به کار نموده است .

آقای امیری مدیر فروش این شرکت بیان کردند که این تگ‌ها مدارهای الکتریکی بسیار کوچکی هستند که از طریق دریافت و ارسال سیگنال تبادل اطلاعات می‌کنند و تکنولوژی بسیار بالایی دارند که در ایران تولید نمی‌شوند. این تکنولوژی اصالتا در آمریکا تولید شده و در حال حاضر از کشورهایی مانند کانادا، اتریش و چین وارد می‌شوند. البته واردات آن به دلیل داشتن کاربرد دوگانه (نظامی) با مشکلاتی مواجه است. همچنین استفاده از این تکنولوژی هزینه بالایی دارد و برای راه اندازی یک پروژه پایلوت چیزی در حدود ۲۰۰ الی ۳۰۰ میلیون تومان هزینه خواهد داشت.

ایران تگ: ایران تگ افتخار دارد با به کارگیری دانش متخصصان ایرانی اقدام به تولید تگ‌های RFID در ایران نماید.هم اکنون انواع کارت‌های ایرانی با قیمت رقابتی با مدل‌های خارجی تولید گردیده و به تولید انبوه رسیده است. این تگ‌ها با دستگاه‌های تمام اتوماتیک تولید گردیده و در نهایت کیفیت و دقت عرضه می‌گردند.

مدیرعامل این شرکت، آقای شریعتی، بیان کردند که تولید کننده کارت‌های مجاورتی و تگ‌های RFID هستند. مدارات و چیپ‌های اصلی مورد استفاده در این تجهیزات وارداتی هستند و تنها چند کشور در دنیا مانند امریکا و چین تکنولوژی تولید آن را دارند. در این شرکت تنها کار لمینت و مونتاژ کارت‌های هوشمند انجام می‌شود.

تجارت الکترونیک عرش گستر: شرکت تجارت الکترونیک عرش گستر ، نماینده انحصاریMYRO کانادا با قابلیت تولید بردهای مدار چاپی از ۲ لایه تا ۳۲ لایه و کیفیت غیر قابل مقایسه با نمونه‌های داخلی است و توانسته سهم قابل قبولی از بازار را در اختیار بگیرد و خود را به عنوان یکی از قطبهای ساخت PCB در ایران مطرح نماید .

این شرکت در زمینه واردات فعالیت دارد و بردهای خود را از چین وارد می‌کند. به گفته خانم ارشادی مسئول دپارتمان برد مدار چاپی بردهای جوهر رسانا در بردهای انعطاف‌پذیر کاربرد دارند که کاربرد آنها بیشتر در آنتن و تجهیزات مخابراتی است. همچنین وی گفت واردات این بردها در حدود ۵ تا ۱۰ درصد بردهای فایبر است.

تهران مدار: شرکت تهران مدار خدمات در تولید انواع مدار چاپی یک رو، دو رو متالیزه و حتی چند لایه با استفاده از روش قلع و سرب، هات ایر و الکترولس طلا، به صورت تیراژ و نمونه ارائه می‌دهد.

آقای رضایی مدیریت این شرکت بیان داشتند که بیشتر سفارشات از چین آورده می‌شود و اکثر تولید کنندگان بزرگ در حال تعطیل کردن هستند و این صنعت، صنعتی عقب افتاده است و از تکنولوژی‌های بسیار قدیمی استفاده می‌شود. در حال حاضر روش انجام کار به صورت اسید شویی و مس بری است تا شکل مدار تشکیل شود. همچنین ایشان هیچ آشنایی با بحث جوهر رسانا نداشت.

فراز مدار: این شرکت به دلیل ضرردهی تولید خود را متوقف کرده است.

جمع بندی

بررسی‌های انجام شده در این صنعت نشان دهنده ضعف زیر ساختی در این بخش است. در بیشتر موارد بررسی شده یا محصول نهایی به طور کامل وارد می‌شود یا قطعات اصلی آن وارد شده و در اینجا تنها کار مونتاژ صورت می‌گیرد. دو دلیل عمده را می‌توان برای این ضعف زیر ساختی برشمرده، یکی فناوری بالای تولید قطعات میکرو الکترونیک و نیمه هادی ودیگری نیاز به سرمایه‌گذاری بالا و طولانی مدت جهت تولید این قطعات. تنها در زمینه تولید حسگرها شرکت‌هایی که بیشتر دانش بنیانند فعال هستند که به دلیل واردات محصولات خارجی (عمدتا چینی) با قیمت‌های پایین رقابت برای آنها بسیار سخت شده است و تنها در صورت نیاز به یک حسگر با مشخصات خاص توانایی رقابت پیدا می‌کنند. در مجموع می‌توان گفت مصرف گرافن در این بخش تنها در حد و اندازه مراکز تحقیقاتی می‌باشد.

فصل هفتم
تحلیل بازار کامپوزیت‌های پلیمری

مقدمه

استفاده روز افزون از کامپوزیت‌های پلیمری منجر به افزایش تقاضا برای نانو موادی مانند گرافن، CNTها و نانوسلولز به عنوان جایگزین برای الیاف کربن و بسته‌بندی‌های مبتنی بر مواد نفتی شده است. در طول چند سال گذشته، کاربردهای نانوکامپوزیت‌های پلاستیکی، به دلیل تلاش‌های تولیدکنندگان رزین و تولیدکنندگان مستربچ، که در حال حاضر محصولات کاربرپسندی را برای صنایع هوافضا، خودروسازی، پزشکی، غذایی، کالاهای ورزشی و الکتریکی ارایه می‌کنند، جایگاه تجاری پیدا کرده‌اند. هرچند کاربردها بسیار متفاوت است، اغلب آن‌ها خواصی مانند بریر گاز، تقویت و ضد حریق دارند.

تاکنون، پژوهش‌های صنعتی و دانشگاهی گسترده‌ای در راستای ساخت و کاربرد نانوکامپوزیت‌های پلیمری با هدف بهبود خواص پلیمر و افزایش قابلیت کاربرد آنها در زمینه‌های مختلف انجام شده است. در این راستا، نانوذرات پایه کربنی نظیر نانولوله‌های کربنی و گرافن جایگاه ویژه‌ای در تهیه نانوکامپوزیت‌های پلیمری به خود اختصاص داده‌اند. لازم به ذکر است، این نانوذرات خواص متفاوتی از قبیل استحکام مکانیکی، رسانایی الکتریکی و پایداری گرمایی در مقایسه با یکدیگر دارند. با وجود پیشرفت‌های شگرفی که در راستای استفاده از نانولوله‌های کربن به عنوان یک فاز تقویت‌کننده انجام گرفته است، مواردی همچون تمایل نانولوله‌ها به کلوخه شدن در حین فرآیند، محدودیت دسترسی به نانولوله‌های کربنی با کیفیت در مقادیر زیاد و همچنین قیمت زیاد آنها، تولید نانوکامپوزیت‌های پلیمری حاوی نانولوله‌های کربنی را محدود ساخته است. از این رو، نانوذرات گرافن به دلیل خواص مکانیکی و الکتریکی و همچنین فراوانی ماده اصلی تشکیل دهنده آنها یعنی گرافیت در طبیعت، جایگزین مناسبی برای نانولوله‌های کربنی به منظور تولید نانوکامپوزیت‌های پلیمری محسوب می‌شوند. از سوی دیگر، با توجه به خواص منحصر به فرد گرافن از جمله خواص الکتریکی، گرمایی، الکتروشیمیایی و سطح ویژه زیاد، قابلیت استفاده از این ماده را در بسیاری از کاربردها مانند حسگرها، کاتالیزورها، منابع ذخیره انرژی و انواع کامپوزیت‌ها افزایش چشم‌گیری داشته است.

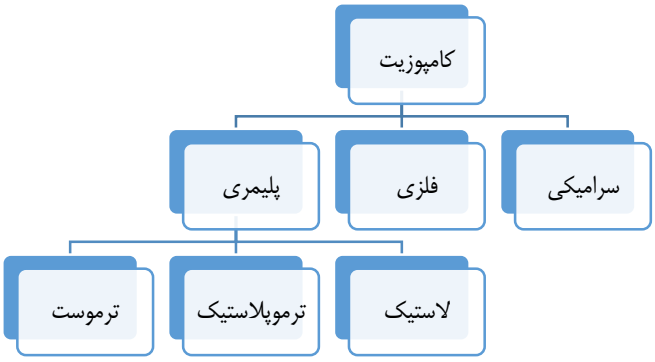
جدول ۲۶- کاربرد گرافن در بازار کامپوزیت‌های پلیمری، مرحله تجاری‌سازی و اندازه بازار

کاربردها	مرحله تجاری سازی	اندازه بازار
کامپوزیت‌های بسته بندی	۳-۲	۵۰۰-۲۵۰ میلیون دلار
کامپوزیت‌های توربین بادی	۳-۲	۲۵۰-۵۰ میلیون دلار
کامپوزیت‌های هوافضا	۳-۲	بیش از ۱ میلیارد دلار
کامپوزیت‌های خودرو سازی	۳-۲	حدود ۱۰۰ میلیون دلار در ۱ درصد استفاده

در این بخش برخی کاربردهای امیدبخش گرافن در کامپوزیت‌ها که دارای سطوح آمادگی فناوری متفاوتی هستند، مورد بررسی قرار می‌گیرد. برخی از کاربردها، نظیر کامپوزیت‌های الیاف کربن تقویت‌شده با گرافن برای تقویت ساختاری، در حال حاضر در راکت‌های تنیس تجاری شده است، در حالیکه برخی دیگر نظیر کاربردهای فتونیک، هنوز به تحقیقات پایه‌ای بیشتر نیاز دارد.

۱. معرفی کامپوزیت‌های پلیمری

کامپوزیت اصطلاحا به موادی گفته می‌شود که از دو قسمت بستر یا ماتریس و تقویت‌کننده تشکیل می‌شوند. ترکیب این دو جز باعث می‌شود تا ماده حاصله خواصی بهتر از خواص تک تک اجزا تشکیل‌دهنده خود پیدا نماید. انواع کامپوزیت‌ها را می‌توان با توجه به فاز بستر، به صورت نمودار زیر دسته‌بندی کرد.



نمودار ۲۳- دسته‌بندی کامپوزیت‌ها بر اساس بستر آنها

به طور کلی بیشترین کاربرد کامپوزیت‌ها در جهان مربوط به صنایع ساختمان، حمل و نقل، الکتریسته و الکترونیک می‌باشد. اکثر کامپوزیت‌های مورد استفاده در ایران نیز، کامپوزیت‌های پایه پلیمری هستند و بیشترین حجم مصرف آنها مختص صنایع ساختمان و حمل و نقل می باشد. همچنین بیشترین حجم تولید مواد کامپوزیت (تقویت شده با الیاف) در صنعت لوله‌سازی انجام می‌گیرد که به تنهایی نیمی از تولیدات این مواد را در برمی‌گیرد. سایر زمینه‌هایی که در ایران تولید قابل توجهی دارند عبارتند از صنایع حمل و نقل (سینی چراغ خودرو، کاسه چراغ، بدنه داخلی قطار، ضربه‌گیر و ...)، الکترونیک و الکتریسته (عضو نگهدار نوری، کلید و پریز، آنتن و انواع عایق موتور و ژنراتور برق)، صنایع ورزشی، تفریحی و بهداشتی (زیردوشی، وان و ...)، تزئیناتی (چوب پلاستیک)، کشتی‌سازی، صنایع نظامی (پنل و کلاه ضدگلوله، انواع پرتابه‌های نظامی، عایق‌های فداشونده و ...). در حال حاضر آمار دقیقی از میزان تولید و مصرف کامپوزیت‌ها در ایران موجود نیست. اما طبق گزارش گروه کامپوزیت پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران میزان مصرف به طور متوسط سالانه ۳۹٪ رشد داشته است.

۲. کاربرد گرافن در کامپوزیت‌های پلیمری

درصد کمی از گرافن درون ماتریس پلیمر می‌تواند به طور قابل توجهی استحکام و سختی آن را بهبود بخشد و در پلیمر رسانایی گرمایی ایجاد کند. کامپوزیت‌های پلیمری مبتنی بر گرافن خواص مکانیکی، حرارتی، برید گاز، الکتریکی و بازدارنده شعله خوبی از خود نشان داده‌اند. خواصی از گرافن که با کاربرد آن در کامپوزیت‌های پلیمری مرتبط هستند، در جدول زیر ارایه شده است.

جدول ۲۷- خواص جذاب گرافن در کامپوزیت‌ها و کاربردهای مورد هدف هر یک

خواص		کاربردهای مورد هدف
خواص مکانیکی	✓ افزایش قابل توجه در مقاومت فشاری ✓ استحکام شکست بالا در حدود ۱۳۰ GPa ✓ کشش شکست بالای ۲۵٪	✓ کاربردهای ساختاری برای لوازم ورزشی، هوانوردی، هوافضا ، خودرو، نظامی

	✓ جذب انرژی ضربه ✓ استحکام کششی ✓ مدول بالا در حدود ۱ TPa	
خواص الکتریکی و الکتروشیمیایی	✓ رسانایی الکتریکی بهبود یافته ✓ تحرک پذیری الکترون به بزرگی cm2/V.s ۱۵،۰۰۰ ✓ آنتی استاتیک ✓ محافظ رعد و برق و تداخل و سازگاری الکترومغناطیسی (EMI/EMC)	✓ EMI، آنتی‌استاتیک‌ها، الکترو ماشین‌کاری
خواص گرمایی	✓ رسانایی گرمایی بالا (۴۸۴۰–۵۳۰۰ W/m.K) ✓ رسانایی گرمایی بهبودیافته در محتوی گرافن بالا (۲۰ درصد)	✓ ضریب اتلاف حرارت آن موجب جلوگیری از عدم تطابق گرمایی در تجهیزات الکترونیکی بر پایه سیلیکون است. ✓ جایگزین فلز برای مبدل‌های حرارتی که مقاومت به خوردگی و وزن کم مورد نیاز است.
خواص فیزیکی	✓ مقاوم در برابر نفوذ ✓ سطح ویژه بالا (m^2/g ۲،۶۰۰)	✓ بریر گاز در بسته‌بندی ✓ کاتالیز

بر اساس خواصی که گرافن می‌تواند در کامپوزیت ایجاد کند، می‌توان کاربردها را در چهار گروه دسته‌بندی کرد که در ادامه تشریح می‌شود:

۱،۲. کامپوزیت‌های با استحکام بالا

بهبود خواص مکانیکی ماتریس‌های پلیمری، استفاده از این مواد را در صنایع مرتبط با حمل و نقل میسر می‌سازد، به ویژه در خودروهای پیشرفته، که مقاومت مکانیکی زیاد، وزن کم و خواص زیستی مناسب برای مصرف سوخت به صرفه مورد نیاز است. برخی حوزه‌های کربرد این کامپوزیت‌ها در ادامه ارایه می‌شود.

هوا فضا: در بازارهای اتومبیل و هوافضا نیاز به توسعه مواد چند کاره است که ساختار، رسانایی حرارتی و مقاومت در برابر محیطهای مختلف را بهبود ببخشند. تقاضای بخش خودروسازی و هوافضا برای قطعات قوی و با کیفیت بالا در حال افزایش است. کاربردهای گرافن که در بخش هوافضا شناخته شده‌اند عبارتند از:

- ✓ کامپوزیت‌هایی برای اجزای ساختاری سبک وزن
- ✓ کامپوزیت‌های رسانای الکتریسیته و پوشش‌هایی برای جایگزینی شبکه مسی مورد استفاده برای محافظت سازه هواپیما از صاعقه و در نتیجه آن کاهش قابل ملاحظه وزن
- ✓ پوشش‌های محافظ EMI
- ✓ پوشش‌های ضد یخ
- ✓ پوشش‌های ضد خوردگی
- ✓ پوشش‌های مقاوم در برابر آتش

خودرو: محتمل‌ترین حوزه کاربرد کامپوزیت‌های گرافنی، پتانسیل آن‌ها برای جایگزینی الیاف کربن است. کاربردهای گرافن که در بخش خودروسازی شناخته شده‌اند عبارتند از:

- ✓ کامپوزیت‌های رسانا
- ✓ باتری‌های لیتیم–یون مورد استفاده در وسایل نقلیه برقی
- ✓ الکترود پیل‌های سوختی و ابرخازن‌ها
- ✓ پوشش‌های بریر حرارت
- ✓ پوشش‌های مقاوم در برابر سایش

- ✓ رنگ‌های EMI، ESD و RFI
- ✓ چسب‌های رسانا
- ✓ پوشش‌های رسانای الکتری‌س‌ی‌ته
- ✓ روکش‌های بیرونی خودرو
- ✓ مواد مقاوم در برابر آتش

انرژی بادی: بازار انرژی بادی در دو دهه گذشته رشد تصاعدی داشته است و تلاش‌ها برای توسعه مواد مقرون به صرفه با قدرتت بالاتر نسبت به جرم برای پره‌های توربین‌های بادی ادامه دارد. محرک‌های اصلی برای طراحی پره‌های توربی‌ن بادی جدی‌د خواص خستگ‌ی (زمان عمر) و نسبت‌های سخت‌ی به وزن (ان‌حراف نوک) است. نانو کامپوزیت‌های پل‌ی‌مری CNT برای مواد پره‌های توربین بادی به دلیل خواص مکانیکی، الکتریکی، حرارتی و برید خوب توجه زیادی را به خود جلب کرده است.

۲،۲. کامپوزیت‌های رسانا

رسانایی زیاد و نسبت طول به عرض ذاتی گرافن، دستیابی به آستانه تراوایی الکتریکی را در کسر وزنی‌های کمتر در مقایسه با دوده و نانولوله‌های کربنی چنددیواره ممکن ساخته است. این رسانایی کاربرد نانوکامپوزیت‌های پلیمرهای رسانا را از حسگرها تا موادی با قابلیت تخلیه الکتروستاتیکی و مواد محافظ و مداخله‌گر امواج الکترومغناطیسی و الکترودها گسترش می‌دهد.

حسگرها: حسگرها می‌توانند از موادی با گستره وسیعی از رسانایی تولید شوند، از کامپوزیت‌های پلیمری با رسانایی نزدیک به مقدار آستانه تراوایی تا نانوکامپوزیت‌های پلیمری رسانای الکتریسیته که قابلیت کاربرد در تولید حسگرهای گاز، pH، فشار یا دما را دارند.

نانوکامپوزیت‌های رسانا معمولا رسانندگی گرمایی مثبت دارند و مقاومت گرمایی آن‌ها با ازدیاد دما افزایش می‌یابد. هر چند یک پژوهش جدید، رفتاری مخالف این مطلب یعنی رسانندگی منفی را در نانوکامپوزیت‌های پلی وینیلیدین فلوئورید پر شده با گرافن را نشان می‌دهد. این نتیجه غیرمنتظره به دلیل زیاد بودن نسبت طول به عرض صفحات گرافنی در مقایسه با نانوذرات گرافیت است که منتج به غلبه مقاومت در برابر رسانایی می‌شود. چنین رسانندگی گرمایی منفی در حسگرهای گرمایی تجاری موجود، که در آن‌ها مقاومت‌های گرمایی از مواد سرامیکی ساخته می‌شوند، مورد نیاز است. به همین دلیل، این نانوکامپوزیت‌ها می‌توانند به عنوان یک فناوری جایگزین به جای مقاومت‌های گرمایی سرامیکی استفاده شوند.

در تحقیقاتی یک حسگر سه بعدی از گرافن با استفاده از فرایند لیتوگرافی تهیه کردند و قابلیت این ماده را برای تشخیص آنزیم‌های حاوی فنول مطالعه کردند. آن‌ها نشان دادند، این گونه حسگرها قابلیت بسیار زیادی در تشخیص آنزیم‌های یاد شده دارند و دلیل آن را به سطح ویژه زیاد گرافن و رسانایی الکتریکی زیاد آن نسبت دادند. همچنین در تحقیقات دیگری گونه‌ای جدید از حسگرهای حساس به رطوبت را با استفاده از ترکیب گرافن با پلی‌پیرول در مقادیر متفاوت از گرافن تهیه کردند. نتایج پژوهش‌های آنها نشان داد، حسگرهای حاوی ٪ ۱۰ وزنی گرافن نسبت به سایر حسگرها حساسیت بیشتری داشته و زمان پاسخی در حدود s ۱۵ تا s ۲۰ دارد.

مواد تخلیه الکتروستاتیک و محافظ امواج الکترومغناطیسی تداخلی: مشخصه مواد تخلیه الکتروستاتیک (ESD)، مقاومت سطحی بین ۱۰۱۲ و Ω ۱۰۵ است. در حالی که مواد محافظ الکترومغناطیسی تداخلی (EMI) باید مقاومتی کمتر از Ω ۱۰۵ داشته باشند. کاربرد مواد محافظ الکترومغناطیسی تداخلی و تخلیه الکتروستاتیک از پوشش‌های پارچه‌ای کف و بسته‌بندی وسایل الکترونیکی تا آنتن‌های ارتباط راه دور، قطعات تلفن همراه و پوشش‌های محافظ فرکانس در هواپیماها و وسایل الکترونیکی گسترده شده است. کارایی محافظت الکترومغناطیسی تداخلی قبلا در نانوکامپوزیت‌های اپوکسی تقویت شده با گرافن اصلاح شده اندازه‌گیری شده است. این مقدار موفق به کسب درجه مناسب برای کاربردهای تجاری (در حدود dB ۲۰ در نوار X) برای جزء وزنی ۱۵ درصد از گرافیت اکسید کاهش یافته با هیدرازین شد. همچنین در تحقیقات دیگری فیلم‌های کامپوزیتی متشکل از اتیلن وینیل استات و گرافن تهیه کردند و قابلیت آن‌ها را برای کاربرد در زمینه پوشش‌های مداخله‌گر امواج الکترومغناطیسی مطالعه کردند.

الکترودها: بیشترین بررسی‌های انجام شده در راستای کاربرد گرافن اصلاح شده شیمیایی و گرافن به عنوان الکترود در باتری‌های لیتیمی، ابرخازن‌ها، سلول‌های خورشیدی آلی و دستگاه‌های نشر میدانی بوده است. در حال حاضر کربن فعال شده در اکثر ابرخازن‌های تجاری موجود یا خازن‌های الکتروشیمیایی دولایه به دلیل مساحت سطح زیاد و رسانایی الکتریکی به عنوان الکترود به کار می‌رود. یک روش برای بهبود عملکرد این الکترودها، ترکیب نانوذرات پرکننده پایه کربنی با موادی مانند پلیمرهاست. پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، ظرفیت خازن ویژه در بازه ۱۲۰ F/g برای گرافن- پروپیلن کربنات با استفاده از تتراتیل آمونیوم تترافلوئوروبورات به عنوان یک الکترولیت و ظرفیت خازن در حدود ۴۰۸ F/g برای یک نانوکامپوزیت پلی آنیلین پر شده با گرافیت اکسید کاهش یافته به روش ریزموج در مجاورت سولفوریک اسید به عنوان الکترولیت را نشان می‌دهد. اخیرا ترکیبی از گرافیت اکسید کاهش یافته با هیدرازین و نانولوله کربن در پلی آنیلین ظرفیت ویژه برابر با ۱۰۳۵ F/g در پتاسیم هیدروکسید به عنوان الکترولیت نشان داده‌اند. افزون بر این، سامانه دوگانه نانولوله کربن-گرافن اصلاح شده شیمیایی پایداری طولانی‌تری را نشان داد که طی دوره ۱۰۰۰ بار شارژ و تخلیه بار، ظرفیت خازن ٪ ۶ از مقدار اولیه کاهش نشان داده است.

فیلم‌های شفاف رسانا در وسایل الکترونیکی بسیاری مثل سلول‌های خورشیدی، صفحات نمایشگر لمسی، نمایشگرهایی با سطوح تخت و... کاربرد دارند. بدین منظور،گرافن به دست آمده از روش ته‌نشینی بخارهای شیمیایی، روی بستری از فلز سنتز می‌شود. سپس روی سطح فیلم‌های شفاف از جنس پلی دی متیل‌سیلوکسان یا پلی اتیلن ترفتالات منتقل می‌شود. این روش باعث ایجاد صفحه فیلم با مقاومت کمتر برای مقادیر مشابه شفافیت در مقایسه با گرافن اصلاح شده شیمیایی شده و فناوری‌های فعلی را از رده خارج کرده است. این فیلم‌ها در سلول‌های خورشیدی، ترانزیستورهای اثر میدانی و صفحات لمسی استفاده شده‌اند. در این حالت، می‌توان فیلم‌های شفاف گرافن اصلاح شده با روش‌های متعددی مثل قالب‌گیری چرخشی، ریخته‌گری، لایه‌نشانی با ضخامت زیاد و چیدمان با روش لانگمور را به آسانی تولید کرد. اگرچه مقاومت سطح فیلم‌های گرافن اصلاح شده به دلیل وجود عاملیت‌های سطحی و نقص‌ها به طور قابل توجهی بیشتر از گرافن تولیدی از روش ته‌نشینی بخارهای شیمیایی است، پیش بینی می‌شود که شکل‌پذیری بهتری داشته باشند. هرچند اخیرا در تحقیقاتی با استفاده از روش غلتک‌رانی، مشابه روش چاپ روزنامه، برای انتقال گرافن حاصل از ته‌نشینی بخارهای شیمیایی به بسترهای متفاوت، موفق به ایجاد روشی مناسب برای افزایش فرایندپذیری و تولید فیلم‌های گرافنی حاصل از ته‌نشینی بخارهای شیمیایی در مقیاس زیاد شدند.

۳،۲. کامپوزیت‌های حرارتی

افزودن نانوذره گرافن به فوم‌های پلیمری به طور همزمان خواص مکانیکی، خواص محافظتی در برابر امواج الکترومغناطیسی، عایق‌بندی صوتی و اشتعال‌پذیری را بهبود می‌بخشد. این نانوذره هنگامی که در زیست پزشکی استفاده می‌شود، خواص فوم‌های پلیمری پرشده یا داربست‌های سلول اصلاح شده را ارتقا می‌دهد که به درمان‌های پزشکی مربوط می‌شوند. بررسی‌ها نشان داده است، گرافن لایه لایه شده گرمایی در فوم‌های پلیمری سبب بهبود همزمان استحکام فشاری با افزایش بیش از ۲۰۰ درصد در مدول نرمال و پایداری گرمایی با افزایش حدود 60 °C در دمای تخریب، با جزء وزنی کمتر از ۰/۲۵ درصد وزنی است. مقایسه‌ای بین گرافیت اکسید لایه لایه شده گرمایی و نانولوله کربن نشان داد، گرافن اصلاح شده افزایش بیشتری را در زمینه پایداری گرمایی فوم‌ها ایجاد می‌کند. این موضوع به محبوس کردن بیشتر زنجیرهای پلیمری در ساختار لایه‌ای و برهم‌کنش قابل ملاحظه بین گرافن و پلیمر نسبت داده شده است. این نتیجه می‌تواند کاربرد گرافن اصلاح شده به عنوان پرکننده ضدشعله را در ذهن ایجاد کند، زیرا نانولوله کربن با بهبود پایداری گرمایی مشابه، یک شبکه محافظ در طول ساختار سلولی ایجاد می‌کند که موجب به وجود آمدن یک سامانه خود خاموش شونده می‌شود.همچنین در تحقیقاتی، فوم‌های سیلیکون- گرافن را با استفاده از رسوبدهی فیلم سیلیکون روی فوم‌های گرافنی تهیه کردند و این نانوکامپوزیت‌های بسیار انعطاف‌پذیر را به عنوان آند در ساخت باتری‌های لیتیمی استفاده کردند.

۴،۲. کامپوزیت‌های محافظ نفوذ

کاربرد گرافن در ساخت فیلم‌های نازک به عنوان غشا، بسیاری از کاربردها از جمله فعالیت‌های مرتبط با جداسازی گازها با استفاده از غشا تا کاربردهایی در حوزه زیست پزشکی را فراهم می سازد. کوئین و همکاران غشاهایی را برای جداسازی گازها با استفاده از گرافن تهیه کردند. آن‌ها دریافتند، این غشاها قابلیت بسیار زیادی در جداسازی گازهای هیدروژن و متان دارند و از آن‌ها می‌توان برای رفع مشکلات زیست

محیطی کارآمد استفاده کرد. ساختار صفحه‌ای گرافن و گرافن اصلاح شده و نیز این قابلیت صفحات گرافنی بی نقص حاصل از روش شکافت میکرومکانیکی که حتی نسبت به گاز هلیم نیز نفوذناپذیر هستند، می‌تواند موجب بهبود تولید غشاهایی با نفوذپذیری گزینشی شود. بررسی‌های انجام شده روی فیلم گرمانرم پلی‌یورتان نشان داد، نفوذپذیری گرافن کاهش یافته به روش گرمایی و شیمیایی کمتر از لایه‌های اصلاح شده آلی رس در جزء وزنی‌های مشابه است. همچنین در تحقیقات دیگری، غشاهایی برای جداسازی کربن دی‌اکسید از مخلوط‌های گازی اکسیژن- کربن دی‌اکسید، نیتروژن- کربن دی‌اکسید و متان- کربن دی‌اکسید تهیه کردند. کارایی این غشاها برای جداسازی این گاز بسیار مناسب و بیشتر از توان جداسازی غشاهای ساخته شده با نانولوله‌های کربنی است.

۳. بازار جهانی کامپوزیت‌های پلیمری

۱،۳. اندازه بازار

ارزش بازار جهانی رزین‌های ترموست تا سال ۲۰۲۰ در حدود ۲۰-۱۹ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود. گرافن می‌توانند در ۹۰ درصد این بازار (بخش پلی استر و رزین‌های اپوکسی) کاربرد داشته باشند، که مقداری در حدود ۹ میلیون تن می‌شود. افزودن ۲ درصد وزنی گرافن پتانسیل بازاری با اندازه تقریبی ۱۸۰ هزار تن دارد.

جدول ۲۸- اندازه بازار کامپوزیت‌های حاوی نانو مواد کربنی

بازار	اندازه بازار (تن)
کامپوزیت‌های هوا فضا	۱۵۰۰۰-۱۳۰۰۰ (۶۰ درصد حمل و نقال هوایی تجاری)
توربین‌های بادی	۲۰۰۰۰-۱۵۰۰۰
کامپوزیت‌های خودروسازی	۵۰۰۰

۲،۳. توسعه‌دهندگان محصول

توسعه‌دهندگان محصول در زمینه کامپوزیت‌های پلیمری در جدول زیر ارایه شده است.

جدول ۲۹- شرکت‌های فعال در حوزه توسعه کامپوزیت‌های پلیمری مبتنی بر گرافن

شرکت	فعالیت
Advanced Graphene Products	این شرکت ورقه‌های گرافنی مونو و پلی کریستالاین را با استفاده از روش HSMG برای کاربردهای کامپوزیت تولید می‌کند.
BGT Materials	این شرکت روشی دوستدار محیط زیست برای تولید اکسید گرافن ابداع کرده است. کاربردهای آن در فیلم‌های برپر برای بسته بندی مواد غذایی است که مقدار اکسیژن بسیار کمی را عبور می‌دهند.
Direct-Plus	این شرکت قراردادی را با شرکت Vittoria برای چرخ‌های دوچرخه با استفاده از گرافن امضاء کرده است.
Fujitsu Laboratories	این شرکت کاربردهای متنعدی را برای نانو مواد مبتنی بر کربن توسعه داده است که از جمله آن‌ها کامپوزیت‌های نیمه هادی گرافن-نانو لوله کربن هستند.
Grafen Chemical	این شرکت با استفده از گرافن شرکت Angstron Materials، کامپوزیت‌های پلی‌مری محافظ الکترومغناطی‌س‌ی تول‌ی‌د می‌کند.
Graphendo	این شرکت اکسید گرافن را برای کاربرد در کامپوزیت‌ها تولید می‌کند.
Haydale	این شرکت با همکاری EPL رزین‌های اپوکسی گرافنی برای استفاد در کامپوزیت‌های سبک تول‌ی‌د می‌کند.
Hexcel Composites	این شرکت از گرافن در کامپوزیت‌های صنای‌ع هوا فضا استفاده می‌کند.۱

شرکت	فعالیت
Nanosperse LLC	این شرکت پلیمرهای کامپوزیتی مبتنی بر نانو مواد عاملدار شده تولید می‌کند، شامل نانو پلاکت‌های گرافن‌ی برای کاربردهایی که هم احتی‌اج به رسنایی گرمایی دارند هم رسانایی الکتری‌ک‌ی.
Ovation Polymers	این شرکت محصصول ExTima™ GP را که خانواده از مستربچ‌های گرافن/پلیمر است تولید می‌کند.
Vorbeck Materials	این شرکت قرارداد بزرگی با شرکت BASF AG برای توسعه کامپووزیت‌های پلیمری امضاء کرده‌است.
Xiamen Knano Graphene	این شرکت یکی از تامین کنندگان نانوپلاکت‌های گرافنی سری KNG ™ است که یک افزودنی برای مواد کامپوزیتی است.
XG Sciences,Inc.	این شرکت با همکاری Oak Ridge National Laboratory (ORNL) یک برنامه بزرگ برای توسعه کامپوزیت‌های گرافن-تیتانیوم دارد.
Xolve, Inc.	این شرکت گرافن لایه‌برداری شده برای استفاده در کامپوزی‌ت‌های پل‌ی‌مری تول‌ی‌د می‌کند.

۳،۳. چالش‌های بازار

گرافن با چالش‌های متعددی برای کاربرد در کامپوزی‌ت‌های پل‌ی‌مری از نظر خصوصیات، طراحی، فرایند و افزایش مقیاس مواجه است. به دست آوردن پراکندگی مناسب گرافن در کامپوزیت‌ها مشکل است. همچنین مشکلاتی برای توزیع یکنواخت گرافن در پلیمر و اتصال گرافن و ماتریس پلیمر وجود دارد. عدم حلالیت گرافن / گرافیت خالص در آب و حلال‌های آلی رایج استفاده کاربردی از آن را محدود می‌کند.

همچنین نیاز به توسعه تکنیک‌های موثر و قابل اعتماد برای تحقق بخشیدن کاربردهای گسترده در کامپوزیت‌ها است. تولید مقادیر زیاد با کیفیت بالا یک چالش است. برای تجاری سازی موفق، گرافن باید برای عملکرد بهتر و تولید ایمن در مقیاس مناسب مهندسی شود.

فصل هشتم
ذخیره انرژی

مقدمه

توسعه انرژی پاک و تجدیدپذیر برای پاسخگویی به تقاضای درحال افزایش جهان (پیش‌بینی می‌شود تقاضا برای انرژی تا سال ۲۰۵۰، دو برابر شود) که در نتیجه افزایش جمعیت و رشد اقتصادی در کشورهایی مانند چین و برزیل است امری حیاتی می‌باشد. کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، گرمای جهانی و آلودگی نیز بسیار مهم می‌باشند. در نتیجه، محرکی برای فناوری‌های جدید برای ذخیره انرژی (باتری‌ها و ابرخازن‌ها) و تبدیل انرژی (سلول‌های خورشیدی و پیل‌های سوختی) وجود دارد. از آنجایی که عملکرد این فناوری‌ها بستگی به موادی دارد که از آن استفاده شده است، نانو مواد این انگیزه را برای نوآوری در محصولات ایجاد می‌کند. مطالعات زیادی پتانسیل هیبریدهای نانوکامپوزیت گرافن را برای بهبود عملکرد دستگاه‌های ذخیره و تبدیل انرژی (مانند باتری‌های لیتیم یون، ابرخازن‌ها، پیل‌های سوختی، و سلول‌های خورشیدی) نشان داده است.

گرافن خواص منحصر به فردی مانند سطح ویژه بالا، پایداری شیمیایی خوب و رسانایی الکتریکی عالی دارد. این خواص گرافن را جایگزینی عالی به عنوان بستر کاتالیست برای کاربردهای تبدیل و ذخیزه می‌کند. گرافن هنگامی که در الکترود باتری‌های لیتیم یون به کار رود، می‌تواند عملکرد آن‌ها را بهبود ببخشد. از آنجایی که گرافن سطح زیادی برای ذخیره هیدروژن دارد، پتانسیل آن به عنوان ماده ذخیره کننده هیدروژن نیز درحال بررسی است. در حال حاضر بیشترین فعالیت به استفاده از گرافن به عنوان افزودنی در باتری‌های لیتیم یون و ابرخازن‌ها معطوف شده است. همچنین شرکت‌های مطرح در حال تحقیق برای استفاده از گرافن به عنوان جایگزین اکسید قلع ایندیم (ITO)[1] در سلول‌های خورشیدی هستند.

[1] Indium Tin Oxide

جدول ۳۰- گرافن در کاربردهای بازار انرژی، مرحله تجاری شدن و حجم بازار

بازار	کاربردها	مرحله تجاری شدن	حجم بازار جهانی
انرژی	افزودنی‌های باتری‌های لیتیم –یون	۳-۴	بازار کاتد: ۲/۵ میلیارد دلار بازار آند: ۰/۸ میلیارد دلار
	ابرخازن‌ها	۳-۴	۱-۰/۵ میلیارد دلار
	پیل‌های سوختی	۱-۲	کمتر از ۱۰۰ میلیون دلار
	فتوولتاییک‌ها	۱-۲	بیش از ۱ میلیارد دلار

۱. باتری

۱،۱. معرفی باتری

باتری یا پیل الکتریکی (ولتاییک) منبعی از انرژی پتانسیل الکتریکی است که در درون آن با انجام واکنش‌های شیمیایی، انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود، این انرژی در قطب‌های باتری قابل دریافت است. انرژی قابل دریافت در قطب‌های باتری به ازای واحد بار الکتریکی را، نیرو محرکه الکتریکی باتری می‌گویند و آن را با یکای ولت اندازه‌گیری می‌کنند. در تصویر زیر شمای کلی ساختمان یک باتری نشان داده شده است.

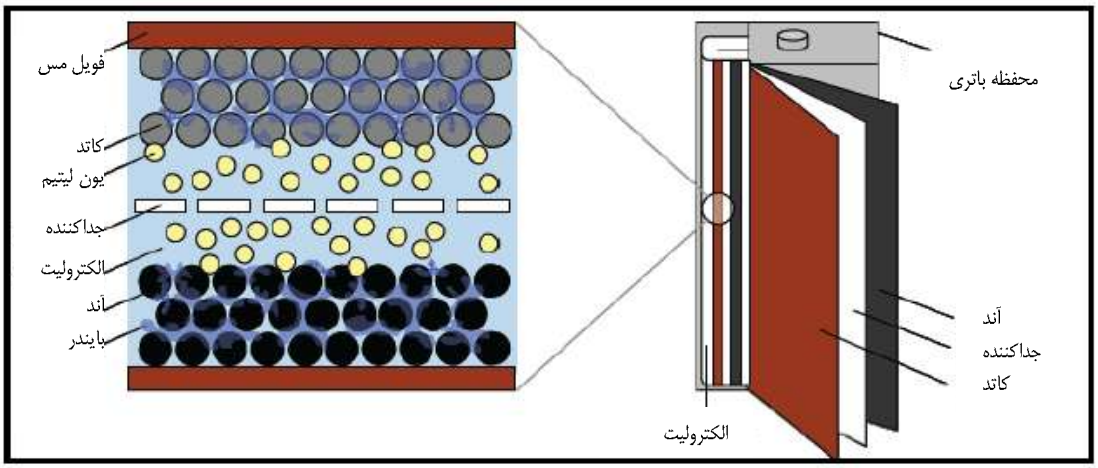


تصویر ۳۶- شمای کلی ساختمان یک باتری

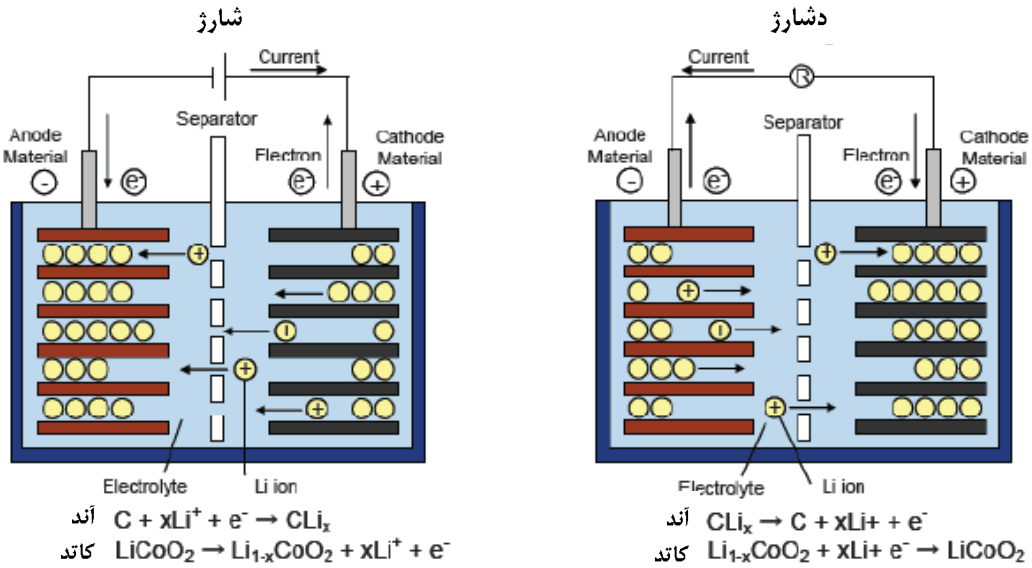
۱،۱،۱. اجزای باتری

به طور کلی هر باتری از سه بخش اصلی الکترود مثبت، الکترود منفی و الکترولیت تشکیل شده است. در باتری‌های لیتیم–یون، الکترود مثبت یا کاتد از یک ترکیب لیتیم (غالبا ترکیبات فلزی پایه لیتیمی مانند لیتیم کبالت اکسید) و الکترود منفی یا آند از کربن (مانند گرافیت) ساخته شده و یک لایه جدا کننده (غشاء پلیمری) در بین آن‌ها قرار دارد تا از اتصال کوتاه بین الکترودها جلوگیری کند. نمایی از یک باتری لیتیمی در شکل زیر نمایش داده شده است. الکترولیت در باتری‌های لیتیمی نیز از نمک لیتیم (مانند LiPF6) در یک حلال آلی ساخته شده است، که یون‌های لیتیم را قادر می‌سازد، تا در حین فرآیند شارژ و دشارژ انتقال پیدا کنند. استفاده از حلال آلی در نقش الکترولیت به دلیل اشتعال زا بودن، نیازمند انجام پاره‌ای از اقدامات ایمنی است. اقدامات ایمنی و همچنین موارد دیگری که برای بهبود عملکرد باتری‌های لیتیمی

به کار گرفته می‌شوند، مهندسی ساختار الکترولیت را بسیار پیچیده می‌نماید. الکترولیت در این باتری‌ها از مجموعه‌ای از مواد تشکیل شده که هر کدام وظیفه خاص خود را دارند. علاوه بر موارد فوق، باتری‌های لیتیمی مجهز به مدارهای الکترونیکی محافظ و فیوزهایی جهت جلوگیری از عکس شدن قطبیت، اعمال ولتاژ بیش از حد، گرم شدن بیش از حد و موارد ایمنی دیگر هستند.



تصویر ۳۷- ساختار اصلی باتری‌های لیتیم-یون

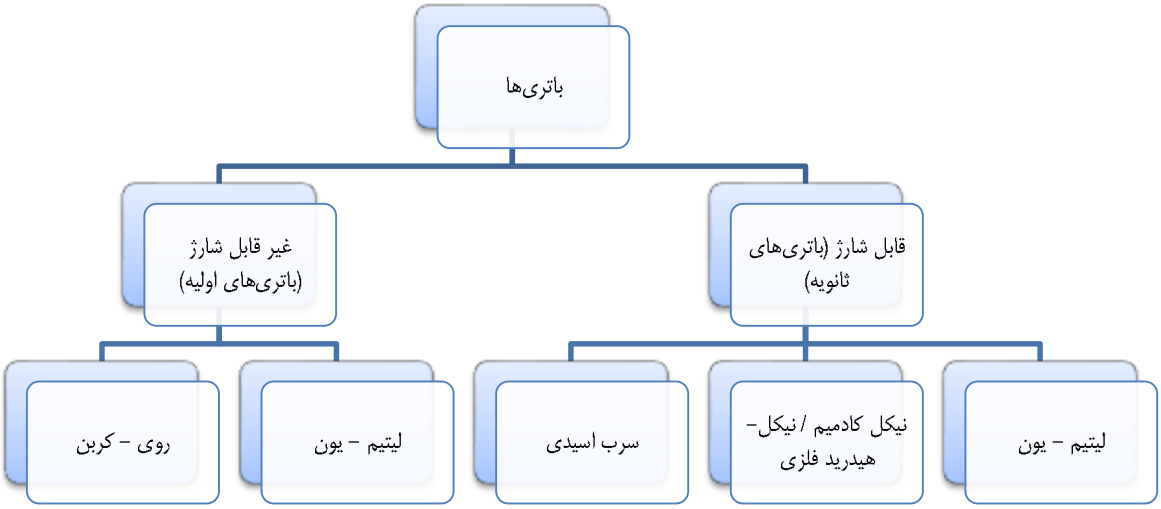


تصویر ۳۸- مکانیزم شارژ و دشارژ باتری‌های لیتیم-یون

۲،۱،۱. انواع باتری

بر اساس شرایط محیطی و شرایط الکتریکی مورد استفاده، باید از باتری‌های متفاوتی استفاده کرد. باتری‌ها را می‌توان از نظر ظاهر، نوع کاربرد و مشخصات آن‌ها به دسته‌های مختلفی تقسیم کرد، ولی در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان باتری‌ها را به دو دسته قابل شارژ و غیر قابل شارژ تقسیم کرد.

باتری‌های غیر قابل شارژ، قادر به شارژ الکتریکی نبوده و یکبار استفاده و دشارژ می‌شوند. باتری‌های غیرقابل شارژ، سلول‌های خشک (باتری خشک) نیز نامیده می‌شوند. از سوی دیگر توسعه وسایل الکترونیکی مانند گوشی‌های تلفن همراه و لب تاپ‌ها تقاضا را برای باتری‌های قابل شارژ افزایش داده است که در این میان باتری‌های لیتیم-یون از دیگر انواع باتری‌ها، عملکرد و بازده مناسب‌تری را از خود نشان داده است و بیشترین تولید را در میان دیگر انواع باتری‌ها دارند.



نمودار ۲۴- انواع باتری

۲،۱. کاربرد گرافن در باتری

یکی از کاربردهای گرافن در **باتری‌های لیتیم-یون** است. این باتری‌ها بسیار گران‌تر از باتری‌های قابل شارژ دیگر هستند. فناوری استخراج لیتیم گران بوده، نگهداری و ذخیره سازی آن مشکل است و همچنین این فلز از سایر فلزات هم گروه خود کمیاب‌تر می‌باشد. با روند فعلی مصرف لیتیم و افزایش تقاضای آن، محققان پیش‌بینی می‌کنند که ذخایز آن قبل از سال ۲۱۰۰ به پایان می‌رسد. علاوه بر آن باتری‌های لیتیم یون دارای مشکلات زیر می‌باشند:

- ✓ به سرعت شارژ نمی‌شوند.
- ✓ دانسیته انرژی و چرخه عمر این باتری‌ها با وجود اینکه کاملا توسعه یافته‌اند، ولی هنوز ناکافی است.
- ✓ بازیافت آن‌ها سخت است.

مواد معمول الکترودهای باتری، هنگامی که با گرافن بهبود می‌یابند به میزان قابل توجهی ارتقاء پیدا می‌کنند. با گرافن می‌توان باتری‌هایی سبک، با دوام و مناسب برای ذخیره‌سازی انرژی با ظرفیت بالا و زمان شارژ کوتاه ساخت. گرافن طول عمر باتری را افزایش می‌دهد؛که این کار با مقدار کربن پوشش داده شده یا اضافه شده به الکترود برای رسیدن به هدایت لازم نسبت عکس دارد، و گرافن این هدایت را بدون نیاز به میزان کربن مورد استفاده در باتری‌های معمول ایجاد می‌کند. خواصی از گرافن که برای کاربرد در باتری‌های لیتیم یون جذاب است عبارتند از:

- ✓ رسانایی ذاتی بالا
- ✓ سطح ویژه بزرگ
- ✓ سطح خنثی
- ✓ نسبت ابعادی بزرگ

گرافن می‌تواند ویژگی‌های باتری، نظیر دانسیته انرژی و شکل آن را به شیوه‌های مختلف بهبود بخشد. باتری‌های لیتیم-یون می‌توانند با افزودن گرافن به آند باتری و سرمایه‌گذاری در رسانایی مواد و ویژگی‌های مساحت سطح بزرگ برای بهینه‌سازی مورفولوژی و عملکرد بهبود یابد. همچنین ساخت مواد هیبریدی برای بهبود باتری می‌تواند مفید باشد. برای مثال هیبریدی از وانادیوم اکسید و گرافن، می‌تواند در کاتدهای باتری لیتیم-یون مورد استفاده قرار گیرد و شارژ سریع و دوام زیاد چرخه شارژ را به ارمغان آورد. در این مورد، وانادیوم اکسید، ظرفیت انرژی زیاد، اما رسانایی الکتریکی کمی دارد؛ که می‌تواند با استفاده از گرافن به عنوان یک نوع ستون فقرات ساختاری که به وانادیوم اکسید متصل شده است و تشکیل یک ماده هیبریدی که هم ظرفیت بالا و هم هدایت بسیار عالی دارد، مشکل آن برطرف گردد. مثال دیگر باتری‌های لیتیم آهن فسفات (LFP)[1] است، که یک نوع باتری قابل شارژ لیتیم-یون است. این باتری‌ها دانسیته انرژی کمتری از باتری‌های لیتیم یون دارند؛ ولی دانسیته قدرت (مقدار انرژی که می‌تواند توسط باتری تامین شود) بالاتری دارند. بهبود کاتدهای LFP با گرافن، موجب می‌شود که این باتری‌ها سبک وزن باشند، بسیار سریعتر از باتری‌های لیتیم-یون شارژ شوند و ظرفیت بیشتری از باتری‌های LFP معمول داشته باشند.

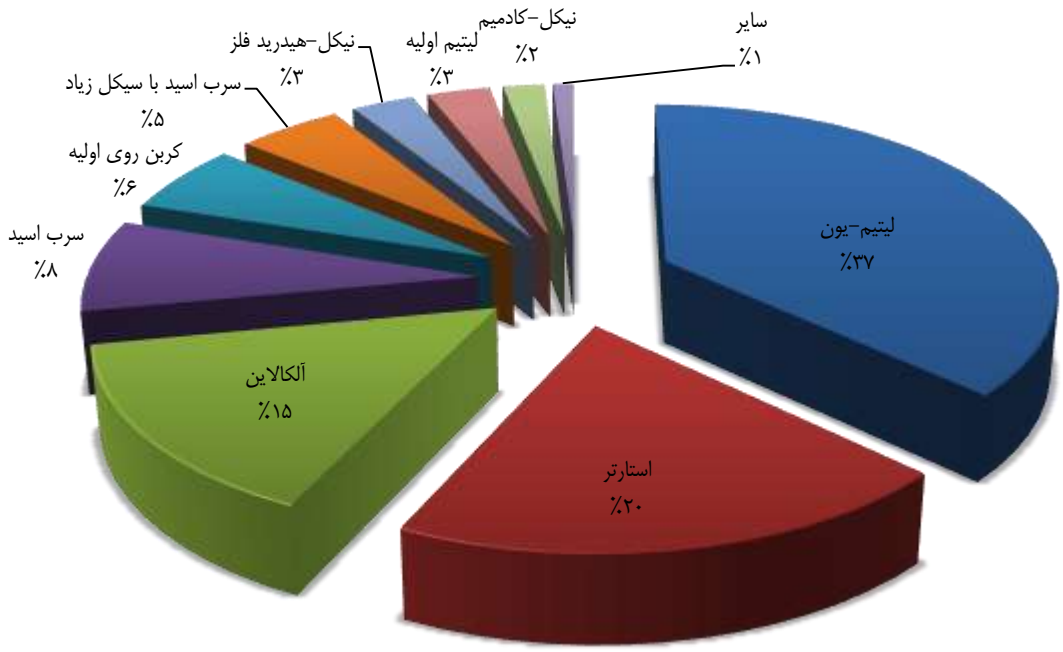
علاوه بر انقلابی در بازار باتری، استفاده ترکیبی از باتری‌های گرافنی و ابرخازن‌ها می‌تواند نتایج شگفت انگیزی داشته باشد، مانند بهبود محدوده رانندگی و بازده ماشین‌های الکتریکی.

۳،۱. بازار جهانی باتری

ارزش کلی بازار جهانی باتری در سال ۲۰۱۴ با رشد متوسط ۵ درصد در سال (۲۰۱۳-۱۹۹۰)، برابر ۶۰ میلیارد دلار بوده است. باتری‌های لیتیم-یون بیشترین سهم رشد در بازار جهانی باتری را داشته‌اند. کاربردهای اصلی این باتری‌ها در گوشی‌های موبایل و لپ‌تاپ‌ها است که ارزش این بازار در سال ۲۰۱۳ برابر ۱۲ میلیارد دلار (با نرخ متوسط رشد سالانه ۱۴٪ از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳) برآورد شده است. همچنین ارزش بازار آن در سال ۲۰۱۴ برابر ۱۳/۶ میلیارد دلار بوده است.

باتری‌ها را می‌توان از نظر شیمیایی دسته‌بندی کرد، که رایج‌ترین آن‌ها پایه لیتیمی، سربی و نیکلی هستند. شکل زیر نشان می‌دهد که ۳۷ درصد ارزش بازار مربوط به باتری‌های لیتیم-یون است.

[1] Lithium Iron Phosphate



نمودار ۲۵- ارزش بازار باتری‌های مختلف

انتظار می‌رود بازار جهانی باتری‌های لیتیم-یون تا سال ۲۰۲۰ و ۲۰۲۵ به ترتیب رشدی برابر ۶۵ و ۱۳۰ میلیارد دلار داشته باشد که این مقادیر در نتیجه افزایش تقاضای جهانی برای سیستم‌های بهتر ذخیره انرژی و رشد استفاده از وسایل نقلیه الکتریکی و دستگاه‌های الکتریکی مصرفی مانند گوشی‌های هوشمند، تبلت‌ها و لپ‌تاپ است.

ارزش بازار آند باتری‌های لیتیمی در سال ۲۰۱۴ با متوسط نرخ رشد سالانه ۱۴ درصد، برابر ۸۰۰ میلیون دلار بوده و حجم بازار آن تقریبا برابر ۵۷ هزار تن بود. بازار کاتد باتری‌های لیتیمی نیز در سال ۲۰۱۴، با متوسط نرخ رشد سالانه ۱۶ درصد، برابر ۲/۵ میلیارد دلار از نظر ارزشی و ۱۰۵ هزار تن از نظر حجمی بود. برای آندهای بر پایه نانو مواد کربنی، این قابلیت وجود دارد که ۲۰-۱۵ درصد بازار را از آن خود کنند.با وجود اینکه برای مواد کاتدی آینده امید بخشی برای ورود به بازار است، اما این بازار هنوز توسعه نیافته است.

۱،۳،۱. فعالیت‌های تجاری

شرکت‌های تولیدکننده گرافن نظیر Vorbeck Materials، XG Sciences، Graphene Nanochem، Angstron Materials، Perpetuus Carbon Group و Grafoid در حال توسعه فناوری باتری‌های لیتیم یونی هستند. در ژوئن ۲۰۱۴، شرکت امریکایی Vorbeck Materials محصول Vor-Power strap را معرفی کردند، که یک منبع انرژی سبک انعطاف‌پذیر است که می‌تواند به هر بند کیف موجود متصل گردد، تا یک ایستگاه شارژ سیار ایجاد کند (از طریق دو پورت USB و یک پورت micro USB). وزن این محصول ۴۵۰ گرم است و ۷،۲۰۰ میلی آمپر در ساعت انرژی فراهم می‌کند و احتمالا اولین باتری بهبود یافته با گرافن در جهان است.



تصویر ۳۹- باتری بهبود یافته با گرافن شرکت Vorbeck Materials

در می ۲۰۱۴، شرکت آمریکایی Angstron Materials تعدادی محصول گرافنی جدید را معرفی کرد. این محصولات، شامل یک خط از مواد آند بهبود یافته با گرافن برای باتری‌های لیتیم-یون است. این مواد باتری NANO GCA نامیده می‌شوند و قرار است منجر به یک آند ظرفیت بالا شود که قادر به ساپورت کردن صدها سیکل شارژ/دشارژ با ترکیب سیلیکون ظرفیت بالا و گرافن رسانا است. تحولاتی نیز، در زمینه باتری‌های گرافنی برای وسایل نقلیه الکتریکی صورت گرفته است، برای مثال Graphene Nanochem و Sync R&D در اکتبر ۲۰۱۴ برای همکاری در توسعه باتری‌های لیتیم-یون بهبود یافته با گرافن برای اتوبوس‌های برقی، تحت پروژه اتوبوس برقی ۱ مالزی برنامه‌ریزی کردند. در آگوست ۲۰۱۴، Tesla یک فناوری باتری جدید را پیشنهاد داد، که تقریبا ظرفیت ماشین برقی مدل S آنها را ۲ برابر می‌کند. این موضوع غیر رسمی است ولی دور از ذهن نیست که گرافن را در این موضوع دخیل دانست. گروه کربن شرکت Perpetuus و OXIS Energy در ژوئن ۲۰۱۴ توافق کردند، تا با همکاری هم الکترودهای پایه گرافن برای باتری‌های لیتیم-سولفور را توسعه دهند، که دانسیته انرژی بهبود یافته خواهد داشت و احتمالا ماشین‌های برقی قادر خواهند بود تا مسافت بسیار طولانی‌تری را با یک بار شارژ طی کنند.

دیگر سرمایه‌گذاری جالب توجه در سپتامبر ۲۰۱۴ توسط شرکت آمریکایی Graphene 3D Labs با برنامه‌ریزی برای چاپ سه بعدی باتری‌های گرافنی مطرح شد. این باتری‌های مبتنی بر گرافن به طور بالقوه عملکرد بهتری از باتری‌های تجاری فعلی داشته و در اشکال و اندازه‌های مختلف طراحی شده‌اند. دیگر شرکت‌های برجسته که نسبت به توسعه و تجاری‌سازی باتری‌های بهبود یافته با گرافن توجه نشان داده اند عبارتند از: Grafoid، SiNode به همراه AZ Electronic Materials، XG Sciences، Graphene Batteries به همراه CVD Equipment و CalBattery.

موضوع اصلی که تجاری شدن باتری‌های لیتیم یون گرافنی را به تعوق می‌اندازد، هزینه و ظرفیت واقعی این باتری‌ها است که از مقدار تئوری آن بسیار کمتر است.

۴،۱. بازار باتری‌های لیتیم-یون در ایران

۱،۴،۱. معرفی صنعت باتری در ایران

باتری‌های اسیدی برای مدت زمانی طولانی نقش مهمی را در صنایع اتومبیل و موتورسیکلت ایفا نموده‌اند. کاربردهای دیگر باتری‌های سرب اسیدی در سیستم‌های تامین برق اضطراری (UPS)، تجهیزات پزشکی و خودروهای برقی می‌باشد. این محصول همچنان بزرگترین بازار را در بین تجهیزات ذخیره ساز انرژی الکتریکی دارا می‌باشد.

از میان تمامی کاربردهای باتری‌های اسیدی، هنوز هم استفاده از آن‌ها برای راه اندازی خودروها و موتورسیکلت‌ها، کاربرد عمده است که نزدیک ۶۰٪ از بازار را به خود اختصاص می‌دهد. به دلیل دوره طولانی توسعه و تکنولوژی بالغ و با ثبات، بازار باتری‌های اسیدی در حال چرخش از تعقیب پیشرفت تکنولوژی به سمت رقابت بر سر قیمت و پایداری باتری می‌باشد.

پیش از انقلاب اسلامی تنها یک کارخانه تولید کننده باتری تحت نام باتری نیرو در کشور وجود داشت اما هم اکنون بیش از ۲۰ کارخانه در کشور انواع باتری خودرو و باتری‌های صنعتی تولید می‌کنند. این واحدها تقریبا با بهره گیری از ۶۰ درصد توان اسمی تولید خود، سهم ۸۰ درصدی از بازار باتری‌های خودرو در داخل کشور را دارند.

استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اصفهان، البرز، تهران، خراسان رضوی، زنجان، سمنان، سیستان و بلوچستان، قزوین، قم، گلستان و استان مرکزی در صنعت باتری فعال هستند. این صنعت توانسته با سرمایه گذاری حدود ۲۴۰ میلیون دلاری به صورت مستقیم وغیر مستقیم بیش از ۴۰ هزار شغل ایجاد کند، این درحالی است که تولید کنندگان داخلی تنها از ۶۰ درصد ظرفیت اسمی خود بهره می‌برند و میزان تولید کنونی حدود ۹ میلیون عدد در سال می‌باشد. ظرفیت اسمی تولید باتری در حال حاضر حدود ۱۵ میلیون عدد می‌باشد که با توجه به پروانه‌های تولید صادر شده توسط وزارت صنعت معدن و تجارت، تا ۱۸ میلیون عدد در حال افزایش است.

با توجه به تعداد خودروهای موجود در کشور که تا کنون بیش از ۱۶ میلیون دستگاه گزارش شده است و در نظر گرفتن متوسط عمر باتری خودرو در حدود ۲۰ ماه، میزان نیاز کشور در سال ۱۲ میلیون عدد برآورد می‌گردد که ۹ میلیون آن را تولید کننده داخلی در شرایط نابرابر تامین می‌کند و حدود ۶۰۰ تا ۷۰۰ هزار عدد آن از طریق مبادی رسمی و حدود ۲،۵ میلیون از آن به صورت قاچاق وارد کشور می‌شود. یکی از مشکلات مبارزه میدانی با پدیده قاچاق، عدم امکان تشخیص کالای وارداتی قانونی با کالای غیر قانونی است. طبق گزارش سال ۹۴ حدودا ۸۵۰۰۰۰۰ عدد باتری توسط واحدهای تولیدی داخلی به بازار عرضه گردیده و حدود ۵۰۰ هزار عدد نیز از مبادی قانونی وارد کشور شده است. (انجمن صنعت باتری و ذخیره سازهای ایران)

از طرفی در زمینه باتری‌های لیتیمی طرح کلان باتری‌های لیتیمی در راستای توسعه فناوری و به کارگیری این باتری‌ها در شبکه‌های برق (باتری‌های با توان چند مگاوات)، نیروگاه‌ها، انرژی پراکنده و خودروهای برقی و هیبریدی، صنایع مخابراتی و دفاعی در شورای عالی علوم، تحقیقات و فناوری به تصویب رسیده است.

امروزه سرمایه‌گذاری‌های بزرگی در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه در این زمینه صورت گرفته است به نحوی که اکثر کشورها برای سال ۲۰۲۰ میلادی قیمت $/ KWh۲۰۰–۱۲۵ را هدف‌گذاری کرده‌اند. برخی از این کشورها سالیانه بیش از ۲ میلیارد دلار در زمینه ارتقای فناوری و تولید باتری‌های لیتیمی سرمایه گذاری می‌کنند. توجه به این نکته مهم است که کشور باید در برنامه‌ای جامع و منسجم و باتوجه به ظرفیت‌ها و پتانسیل‌های خود در بازارهای بین المللی مزیت‌های نسبی در زمینه تولید ایجاد کند تا امکان تولید رقابتی فراهم شود.

همچنین بر اساس بررسی‌های کمیسیون تخصصی انرژی شورای عالی علوم تحقیقات و فناوری یکی از اولویت‌های حوزه انرژی در کشور بر اساس سیاست‌های اقتصاد مقاومتی ذخیره سازهای انرژی الکتریکی و باتری‌های پیشرفته لیتیمی است. پیش بینی می‌شود تا سه سال آینده این طرح تکمیل شود و تولید صنعتی باتری‌های لیتیمی متناسب با نیاز واقعی در کشور آغاز شود.

۲،۴،۱. بررسی مشتریان

جدول ۳۱- لیست شرکت‌های تماس گرفته شده

ردیف	نام شرکت/سازمان	حوزه فعالیت
۱	کارا باتری آریا	تولید باتری‌های لیتیمی
۲	گیتا باتری	ساخت و طراحی تجهیزات جانبی باتری
۳	شرکت توسعه منابع انرژی توان (صبا باتری):	تولید باتری‌های لیتیمی
۴	پژوهشگاه انرژی‌های نو دانشگاه امیرکبیر	–

شرکت کارا باتری آریا: آقای میرزایی مسئول تولید این مجموعه گفتند که اسفند ۹۳ کارخانه راه اندازی شده و اولین پک محصولات بیرون آمده است. به گفته ایشان کاتد و آند را از چین وارد می‌کنند و دو تکنولوژی برای ساخت باتری وجود دارد یکی compact و دیگری bellcore tecordia است که صبا باتری از اولی و این شرکت از تکنولوژی دوم استفاده می‌کند. وی پیچیده بودن تکنولوژی، تحریم‌ها و هزینه بالای راه اندازی آن را از مشکلات راه اندازی این خط تولید بیان کرد.

مهندس نوروزیانی مالک کارا باتری آریا بیان کردند که کاتد و آند این باتری‌ها به صورت نوارهای پوشش داده شده وارد می‌شود. آند پوششی از جنس گرافیت مصنوعی دارد و جنس پوشش کاتد آنها $LiCoO_2$ است. این کارخانه دو خط تولید دستی و تمام اتوماتیک دارد. در خط تولید دستی می‌توان باتری را به هر شکلی با توجه به قالب مورد نیاز مشتری تولید کرد که برای تولید کم مقرون به صرفه است و با ۴۰ نفر پرسنل روزی در حدود ۱۰۰۰ عدد باتری می‌تواند تولید نماید و به دلیل تیراژ پایین کمی قیمت آن بالا است. از طرفی در خط تولید اتوماتیک با ۶ نفر پرسنل ظرفیت تولید روزی در حدود ۲۰ هزار عدد است که توانایی تولید باتری‌هایی با ابعاد مشخص را دارد.

هزینه راه اندازی این کارخانه در حدود ۶ میلیون دلار بوده است. این مجموعه قصد دارد تا در آینده تولید کاتد و آند را هم شروع کنند ولی به گفته ایشان در حال حاضر مجموعه صبا باتری پوشش دهی را خودش انجام می‌دهد و باتری تولیدی آنها از نوع لیتیم–یون است.

باتری‌های لیتیم–پلیمر در مقایسه با باتری‌های لیتیم–یون مصرف الکترولیت بسیار کمتری دارند و از الکترولیت تنها برای فعال کردن باتری استفاده می‌شود. همچنین کارا باتری آریا خط تولید اتوماتیک الکترولیت را دارد ولی به یک شیمیست نیاز دارند تا بتوانند آن را راه اندازی کنند. در حال حاضر هم صبا باتری هم کارا باتری الکترولیت را با مشکلات فراوان از چین وارد می‌کنند. مشکل اصلی واردات الکترولیت شرایط خاص حمل و نقل آن است به طوری که هزینه حمل و نقل آن چندین برابر هزینه خود الکترولیت خواهد بود.

گیتا باتری: گیتا باتری در سال ۱۳۷۹ به مدیریت جناب آقای مهندس محسن خاکپور در حد سرویس دهی پکیج باتری و تحقیقات اولیه در کاربرد باتری شروع به فعالیت و در همان ابتدا چشم اندازهای سه ساله برای آینده خود برنامه ریزی و بعد از ۳ سال شروع به ساخت و طراحی تجهیزات جانبی باتری نموده است.

به گفته خانم احمدی، مسئول فنی، این شرکت وارد کننده باتری از کشورها و شرکت‌های مختلف است، آزمایشگاه باتری دارند و بیشتر در زمینه کاربرد باتری فعالیت دارند و با توجه به درخواست مشتری باتری مورد نیاز را تامین می‌کنند. همچنین صبا باتری برای آزمایش باتری‌های لیتیم–یون به آنها مراجعه کرده و به آنها پیشنهاد دریافت نمایندگی باتری‌های لیتیم یون را داده است ولی این مجموعه با توجه به نتیجه آزمایش‌ها اعلام کردند که کیفیت باتری تولیدی آنها از باتری‌های وارداتی پایین‌تر بوده و همچنین قیمت تولیدی آنها بیشتر است و به همین دلیل مدیریت مجموعه دریافت نمایندگی صبا باتری را نپذیرفت. همچنین وی بیان کرد که تنها تولید کننده باتری لیتیم یون در داخل صبا باتری است.

آقای خاکپور، مدیر گیتا باتری تنها تولید کننده داخلی اینگونه باتری‌ها را شرکت صبا باتری دانستند و گفتند این باتری‌های بازار خوبی دارند و در حال حاضر گیتا باتری سالانه در حدود ۲–۱ میلیون دلار فروش دارد. پیش بینی ایشان از کل بازار برای کاربردهایی مانند باتری موبایل، لپ تاپ و سایل نقلیه برقی (مانند دوچرخه، موتور و ماشین) در حدود ۴–۳ میلیون دلار در ماه است.

ظرفیت تولید یکی از خطهای تولید کارخانه‌ای در چین برابر روزی ۲۰۰ هزار سلول است و این کارخانه با ده خط تولید روزی دو میلیون سلول تولید می‌کند که این مقدار برابر با کل مقدار مصرفی کشور است. از طرفی با توجه به اینکه تیراژ تولید روی قیمت تمام شده اثر گذار است مشاهده می‌شود که قیمت باتری‌های قلمی تولید شده توسط شرکت پاناسونیک با ظرفیت ۳۴۰۰ میلی آمپر برابر ۱/۹۶ درلار است، درصورتی که قیمت باتری‌های قلمی تولید شرکت صبا باتری با ظرفیت ۲۲۰۰ میلی آمپر چیزی در حدود ۲ دلار می‌باشد که مشاهد می‌شود با توجه به تولید داخل بودن آن هم از ظرفیت کمتری و هم از قیمت بالاتری برخوردار است. با توجه به موارد ذکر شده هم به دلیل نقص در تکنولوژی تولید و عدم به روز رسانی آن و هم به دلیل قیمت تمام شده بالاتر به دلیل تولید در تیراژ پایین‌تر تولید انبوه این باتری‌ها در داخل کشور صرفه اقتصادی نخواهد داشت.

شرکت توسعه منابع انرژی توان (صبا باتری): شرکت توسعه منابع انرژی توان، با هدف پشتیبانی منسجم از نیروهای مسلح درحوزه انرژی و مشارکت در طرح‌های ملی مرتبط با انرژی در سال ۱۳۹۰ تاسیس شد. زیر ساخت این شرکت همان شرکت سهامی باتریسازی نیرو است که ده ها سال در ایران و جهان آن را با برند خوشنام صبا باتری می‌شناسند. حوزه فعالیت شرکت توسعه منابع انرژی توان به طور خلاصه عبارت است از تحقیق، طراحی و توسعه سامانه ها و آرایه های پی‌شرفته هیبریدی متشکل از سیستم‌های تولید انرژی، سیستم‌های ذخیره ساز و خدمات مدیریت مصرف انرژی.

طی جلسه‌ای که با دکتر دانش طلب مسئول توسعه محصول در این شرکت برگزار شد ایشان نیازمندی اصلی این شرکت در زمینه تولید باتری‌های لیتیم-یون را گرافیت گرید باتری دانستند و پیشنهاد دادند که به جای سرمایه گذاری در حوزه گرافن روی تولید گرافیت گرید باتری که نیاز بالفعل است سرمایه‌گذاری شود.

همچنین وی ظرفیت اسمی تولید این کارخانه را برابر ۵/۲ میلیون آمپرساعت عنوان کردند که میزان تولید واقعی آنها چیزی در حدود نصف ظرفیت اسمی آن می‌باشد.

پژوهشگاه انرژی‌های نو دانشگاه امیرکبیر: دکتر جوانبخت رئیس پژوهشگاه انرژی‌های نو دانشگاه امیرکبیر و مجری طرح کلان ملی «کسب دانش فنی، بومی‌سازی و تولید صنعتی باتری‌های لیتیومی در کشور»، بیان داشتند شرکت توسعه منابع انرژی توان خط تولیدی را از چین وارد نموده که در مقیاس نیمه صنعتی باتری‌های لیتیم-یون را تولید می‌کند و قرار است از این باتری‌ها برای تولید موتور سیکلت‌های برقی استفاده شود. در حال حاضر بیشتر از کربن یا گرافیت در تولید باتری استفاده می‌شود و هم در خارج و هم در داخل ایران روی جایگزینی آن با استفاده از گرافن تحقیقات زیادی در حال انجام است ولی این جایگزینی مشکلاتی دارد که محققان در حال برطرف کردن آن هستند. به طور کلی می‌توان گفت در صنعت باتری هر ده سال مواد مصرفی متحول می‌شوند.

همچنین درباره پیل سوختی بیان کردند که این تکنولوژی در ایران بازاری نداشته و بیشتر فعالیت‌ها تحقیقاتی است ولی سازمان بهینه سازی مصرف سوخت به زودی طرحی را در زمینه خرید تضمینی برق تولید شده توسط پیل سوختی ارائه می‌نماید که در این صورت بازار آن بهبود می‌یابد.

زنجیره ارزش باتری

تولید باتری از مراحل متعددی تشکیل شده است که هر کدام به صورت جداگانه و با استفاده از تجهیزات به خصوصی انجام می‌شود. مواد اولیه مانند لیتیم و گرافیت استخراج می‌شوند و سپس جهت بالا بردن خلوص و بدست آوردن ترکیبات خاص فراوری می‌شوند. از این مواد فراوری شده برای تولید الکترودها استفاده می‌شود، که اجزای اصلی سلول‌های باتری هستند. معمولا الکترودها و سلول‌ها در یک محل تولید می‌شوند. سلول‌ها به همراه سایر اجزا، به صورت یک پک کامل باتری سرهم می‌شوند.



جمع بندی

نیاز روز افزون کشور به ذخیره سازهای انرژی پاک و با پیشرفت تکنولوژی و رونق استفاده از دستگاه‌های الکترونیکی مانند موبایل‌ها و کامپیوترهای قابل حمل تولید این نوع باتری‌ها در آینده نزدیک می‌تواند به موضوعی استراتژیک بدل شود. تنها شرکت صبا باتری در مقیاس نیمه صنعتی توانسته است اقدام به تولید باتری‌های لیتیم–یون کند. به گفته مسئولین این شرکت اولویت آنها بومی سازی مواد اولیه‌ای است که در حال حاضر مصرف دارند و تحقیق و توسعه بیشتر در این جهت انجام می‌شود. در مجموع به نظر می‌رسد تا به کارگیری گرافن در این باتری‌ها راه زیادی در پیش رو باشد.

۲. ابرخازن

۱،۲. معرفی ابرخازن‌ها

ابرخازن که به آن خازن دولایه نیز می‌گویند، در مقدار ظرفیت (ظرفیت خازن) با خازن‌های معمولی متفاوت است. ابرخازن نوعی خازن است که ظرفیت بسیار زیادی نسبت به خازن‌های معمولی دارد. ظرفیت آن‌ها معمولاً بیش از ۱۰ میلی فاراد است؛ و کاربردهای بسیاری دارد. قیمت ابرخازن در مقایسه با دیگر انواع خازن بیشتر است. به صورت کلی خازن‌ها را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد:

خازن الکتروستاتیک: متداول‌ترین خازن، خازن الکتروستاتیک با جدا کننده خشک است. این نوع خازن‌ها دارای ظرفیت بسیار کمی هستند که برای پالایش سیگنال‌ها و تنظیم فرکانس رادیو به کار می‌روند. دامنه تغییر ظرفیت این نوع خازن از چند پیکوفاراد تا چند میکروفاراد است.

خازن الکترولیتی: نوع دیگری از خازن‌ها، خازن الکترولیتی است که برای پالایش انرژی و حافظه موقت استفاده می‌شوند. دامنه ظرفیت این خازن‌ها در حدود میکروفاراد است. این خازن‌ها توانایی دخیره چند هزار برابری خازن‌های الکتروستاتیکی را دارند و از دی‌الکتریک مایع استفاده می‌کنند.

ابرخازن: قسم سوم خازن‌ها، ابر خازن‌ها هستند که ظرفیت آن‌ها در حدود فاراد است. ظرفیت این نوع خازن‌ها هزاران بار از خازن الکترولیتی بیشتراست. ابر خازن‌ها برای ذخیره انرژی ایده‌آل هستند، چرا که جریان بالا و زمان تخلیه کوتاه دارند.



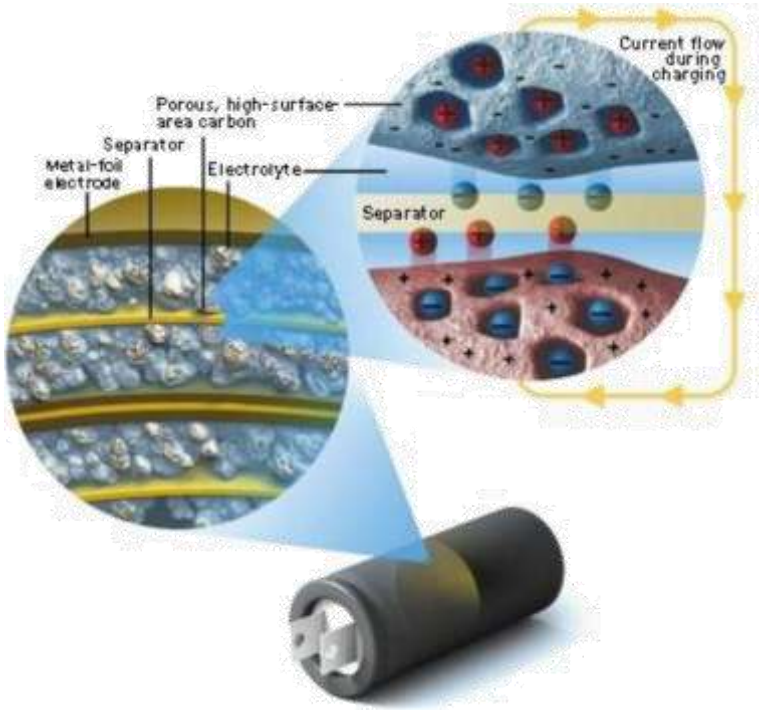
تصویر ۴۰- مقایسه توان و انرژی باتری (سمت راست) و ابرخازن (سمت چپ)

ابرخازن‌ها یا خازن‌های شیمیایی، انرژی را با نرخ‌های شارژ-دشارژ بالایی ذخیره می‌کنند. دانسیته انرژی ابرخازن‌ها چندین مرتبه بالاتر از خازن‌های دی‌الکتریک است، اما میزان دانسیته انرژی آن هنوز کمتر از باتری‌ها است. به دلیل چرخه عمر طولانی و دانسیته توان بالا، ابرخازن‌ها برای بسیاری از کاربردهای ذخیره‌سازی انرژی مناسب هستند، که می‌توان به سیستم‌های مخابراتی دیجیتال، منبع تغذیه اضطراری در کامپیوترها، تولیدکننده‌های لیزر پالسی و وسایل ارتباطی دوربرد اشاره کرد. بر اساس مطالعات انجام شده، کارایی ابرخازن‌ها وابسته به ظرفیت خازنی و میزان مقاومت درونی سیستم است. ظرفیت خازنی خود تحت تأثیر پارامترهایی مانند مساحت سطح موثر، دانسیته و توزیع اندازه حفرات، حضور گروه‌های عاملی و میزان آبگریزی سطح قرار می‌گیرد. بهینه‌سازی این پارامترها منجر به افزایش ظرفیت لایه دوگانه الکتریکی و بهبود ظرفیت خازنی می‌شود. فاکتور کلیدی دیگر، میزان مقاومت الکتریکی است که از طریق افزایش هدایت الکتریکی اجزا،

کاهش مقاومت تماسی در فصل مشترک الکترود/ الکترولیت و الکترود/جمع‌کننده جریان و استفاده از الکترولیت مناسب، تا حد زیادی قابل کنترل است.

۲،۱،۱. اجزای ابرخازن

ابرخازن‌ها ساختاری شبیه به باتری دارند. هر ابرخازن از دو الکترود صفحه‌ای غوطه‌ور درون محلول الکترولیت تشکیل شده است. همچنین یک دی‌الکتریک متخلخل به عنوان جداکننده بین دو الکترود قرار گرفته است که نسبت به یون‌ها تراوا بوده، اما مانع انتقال بار بین دو الکترود است.



تصویر ۴۱- نمایی از ابرخازن و اجزای سازنده آن

الکترود ابرخازن‌ها به طور کلی پوشش‌های نازکی هستند که اعمال می‌شوند و از نظر الکتریکی به یک جمع کننده جریان رسانا و فلزی متصل هستند. الکترود باید هدایت خوب، ثبات در درجه حرارت بالا، پایداری شیمیایی بلند مدت، مقاومت بالا در برابر خوردگی و مساحت بالا در واحد حجم و جرم داشته باشد. سایر ویژگی‌های مورد نیاز عبارتند از دوست دار محیط زیست و کم هزینه بودن.

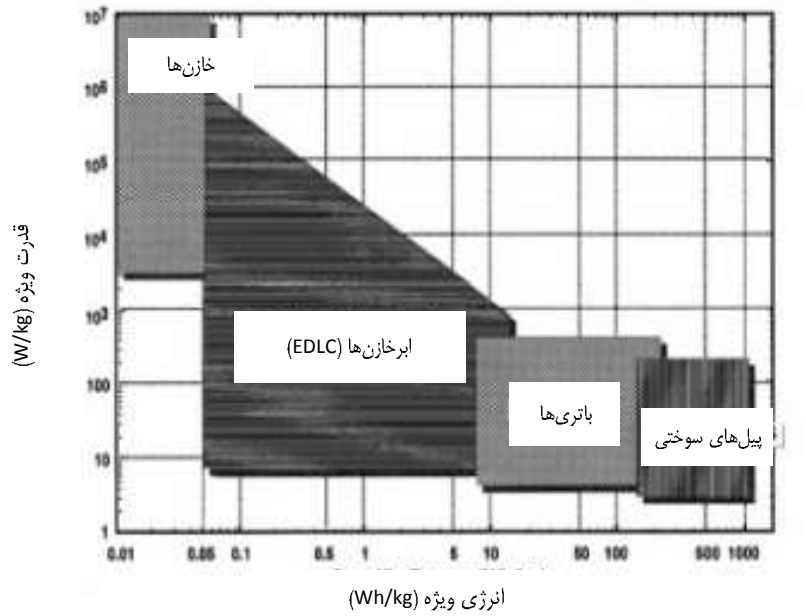
ظرفیت ابرخازن عمدتا تابعی از سطح الکترود است. بنابراین الکترود ابرخازن معمولا از مواد متخلخل و اسفنجی ساخته می‌شود که سطح فوق العاده بالایی دارند، مانند کربن فعال. به طور کلی منافذ الکترود کوچکتر، منجربه ظرفیت بالاتر و دانسیته انرژی بیشتر می‌شود. با این حال، منافذ کوچکتر دانسیته قدرت را کاهش می‌دهد. کاربردهایی با جریان اوج بالا نیازمند حفرات بزرگتر و اتلاف کم نیروی داخلی است، درحالیکه کاربردهای نیازمند به دانسیته انرژی بالا احتیاج به ححفرات کوچک دارند.

شایع‌ترین مواد مورد استفاده برای الکترود ابرخازن‌های EDLC کربن است که در اشکال مختلفی مانند کربن فعال، فیبر کربن، ایروژل کربن،نانو لوله کربنی و گرافن است. همچنین برای الکترود شبه خازن‌ها مواد مورد استفاده بیشتر اکسیدهای فلزی (مانند RuO_2، IrO_2، Fe_3O_4، MnO_2، TiS_2 و ...) و پلیمرهای رسانا (مانند پلی تیوفن، پلی پیرول، پلی استیلن و ...) هستند.

۳،۱،۲. مقایسه باتری، خازن و ابرخازن

خازن‌های الکترو استاتیک به عنوان عناصر ذخیره انرژی در اندازه میکروفاراد استفاده شده است. خازن‌ها دو کاربرد عمده دارند، یکی از این کاربردها برای شارژ یا دشارژ الکتریسیته است. از دیگر کاربردهای آن جلوگیری از جریان DC است. این عملکرد برای فیلترهایی که یک فرکانس خاص را خارج یا حذف می‌کنند به کار گرفته می‌شود. با توجه به ظرفیت کم این خازن‌ها کاربرد آنها به مواردی با قدرت کم مانند بخشی از مدارهای آنالوگ و تامین کننده‌های پشتیبان حافظه‌های کوتاه مدت محدود شده است. تحولات اخیردر تکنولوژی ساخت با کمک الکترودهای با مساحت بالا و مقاومت کم، در ترکیب با درک درستی از انتقال بار امکان ساخت خازن‌های الکتروشیمیایی با قدرت بالا را فراهم کرده است.

خازن‌های با لایه مضاعف الکتروشیمیایی (EDLC) نشان دهنده کلاس جدیدی از فناوری است که مقادیر بیشتری از انرژی را در مقایسه با خازن‌های معمول ذخیره می‌کنند و قدرت بیشتری از باتری‌ها ارائه می‌دهند. موقعیت فعلی این خازن‌ها در شکل زیر نشان داده شده است. ظرفیت ابرخازن‌ها با مساحت الکترود ارتباط مستقیم دارد.



تصویر ۴۲- مقایسه خازن، ابرخازن، باتری و پیل سوختی

در جدول زیر ویژگی‌های مختلف باتری، خازن و ابرخازن با هم مقایسه شده‌اند.

جدول ۳۲- مقایسه ویژگی‌های باتری، خازن و ابرخازن

ویژگی‌ها	خازن‌های معمول	ابرخازن‌ها	باتری‌ها
زمان شارژ	10^{-3} — 10^{-6} ثانیه	۱-۳۰ ثانیه	۰/۳-۳ ساعت
زمان دشارژ	10^{-3} — 10^{-6} ثانیه	۱-۳۰ ثانیه	۱-۵ ساعت
قدرت ویژه (W/kg)	۱۰،۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۵۰-۲۰۰
انرژی ویژه (Wh/kg)	کمتر از ۰/۱	۱-۱۰	۲۰-۱۰۰
چرخه عمر (سیکل)	بیش از ۵۰۰،۰۰۰	بیش از ۱۰۰،۰۰۰	۵۰۰-۲۰۰۰
بازده شارژ/دشارژ (درصد)	در حدود ۱۰۰ درصد	۹۰-۹۵ درصد	۷۰-۸۵ درصد

شکل زیر چند نمونه ابرخازن را نشان می‌دهد. ابرخازن نشان داده شده در شکل زیر در ولتاژ ۲/۷ ولت، ۷۰۰۰ ژول انرژی در خود ذخیره می‌کند که در مقایسه با خازنی در این سایز بیش از ۳۰ برابر می‌باشد.



تصویر ۴۳- نمایی از چند ابرخازن در ظرفیت‌های مختلف

۲،۲. کاربرد گرافن در ابرخازن‌ها

معمولا در الکترود ابرخازن‌ها، به دلیل سطح ویژه بالا ($۳،۰۰۰ m^2/g$)، از کربن فعال استفاده می‌شود، این ماده به ازای هر گرم ظرفیت بالایی دارد و ماده‌ای ارزان است، با این حال، توزیع حفرات ضعیفی دارد. گرافن با مساحت سطح ماکزیمم خود، $۲۶۳۰ m^2/g$ محیط ایده‌آلی برای ابرخازن‌ها است. زیرا EDLC به صورت مستقیم با مساحت سطح متناسب است. انعطاف‌پذیری خوب، هدایت الکتریکی عالی و پایداری شیمیایی و گرمایی خوب، پنجره وسیع پتانسیل و گروه‌های عاملی سطحی فراوان، گرافن را به کاندیدای ایده‌آلی برای کاربرد در الکترود ابرخازن‌ها تبدیل کرده است. به دلیل مساحت سطح تئوری بالای گرافن تک لایه، انتظار می‌رود که ظرفیت ویژه بالایی (۵۵۰ F/g) به عنوان الکترود در ابرخازن‌ها داشته باشند. در جدول زیر مزایا و معایب گرافن در مقایسه با دیگر مواد در ابرخازن‌ها مقایسه شده است.

جدول ۳۳- مزایا و معایب گرافن در مقایسه با دیگر مواد در ابرخازن‌ها

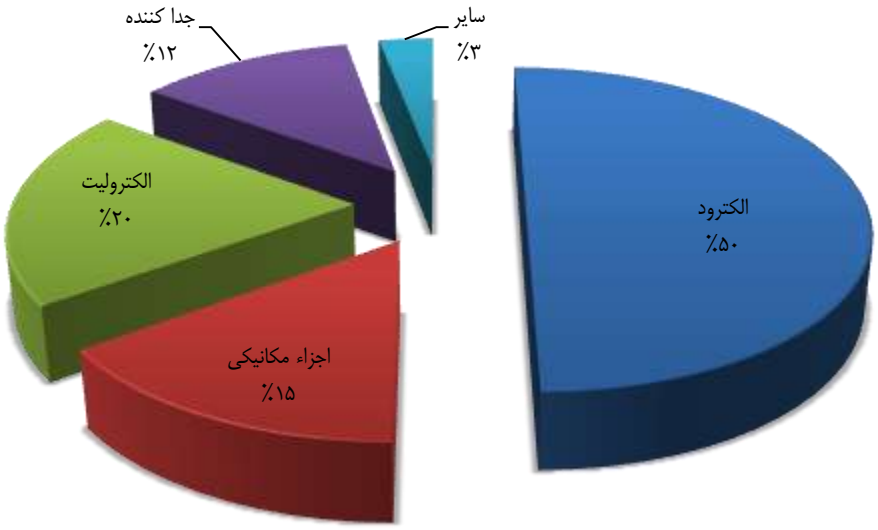
مزایای گرافن	معایب گرافن	مزایای اکسید فلزی	معایب اکسید فلزی	مزایای کامپوزیت‌های گرافن/اکسید فلزی
هدایت الکتریکی بالا	آگلومراسیون زیاد	ظرفیت بسیار بالا	هدایت الکتریکی ضعیف	اثرات هم افزایی
گروههای عاملی فراوان	انباشته شدن مجدد صفحات	چگالی فشردگی[1] بالا	آگلومراسیون زیاد	محدود کردن آگلومراسیون اکسید فلز و پخش یکنواخت اکسید فلز
پایداری الکتریکی و شیمیایی		دانسیته انرژی بالا		محدود کردن انباشتگی مجدد گرافن
مساحت سطح بزرگ		منابع زیاد در دسترس		شبکه بسیار هادی و انعطاف‌پذیر
نسبت سطح به حجم زیاد				ظرفیت بالا
ضخامت فوق کوچک				دانسیته انرژی/ توان اصلاح شده
انعطاف‌پذیری ساختاری				
پنجره الکتروشیمیایی وسیع				

[1] packing density

۳،۲. بازار جهانی ابرخازن‌ها

در حال حاضر ابرخازن‌ها ۵ درصد از بازار ذخیره‌سازی انرژی باتری را تشکیل می‌دهند. پیش‌بینی می‌شود، بازار ابرخازن‌ها در سال ۲۰۱۶ به ۸۵۰ میلیون دلار برسد و تا سال ۲۰۲۰ پتانسیل آن را دارد که تا مقدار ۳ میلیارد دلار رشد کند. این رشد به دلیل افزایش تقاضا برای بازار لوازم الکتریکی مصرفی (تبلت‌ها، گوشی‌های هوشمند، OLED) است که نیاز زیادی به بهبود عملکر باتری و کوچکتر و سبکتر شدن دارند. ارزش بازار لوازم الکتریکی مصرفی و ابزار الکتریکی حرفه‌ای (دستگاه‌های قدرتمند، ابزارهای ارتباطی) تقریبا ۳۰۰ میلیارد دلار در سال است.

ابرخازن‌های مبتنی بر کربن، پتانسیل بالایی در این بازارها و توسعه الکترونیک در آینده دارند. اگرچه این ابرخازن‌ها به سرعت شارژ و دشارژ می‌شوند، ابرخازن‌های فعلی انرژی زیادی را ذخیره نمی‌کنند. مواد مبتنی بر کربن مانند کربن فعال، نانو لوله‌های کربنی و گرافن به دلیل خواص عالی فیزیکی و شیمیایی‌شان به طور گسترده‌ای در خان‌های لایه مضاعف الکتروشیمیایی استفاده شده‌اند. اگر چه مطالعات نظری ظرفیت بسیار بالایی را برای نانولوله‌های کربنی و گرافن پیش‌بینی می‌کند، فرایند تولید آن‌ها هنوز قابل رقابت با EDLC کلاسیک نیست. همچنین گرافن عملکرد را بهبود می‌بخشد اما هزینه هر سلول را بالاتر می‌برد (برای نانو لوله کربنی استفاده شده در ابرخازن‌ها، ۵۰ دلار به ازای هر کیلوگرم افزایش قیمت داشته است). نمودار زیر هزینه تولید یک ابر خازن را به تفکیک اجزاء آن نشان می‌دهد. همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است، هزینه اصلی تولید ابرخازن‌ها برای تولید الکترود آن است.



نمودار ۲۶- هزینه تولید یک ابر خازن را به تفکیک اجزاء آن

در ماه می ۲۰۱۵، شرکت سانوالت انرژی[1] با همکاری شرکت ادیسون پاور[2]، بزرگترین ابرخازن گرافنی جهان را با ظرفیت F ۱۰،۰۰۰ با موفقیت تولید کردند. کمپانی باسف ای‌جی در حال توسعه ابرخازن‌های قابل چاپی با استفاده از جوهرهای گرافن/ پلی‌آنیلین با ظرفیت ویژه ۲۶۹ F/g است.

به طور کلی بازارهای هدف برای ابرخازن‌های مبتنی بر نانو مواد کربنی عبارتند از:

- ✓ خودرو (در باتری‌های ماشین‌های برقی و هیبریدی برای افزایش عمر باتری)
- ✓ وسایل الکترونیکی مصرفی قابل حمل

[1] Sunvault Energy Inc.

[2] Edison Power Company

- ✓ هلی‌کوپترهای نظامی
- ✓ ماشین‌های صنعتی
- ✓ تثبیت‌کننده شبکه برق

باید توجه داشت که استفاده از گرافن در ابرخازن‌ها چالش‌هایی نیز به همراه خواهد داشت. فرآیند انحلال موجب به هم چسبیدن نانو صفحات گرافن به دلیل نیروی جاذبه واندوالس قوی بین آن‌ها می‌شود، که منجر به ایجاد مساحت کمتر و تعداد سایت‌های الکتروشیمیایی فعال کمتر از مقدار تئوری مورد نظر می‌شود. بنابراین، به روش‌های جدید به منظور افزایش خواص ذخیره‌سازی شارژ از مواد مبتنی بر گرافن وجود دارد.

۴،۲. بازار ابرخازن‌ها در ایران

۱،۴،۲. معرفی صنعت خازن در ایران

طبق آمار وزارت صنایع ومعادن کل ظرفیت اسمی تولید خازن در کشور برابر ۱۲،۱۵۲،۷۰۰ عدد برای انواع خازن می‌باشد.

ردیف	نام واحد	استان	کد ISIC	نام محصول	ظرفیت (عدد)
۱	صنایع رسا سپاهان نور	اصفهان	۳۲۱۰۱۲۸۲	خازن‌های صنعتی مثل خازن‌های الکتروموتورها	۶۰۰،۰۰۰
			۳۲۱۰۱۲۸۰	انواع خازن	۱،۲۰۰،۰۰۰
۲	پارس پالا	البرز	۳۲۱۰۱۲۸۰	خازن پلی استر	۱،۰۰۰،۰۰۰
۳	الکترونیک افزار آزما	البرز	۳۲۱۰۱۲۸۰	خازن و سلف سنج دیجیتال	۵۰۰
۴	پرتو خازن	تهران	۳۲۱۰۱۲۸۰	خازن تکفارسه فاز	۴،۶۶۰،۰۰۰
			۳۲۱۰۱۲۸۳	بانک خازنی باکس واتوماتیک	۲،۲۰۰
۵	پالایش نیرو پانیر	مرکزی	۳۲۱۰۱۲۸۲	خازن‌های صنعتی مثل خازن‌های الکتروموتورها	۳۵۰،۰۰۰
			۳۲۱۰۱۲۸۵	خازن‌های صنعتی اصلاح ضریب قدرت	۵۰،۰۰۰
۶	تولیدتجهیزات برق فراکوه یزد	یزد	۳۲۱۰۱۲۸۰	خازن‌های اصلاح ضریب قدرت	۹۰،۰۰۰
۷	فراز گستر پویا صنعت–شرکت	اصفهان	۳۲۱۰۱۲۸۰	انواع خازن	۴،۲۰۰،۰۰۰
مجموع					**۱۲،۱۵۲،۷۰۰**

به طور کلی می‌توان خازن‌ها را به دو دسته کلی تقسیم کرد:

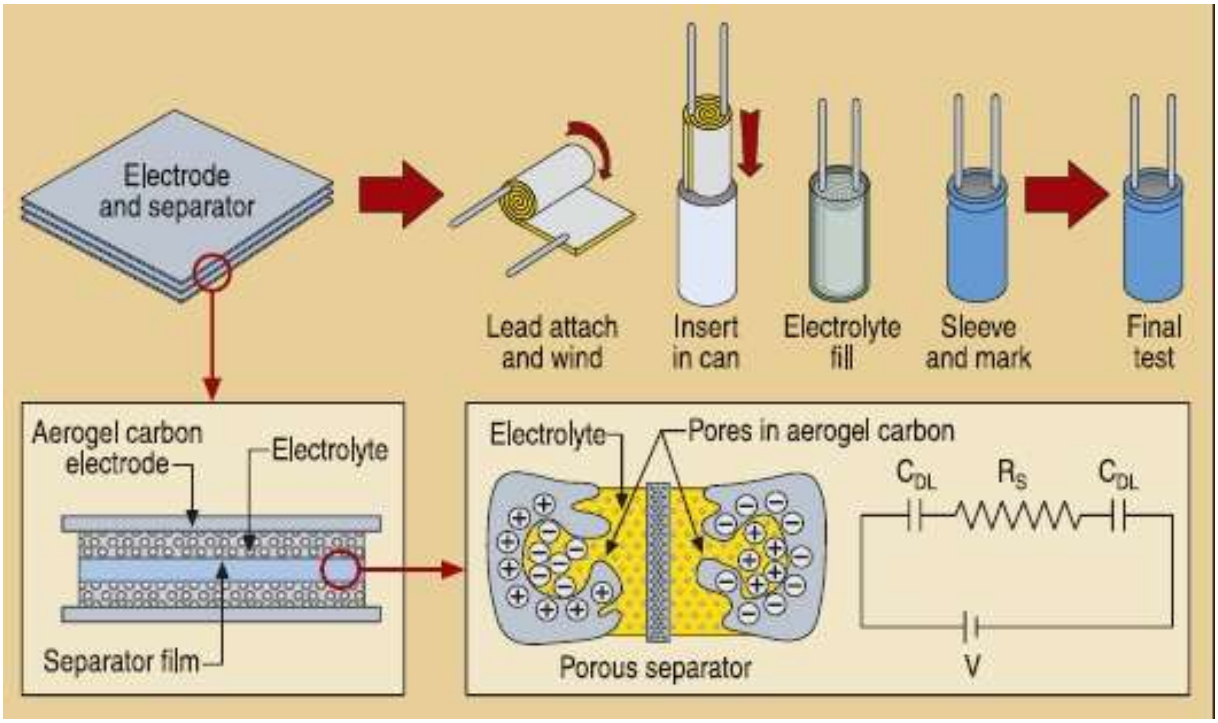
- ✓ خازن‌های الکترونیکی: که در مدارات الکتریکی به کار گرفته می‌شوند و به دو دسته AC و DC تقسیم می‌شوند.
- ✓ خازن‌های قدرت: که بیشتر در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند و به دو دسته AC و DC تقسیم می‌شوند. خازن‌های AC به دو گروه کمتر از ۱۰۰۰ ولت (Low Voltage) و بیشتر از ۱۰۰۰ ولت (Medium Voltage) دسته بندی می‌شوند. خازن‌های با ولتاژ کم بر اساس تکنولوژی ساخت و ماده پرکننده آن‌ها به چهار دسته گازی، روغنی، رزینی و خشک تقسیم می‌شوند. خازن‌های میان ولتاژ عموما از نوع روغنی هستند که هر سازنده‌ای در دنیا از روغنی با فرمولاسیون مخصوص خودش استفاده می‌کند.

کاربرد خازن‌های قدرت:

- ✓ اصلاح ضریب توان برای جبران سازی توان راکتیو
- ✓ خطوط توزیع برق مابین خطوط برای بهبود پروفایل ولتاژ
- ✓ فیلترهای هارمونیک که از نوعی سیم پیچ و خازن تشکیل شده است

۲،۴،۲. تحلیل زنجیره ارزش

اصلی‌ترین جزء خازن‌ها دی الکتریک آن می‌باشد که تولید آن نیاز به تکنولوژی بالایی دارد و کیفیتش در عملکرد خازن تاثیر زیادی می‌گذارد. ابرخازن‌ها ساختاری متفاوت و شبیه به باتری دارند.





تصویر ۴۴- زنجیره ارزش تولید خازن

۳،۴،۲. بررسی مشتریان

جدول ۳۴- مجموعه‌های مورد مصاحبه در رابطه با خازن‌ها

ردیف	شرکت	محصول
۱	شرکت فراز گستر پویا (رسا خازن)	✓خازن‌های روشنایی و لوازم خانگی ✓خازن‌های موتوری ✓بانک‌های خازنی تک فاز ✓بانک‌های خازنی سه فاز
۲	شرکت رهشاد الکتریک	✓خازن‌های راه انداز موتور ✓خازن‌های روشنایی ✓خازن موتور استارت الکترولیتی
۳	شرکت پرتو خازن	✓خازن‌های اصلاح ضریب قدرت سیلندری ✓بانک‌های خازنی ثابت ✓بانک‌های خازنی اتوماتیک ✓خازن‌های موتوری دائم کار ✓خازن‌های روشنایی ✓راکتورهای حذف هارمونیک ✓فیلم‌های متالیزه
۴	شرکت صنعتی و مهندسی پالایش نیرو (پانیر)	✓خازن‌های تک‌فاز و سه‌فاز اصلاح ضریب قدرت فشار ضعیف و متوسط ✓بانک‌های خازنی فشار متوسط و ضعیف ✓خازن‌های سه‌فاز خشک ✓خازن‌های سه‌فاز مکعبی ✓راکتور فیلتر هارمونیک ✓خازن‌های فشار متوسط

۵	تولیدتجهیزات برق فراکوه یزد	✓خازن‌های اصلاح ضریب توان ✓خازن‌های الکترونیک قدرت ✓خازن‌های صنعتی ✓خازن‌های مخصوص توربین بادی ✓خازن‌های فشار متوسط
۶	شرکت کاپاسیتور پارس	✓خازن‌های اصلاح ضریب قدرت فشار ضعیف و متوسط ✓انواع خازن برای مدارهای الکترونیکی قدرت ✓خازن‌های فیلتر جریان ✓خازن‌های کوپلاژ برای شبکه مخابراتی
۷	پرتو گستر آیریک	طراحی و ساخت پروژه‌های الکترونیکی صنعتی، ابزار دقیق و اتوماسیون صنعتی
۸	شرکت فنی مهندسی نوین الکترونیک	فروشگاه قطعات الکتریکی
۹	ایران ماژول الکتزونیک	فروشگاه قطعات الکتریکی
۱۰	جوان الکترونیک	فروشگاه قطعات الکتریکی
۱۱	شرکت فنی و مهندسی ECA	فروشگاه قطعات الکتریکی
۱۲	فروشگاه محمد الکترونیک	فروشگاه قطعات الکتریکی
۱۳	مجتمع الکترونیک ایران میکرو	فروشگاه قطعات الکتریکی
۱۴	چهره الکترونیک	فروشگاه قطعات الکتریکی
۱۵	جهان کیت	فروشگاه قطعات الکتریکی
۱۶	شرکت الکترونیک سیستم	فروشگاه قطعات الکتریکی
۱۷	لیون الکترونیک	فروشگاه قطعات الکتریکی
۱۸	نیکو الکترونیک	فروشگاه قطعات الکتریکی
۱۹	پاژ الکترونیک	فروشگاه قطعات الکتریکی
۲۰	تک پلاس	فروشگاه قطعات الکتریکی
۲۱	کاالکترونیک	فروشگاه قطعات الکتریکی
۲۲	کهربا الکترونیک پارسیان	فروشگاه قطعات الکتریکی
۲۳	لاندا الکترونیک	فروشگاه قطعات الکتریکی
۲۴	ارپاد	فروشگاه قطعات الکتریکی
۲۵	آی سی‌کالا	فروشگاه قطعات الکتریکی
۲۶	سعید	فروشگاه قطعات الکتریکی
۲۷	ربوچیپ	فروشگاه قطعات الکتریکی
۲۸	کافه ربات	فروشگاه قطعات الکتریکی
۲۹	مجتمع الکترونیک پایا	فروشگاه قطعات الکتریکی

شرکت فراز گستر پویا (رسا خازن): این شرکت در سال ۱۳۷۸ در شمال شهر اصفهان منطقه صنعتی مورچه خورت به عنوان یکی از شرکت‌های زیر مجموعه گروه صنایع گیتی پسند (بزرگترین بخش خصوصی کشور) پا به عرصه تولید نهاد و با تولید انبوه و علمی خازن جهت استفاده در صنایع روشنایی، تولید الکتروموتور و پمپ و نیز در تولید لوازم خانگی تحت لیسانس الکترونیکون آلمان وارد بازارهای داخلی شد. این شرکت در سال ۱۳۸۸ با کمک واحد فنی و مهندسی و R&D خود و با توجه به نیاز روز افزون کشور اقدام به تولید بانک‌های خازنی تک و سه فاز با تیپ‌های مختلف جهت استفاده در تابلوسازی و برق فشار ضعیف نمود. محصولات این شرکت با نام تجاری RSN و FLXT وارد بازار صادراتی نیز شده است.

طبق گفته‌های مهندس سلیمی، کارشناس بخش تحقیق و توسعه این شرکت، تمامی صنعت خازن کپی برداری از نمونه‌های خارجی است. هم خط تولید هم دانش فنی از خارج وارد می‌شود و بسیار گران هستند. فیلم‌های متالایز شده هم که ماده اولیه اصلی خازن است، وارداتی می‌باشد و تکنولوژی تولید آن در اختیار کشورهایی مانند ژاپن، آلمان، کره، امریکا و تایوان قرار دارد.

ایشان هیچ شناختی روی ابرخازن نداشتند و همچنین در این ارتباط بیان داشتند که تا کنون هیچ مشتری‌ای برای ابر خازن به آنها مراجعه نکرده است. لازم به ذکر است این شرکت عموما تولیدکننده خازن‌های معمولی و صنعتی است و به طور کلی ۲۰-۱۰ هزار خازن در روز تولید می‌کنند.

شرکت رهشاد الکتریک: این شرکت در سال ۱۳۶۷تاسیس گردید. فعالیت شرکت با تولید خازن موتوری و روشنائی آغاز گردید. شرکت رهشاد الکتریک از تامین‌کنندگان انواع خازن در صنایع الکتروموتورسازی، کولرسازی، صنایع روشنایی، صنایع الکترونیک می‌باشد و همچنین این شرکت با ادارات توزیع نیروی برق در سطح کشور نیز همکاری دارد.

به گفته مهندس محمودی، مدیر فروش، این شرکت تنها شرکتی است که در غرب آسیا فیلم‌های متالایز شده برای خازن‌ها را خودش تولید می‌کند و فناوری آن را از شرکت آرکوترونیک ایتالیا و تعدادی از دستگاه‌ها نیز از سوئیس خریداری کرده است. این شرکت تعداد ۲،۰۰۰ خازن میکروفاراد و ۲۰۰ خازن سه فاز در روز تولید می‌کند و در گذشته به کشورهای مختلف صادرات داشته‌اند ولی به دلیل تحریم‌ها در چند سال اخیر صادراتشان کم شده است. لازم به توضیح است که این شرکت تولید ابرخازن ندارد و از نظر مهندس محمودی خط تولید ابرخازن نیاز به فناوری متفاوتی دارد.

شرکت پرتو خازن: این شرکت در سال ۱۳۷۵ تاسیس گردید. محل کارخانه در زمینی به مساحت ۱۰،۰۰۰ متر مربع در نزدیکی تهران بنا گردیده است. فعالیت شرکت با تولید فیلم متالیزه آلومینیوم، خازن‌های روشنایی، موتوری و اصلاح ضریب قدرت آغاز گردید. در سال ۱۳۸۳ خط تولید فیلم متالیزه آلومینیوم – روی نیز راه‌اندازی گردید. در حال حاضر محصولات و خدمات این شرکت شامل انواع مختلف خازن‌های اصلاح ضریب قدرت، موتوری، روشنایی، بانک‌های خازنی ثابت و اتوماتیک می‌باشد. ظرفیت سالانه تولید شرکت حدود ۴ میلیون خازن موتوری و روشنایی و ۵،۰۰۰ مگاوار خازن اصلاح ضریب قدرت می باشد. لازم به توضیح است، شرکت پرتو خازن بزرگترین و معتبرترین تولیدکننده خازن و تنها تولید کننده فیلم متالایز (ماده اولیه خازن) در خاورمیانه می‌باشد.

مدیریت هر دو شرکت رهشاد الکترونیک و پرتوخازن یکی و با مهندس حسنی می‌باشد.

شرکت صنعتی و مهندسی پالایش نیرو (پانیر): این شرکت عضو مجموعه شرکت‌های گروه فولمن، شامل شرکت‌های فولمن، پارس تابلو، صنعتی مهرآباد، تهران پادنا و فرانیر است و از سال ۱۳۶۷ فعالیت خود را بعنوان یکی از معدود تولیدکنندگان خازن اصلاح ضریب قدرت در صنعت برق آغاز نموده است.

این شرکت فیلم‌های متالایز را از کشورهای اروپای غربی وارد می‌کند؛ به گفته مهندس بهتاج، مدیر تولید شرکت، فیلم‌های تولید شده توسط شرکت پرتوخازن در مقایسه با فیلم‌های وارداتی کیفیت مطلوبی ندارند. این شرکت نیز تولید ابر خازن ندارد و شناختی نیز از این محصولات نداشته و تا کنون نیز درخواستی برای ابرخازن نداشته‌اند. مشتریان آن‌ها، عموما صنایع مختلف و واحدهای مسکونی بزرگ (برج‌ها) هستند.

تولیدتجهیزات برق فراکوه یزد (F.K.C.): این شرکت در سال ۱۳۷۵ در زمینه خازن‌های اصلاح ضریب توان فشار ضعیف تحت لیسانس FRAKO از آلمان تأسیس شد. به گفته مهندس شجری، مسئول بخش فنی و تحقیق و توسعه، این شرکت هم مانند بیشتر شرکت‌ها فیلم متالیزه شده پلی پروپیلنی که در اصل دی الکتریک خازن است را وارد می‌کنند. از جمله شرکت‌های مطرح در این حوزه، کاپاسیتور پارس و ایران سوئیچ است. به نظر ایشان، شرکت کاپاسیتور پارس به دلیل تکنولوژی قدیمی تولید خازن‌های ولتاژ کم (روغنی) چندان بازار خوبی ندارد مگر در موارد سفارشی و خاص، اما در زمینه خازن‌های میان ولتاژ این شرکت، یکی از بهترین‌ها است. همچنین خازن‌های تولیدی

شرکت ایران سوئیچ، قیمت کم و کیفیت پایینی دارند. این در حالی است که خازن‌های تولید شده در شرکت فراکوه کیفیت مطلوبی دارند ولی قیمتشان کمی بالاتر است. همچنین درباره شرکت پرتوخازن بیان کردند که هنگام برخورد با مشکل از تیم تحقیق و توسعه فراکوه کمک می‌گیرند. میزان تولید این شرکت ۵۰ عدد خازن با ولتاژ کم در روز است.

در رابطه با ابرخازن‌ها نیز اشاره داشتند که در جاهایی که نیاز به شارژ زیاد برای مدت زمان طولانی باشد کاربرد دارند. اما برای ولتاژهای بالا که نیاز صنعت است، قابل استفاده نیست؛ و از طرفی در ولتاژهای پایین نسبت به خازن‌های معمولی بسیار گران‌تر هستند.

شرکت کاپاسیتور پارس: این شرکت در سال ۱۳۵۴ با هدف ایجاد کارخانجات صنایع الکتریکی و الکترونیکی بالاخص کارخانه ساخت خازن‌های اصلاح ضریب قدرت آغاز به کار نمود و همزمان با تاسیس شرکت، قرارداد جهت انتقال تکنولوژی ساخت خازن با کارخانه VISHAY در آلمان منعقد گردیده و پس از تکمیل ساختمان و نصب ماشین‌آلات مورد نیاز، تولید خازن‌های قدرت آغاز گردید. این شرکت در حال حاضر، خازن‌های فشار قوی، خازن‌های کوره اندکسیون و فرکانس بالا نیز تولید می‌کند.

شرکت فنی مهندسی پرتو گستر آیریک: این شرکت در زمینه طراحی و ساخت پروژه‌های الکترونیکی صنعتی، ابزار دقیق و اتوماسیون صنعتی فعالیت دارد. مهندس مستقیمی، مدیر عامل شرکت، اظهار داشتند که در حال حاضر خط تولید ابرخازن در کشور وجود ندارد، ولی برخی شرکت‌ها در تلاش برای وارد کردن خط تولید آن هستند که هزینه بالایی دارد. شرکت فنی مهندسی نوین الکترونیک که در زمینه واردات قطعات و محصولات خاص فعالیت دارد زیر نظر مهندس مستقیمی است. این شرکت از طریق فروشگاه اینترنتی نوین الکترونیک (novinelec.com) محصولات الکترونیکی خود را به فروش می‌رساند. ایشان در این رابطه بیان داشتند که در ابتدا تعدادی ابرخازن وارد کردند و با استقبال مواجه شد. درحال حاضر بیشتر مشتریان ابر خازن‌های این شرکت، در حوزه تحقیقاتی است ولی درخواست‌های تعداد بالا و صنعتی هم داشته که به دلیل عدم توانایی در تامین نتوانسته پاسخگوی نیاز آنها باشد.

ایشان کاربردهای بالقوه ابرخازن‌ها را در توربین‌های بادی، گازی و آبی، خودروهای الکتریکی، جایگزین باتری در برخی وسایل مانند موبایل‌ها، اتوبوس‌های برقی عنوان کردند . همچنین لازم به ذکر است که تحقیقاتی روی استفاده از گرافن در ابرخازن و باتری‌های لیتیم یون نیز انجام داده‌اند.

این شرکت مذاکراتی برای ورود خط تولید با شرکت‌های خارجی انجام داده است ولی به دلیل هزینه بالای آن از این کار صرف نظر کردند. قیمت خط تولید کوچک با ظرفیت ۲۰۰ الی ۳۰۰ عدد در روز در حدود ۲ میلیارد است. این برای حالتی است که همه ملزومات آن را بخواهیم تولید کنیم. اما در صورتی که بخواهیم مواد اولیه را وارد کنیم خط تولید قیمتی در حدود ۱ میلیارد خواهد داشت. ایشان پیش بینی کردند در صورت تولید بتوان در حدود ۷-۸ هزار عدد در ماه (دانه‌ای ۲۰-۳۰ هزار تومان) فروش داشت. مهندس مستقیمی، چالش‌های مربوط به ورود ابرخازن به بازار ایران را موارد زیر دانستند:

- ✓ در حال حاضر ابر خازن بازار گسترده‌ای در ایران ندارد.
- ✓ باید آن را شناساند و خیلی ها هنوز با آن آشنایی ندارند.
- ✓ قیمت آن در مقایسه با خازن بسیار بیشتر است.

۳،۴،۲. جمع‌بندی

با مطالعات انجام شده می‌توان بیان کرد که در حال حاضر اکثر تولید کننده‌های خازن مواد اولیه را وارد می‌کنند و با توجه به نیاز آن را به صورت‌های مختلف در می‌آورند و در ظرفیت‌ها و اشکال مختلف منتاژ می‌کنند. تنها شرکت پرتو خازن است که فیلم متالایز شده که ماده اصلی سازنده خازن است را خودش تولید می‌کند. همچنین از مصاحبه‌ها این گونه می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد خازن و ابر خازن از هم کاملا متفاوت هستند و حتی بسیاری از تولید کنندگان با ابرخازن آشنایی نداشتند و مشتریان آنها نیز درخواستی برای ابرخازن نداشته‌اند.

از بین فروشگاه‌های قطعات الکترونیکی که تماس گرفته شد تنها دو فروشگاه بودند که ابرخازن داشتند و مشتریان آنها در حال حاضر از ابرخازن برای کاربرد تحقیقاتی استفاده می‌کنند. لذا به نظر می‌رسد برای گسترش بازار آن باید آن را شناساند و در زمینه‌های کاربردهای اصلی آن مانند خودروهای برقی و وسایل الکریکی قابل حمل سرمایه‌گذاری کرد.

در بین شرکت‌های بررسی شده، دو شرکت پرتوخازن به مدیریت آقای مهندس حسنی و شرکت پرتو گستر آیریک به مدیریت آقای مهندس مستقیمی تمایل به همکاری برای تحقیقات در زمینه ابر خازن داشتند.

در تولید خازن‌ها، اصلی‌تری قسمت تولید دی‌الکتریک یا همان فیلم‌های پوشش داده شده است. غالب تولید کنندگان داخلی در زنجیره ارزش تولید خازن در حلقه دوم قرار دارند، به این معنی که مواد اولیه اصلی را وارد می‌کنند و در اینجا تنها کار منتاژ را انجام می‌دهند و خازن را با توجه به نیاز مشتری و صنعت در شکل‌ها و ظرفیت‌ها مختلف تولید می‌کنند. در بین تولید کنندگان داخلی تنها یک مجموعه (پرتو خازن) است که فیلم‌های متالیزه را تولید می‌کند و به گفته سایر تولید کنندگان، این فیلم‌ها در مقایسه با نمونه‌های وارداتی از کیفیت مطلوبی برخوردار نیست.

به گفته فعالان این صنعت تولید این فیلم‌ها نیاز به تکنولوژی بالایی دارد و از سوی دیگر ماشین آلات مورد استفاده در این مجموعه‌ها غالبا قدیمی هستند و به روز نمی‌باشند.

۳. پیل‌های سوختی

۱،۳. معرفی پیل‌های سوختی

پیل‌های سوختی فناوری جدیدی برای تولید انرژی هستند که بدون ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی و صوتی، از ترکیب مستقیم بین سوخت و اکسیدکننده، انرژی الکتریکی با بازدهی بالا تولید می‌کنند. تولید مستقیم الکتریسیته بدون محدودیت ترمودینامیکی چرخه کارنو جهت تبدیل انرژی شیمیایی حاصل از سوخت به انرژی گرمایی و مکانیکی و در نهایت الکتریسیته می‌باشد که اتلاف انرژی را به حداقل ممکن می‌رساند و بازده تئوری بالایی به دست می‌آید. به طور کلی می‌توان گفت پیل سوختی نوعی سل الکتروشیمیایی است که انرژی شیمیایی حاصل از واکنش را مستقیما به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند.

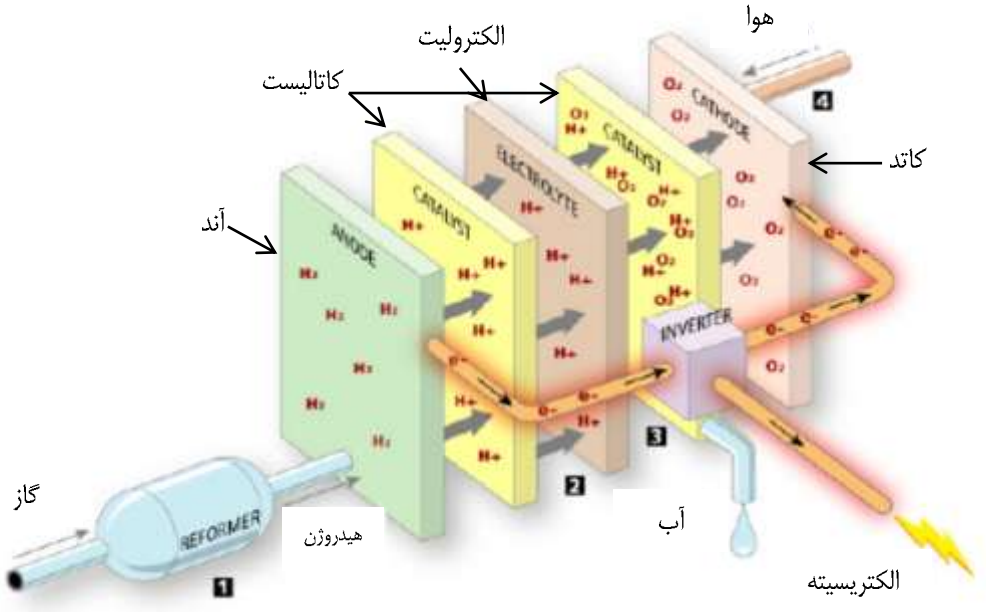
در یک پیل سوختی، سوخت به طور پیوسته به الکترود آند و اکسیژن به الکترود کاتد تزریق می‌شود و واکنش‌های الکتروشیمیایی در الکترودها انجام شده و با ایجاد پتانسیل الکتریکی جریان الکتریکی برقرار می‌گردد. اگرچه پیل سوختی اجزاء و ویژگی‌های مشابه یک باتری را دارد، اما از بسیاری جهات با آن متفاوت است. باتری یک وسیله ذخیره انرژی است و بیشترین انرژی قابل استحصال از آن به وسیله میزان ماده شیمیایی واکنش‌دهنده که در خود باتری ذخیره شده است (عموما در الکترودها) تعیین می‌شود. چنانچه ماده واکنش‌دهنده در باتری کاملا مصرف شود، تولید انرژی الکتریکی متوقف خواهد شد یا به عبارتی باتری تخلیه می‌شود. در باتری‌های نسل دوم ماده واکنش دهنده با شارژ مجدد، دوباره احیا می‌شود که این عمل مستلزم تامین انرژی از یک منبع خارجی است. در این حالت نیز انرژی الکتریکی ذخیره شده در باتری محدود و وابسته به میزان ماده واکنش دهنده در باتری خواهد بود. پیل سوختی یک دستگاه تبدیل انرژی است که به لحاظ نظری تا زمانی که ماده اکسیدکننده و سوخت در الکترودهای آن تامین شود قابلیت تولید انرژی الکتریکی را دارد. البته در عمل استهلاک، خوردگی و بد عمل کردن اجزای تشکیل‌دهنده، طول عمر پیل سوختی را کاهش می‌دهد.

۱،۱،۳. *اجزای تشکیل دهنده پیل سوختی*

سازه و بدنه اصلی پیل‌سوختی از الکترولیت، الکترود آند و الکترود کاتد تشکیل شده است. الکترولیت با هدایت یون‌ها بین الکترودها سبب تکمیل مدار الکتریکی پیل سوختی می‌شود. الکترولیت یک مانع فیزیکی بین سوخت و گاز اکسیژن ایجاد می‌کند و مانع اختلاط مستقیم آنها می‌شود. وظیفه صفحات الکترود متخلخل در پیل سوختی شامل موارد زیر است:

۱. ایجاد یک سطح فعال و مناسب که واکنش‌های الکتروشیمیایی روی این سطوح انجام می‌شود.
۲. هدایت یون‌های حاصل از واکنش به داخل یا خارج از ناحیه تبادل سه فازی و انتقال الکترون‌های تولیدی به مدار خارجی (الکترودها باید هدایت الکتریکی خوبی داشته باشد).

برای افزایش سطح تماس واکنش دهنده‌ها با کاتالیست لازم است که ساختار الکترود، متخلخل بوده و میزان سطح در دسترس و پوشش داده شده توسط کاتالیست نسبت به حجم الکترود زیاد باشد. ساختار متخلخل، دسترسی راحت اجزاء واکنش دهنده به مراکز فعال را میسر می‌سازد. نمای کلی یک پیل سوختی به همراه گازهای واکنش‌دهنده و تولید شده و مسیر حرکت یون‌ها در شکل زیر نشان داده شده است.



تصویر ۴۵- نمای کلی یک پیل سوختی

۲،۱،۳. انواع پیل سوختی

انواع مختلفی از پیل سوختی در مراحل مختلفی از پیشرفت قرار دارند که می‌توان آنها را با توجه به مواردی، از جمله نوع سوخت، اکسیدکننده، نوع مبدل سوخت (مبدل خارجی یا مبدل داخلی)، نوع الکترولیت و دمای کاری و غیره تقسیم بندی کرد. رایج‌ترین طبقه‌بندی پیل‌های سوختی بر اساس نوع الکترولیت مورد استفاده در پیل سوختی صورت می‌گیرد و شامل موارد ذیل می‌شود:

۱. پلیمری
۲. متانولی
۳. قلیایی
۴. اسید فسفریک
۵. کربنات مذاب
۶. اکسیدجامد

دمای کارکرد پیل‌های سوختی فوق عبارتند از: دمای ۸۰ درجه سانتیگراد برای پیل سوختی پلیمری، دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد برای پیل سوختی قلیایی، دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد برای پیل سوختی اسید فسفریک، دمای ۶۵۰ درجه سانتیگراد برای پیل سوختی کربنات مذاب، دمای ۸۰۰ تا ۱،۰۰۰ درجه سانتیگراد برای پیل سوختی اکسید جامد و دمای ۸۰-۳۰ درجه سانتیگراد برای پیل سوختی متانولی. دمای کاری الکترولیت‌های مایع به دلیل فشار بخار زیاد و تخریب سریع در دمای بالا، به کمتر از ۲۰۰ درجه سانتیگراد محدود می‌شود. دمای کاری، روی نوع سوخت مورد استفاده نیز تاثیر مستقیم دارد. در پیل‌های سوختی دما پایین، سوخت مورد استفاده اکثرا هیدروژن است، ولی در پیل‌های سوختی دما بالا در اکثر موارد به دلیل سینتیک پرشتاب الکترودها و نیاز کمتر به واکنش‌های کاتالیستی در دماهای بالا، می‌توان از CO و یا CH_4 مستقیما به عنوان سوخت استفاده کرد. همچنین در پیل‌های سوختی دما بالا، می‌توان از مزیت تبدیل CH_4 به هیدروژن در پیل سوختی (مبدل داخلی) و سپس مصرف هیدروژن به دست آمده به عنوان سوخت استفاده کرد.

در نمودار زیر درصد استفاده هر یک از انواع پیل‌های سوختی نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود پیل‌های سوختی پلیمری بیشترین کاربرد را به خود اختصاص داده‌اند.



نمودار ۲۷- درصد استفاده انواع پیل‌های سوختی

۲،۳. کاربرد گرافن در پیل‌های سوختی

تلاش‌های اخیر جهت بهبود عملکرد واکنش الکتروشیمیایی، کاهش هزینه‌های تولید، کاهش ضخامت اجزای پیل سوختی و در عین حال اصلاح و بهبود ساختار الکترودها و فاز الکترولیت متمرکز شده است. نرخ واکنش‌های الکتروشیمی با افزایش دما افزایش پیدا می‌کند، لذا خاصیت کاتالیزوی الکترودها در پیل‌های سوختی دما پایین از اهمیت بیشتری در مقایسه با پیل سوختی دما بالا برخوردار است. الکترودهای متخلخل باید در هر دو طرف تماس با الکترولیت و گازهای واکنش دهنده، نفوذپذیر باشند تا حدی که توسط الکترولیت اشباع نشده و بوسیله گازهای واکنش‌دهنده خشک نشوند.

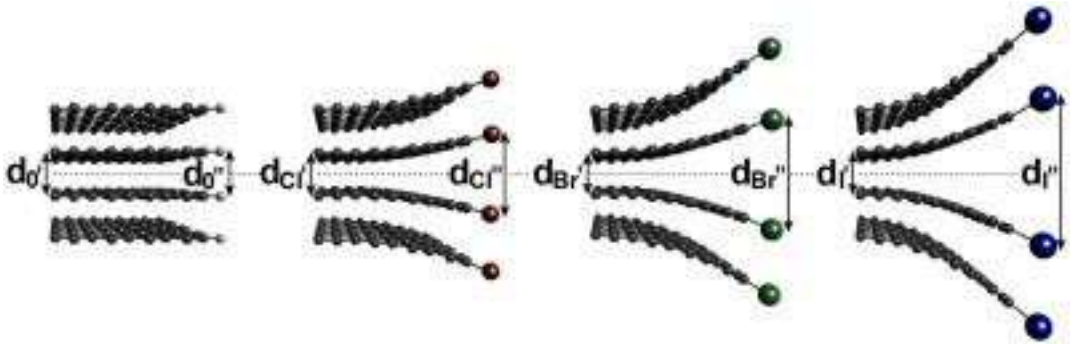
یک مانع عمده برای تجاری‌سازی فناوری پیل سوختی، واکنش احیاء اکسیژن در کاتد است. پلاتین و آلیاژهای پلاتین قابل اطمینان‌ترین الکتروکاتالیست‌های کاتدی در پیل‌های سوختی هستند. با این حال، پلاتین از اثرات مسمومسازی تبدیل متانول به کربن مونواکسید و ثبات عملکرد ضعیف رنج می‌برند و همچنین مواد گران قیمت و کمیابی هستند. مواد مبتنی بر گرافن، مانند گرافن‌های عاملدار، گرافن دوپ شده و کامپوزیت‌های گرافن/ فلز یا اکسید فلزی، به عنوان کاتالیست برای واکنش‌های الکتروکاتالیستی در پیل‌های سوختی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. گرافن کاندید امیدوارکننده‌ای به عنوان:

- ✓ جایگزین الکتروکاتالیست‌ها در الکترود پیل‌های سوختی است.
- ✓ غشاهای تبادل پروتون پیل سوختی در پیل‌های سوختی متانولی مستقیم

اکسید گرافن گروه‌های عاملی فراوان و نقص‌هایی در سطح خود دارد که سایت‌های فعال شیمیایی برای استفاده در واکنش‌های شیمیایی هستند و همچنین به عنوان سایت‌های نگهدارنده برای نانوذرات فلزی عمل می‌کنند.

یک تیم تحقیقاتی بین اللملی روش تازه‌ای برای تولید پیل‌های سوختی ارایه کردند. در این روش به‌جای این که از الکتروکاتالیست‌های گران قیمت نظیر پلاتین استفاده شود، اصلاح شیمیایی روی نانوصفحه‌های گرافن انجام شده است. نانوصفحه‌های گرافنی که با ترکیبات هالوژنی نظیر کلر، برم و ید اصلاح شده است، می‌تواند برای تولید پیل سوختی استفاده شود. با این اصلاح سطحی، مساحت سطحی گرافن افزایش می یابد. نتایج این پژوهش در نشریه نیچر به چاپ رسیده است در این پروژه محققانی از موسسه ملی علم و فناوری در کره جنوبی و دانشگاه کیس وسترن شرکت داشتند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد لبه‌های هالوژن‌دار گرافن می‌تواند سایت خوبی برای اتصال اکسیژن

باشد. همچنین این بخش می‌تواند به‌طور موثری در واکنش احیاء اکسیژن شرکت کند. احیاء اکسیژن یکی از فرآیندهای شیمیایی اصلی در پیل‌های سوختی است که در آن مولکول‌های اکسیژن و هیدروژن شکسته شده و مولکول آب ایجاد می‌شوند.



تصویر ۴۶- تاثیر هالوژن‌ها روی نانو صفحات گرافنی. از چپ به راست: نانو صفحات گرافنی اصلاح نشده، اصلاح شده با کلر، برم و ید.

نانوصفحه‌های هالوژن‌دار می‌تواند گام موثری در تولید پیل‌های سوختی باشد. یکی از مزایای این مواد این است که تولید آنها بسیار ساده و ارزان است. این درحالی است که کاتالیست‌های پیل سوختی رایج نظیر پلاتین بسیار گران قیمت هستند. برای تولید نانوصفحه‌های هالوژن‌دار از روش آسیاب گلوله‌ای استفاده می‌شود. در این روش گرافیت پودری با سرعت بالایی آسیاب شده، به طوری که پیوند میان اتم‌های کربن از بین می‌رود. با این کار نانوساختارهایی ایجاد می‌شود که به آنها نانوصفحه‌های گرافنی گفته می‌شود. این نانوصفحه‌ها در معرض گازهای هالوژنی قرار می‌گیرد که با این کار روی لبه‌های گرافن ترکیبات هالوژنی متصل می‌شود.

پیش از این تلاش‌های بسیاری برای تولید الکتروکاتالیست‌های غیرفلزی انجام شده بود، اما نتیجه مطلوبی حاصل نشده است. بیشتر کاتالیست‌های تولید شده دوام کمی داشته به‌طوری که بعد از چند بار شارژ/ دشارژ عملکرد خود را از دست می‌دادند. اما این کاتالیست جدید عملکرد بهتری نسبت به کاتالیست‌های قبلی دارد. به نظر می‌رسد این کاتالیست معایب و دشواری‌های تمام کاتالیست‌های قبلی را نداشته و بنابراین برای تجاری‌سازی مناسب باشد. لیمین دای از محققان این پروژه می‌گوید کاتالیست‌های غیرفلزی که ما ساختیم قابلیت تولید انبوه دارد. این کاتالیست‌ها پایداری بالاتری نسبت به کاتالیست‌های پلاتینی دارند؛ به‌طوری که نسبت به آسیب‌هایی که از سوی مونوکسید کربن و متانول وارد می‌شود مقاومت بهتری دارد. یافته‌های این پژوهش تاثیر شگرفی روی فناوری تولید پیل‌های سوختی دارد.

۳،۳. بازار جهانی پیل سوختی

بازارهای اصلی برای فناوری پیل سوختی منابع انرژی ثابت، حمل و نقل، و منابع انرژی قابل حمل هستند. ارزش بازار جهانی پیل سوختی در سال ۲۰۱۳ تقریبا برابر ۱/۳ میلیارد دلار بوده‌است.

قبل از اینکه گرافن بتواند به عنوان یک کاندیدای جدی در این بازار مطرح شود، چالش‌هایی وجود دارد که عبارتند از عدم تولید انبوه این ماده، بهینه نشدن ساختار/مورفولوژی کاتالیست، نبود درک اساسی کافی، و ابزار تست/ پروتکل برای بهینه‌سازی عملکرد و سنجش آن. مقادیر بیش از حد گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار همچنین می‌تواند هدایت الکتریکی و ثبات الکتروشیمیایی گرافن را کاهش دهد، که آن را برای اکسداسیون شیمیایی ضعیف می‌کند و در نتیجه دوام طولانی مدت الکتروکاتالیست‌ها را خراب می‌کند.

۴،۳. بازار پیل سوختی در ایران

۱،۴،۳. معرفی صنعت پیل سوختی در ایران

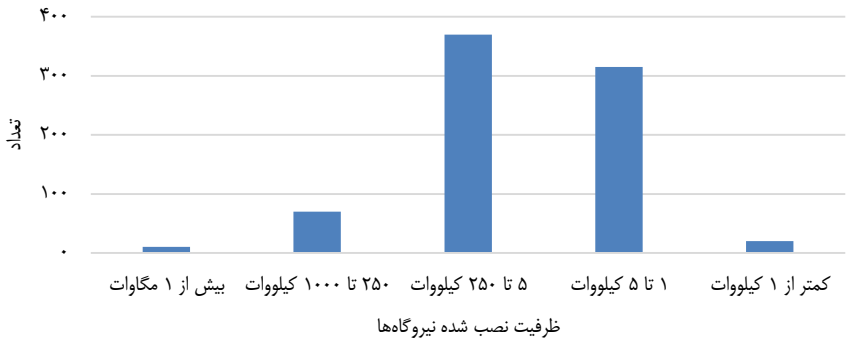
حجم فعالیت و سرمایه گذاری کلان در کشورهای صنعتی برای توسعه صنعت پیل سوختی، وضع قوانین سخت زیست محیطی، تخصیص یارانه برای انرژی‌های نو و سرعت بخشیدن به ایجاد زیرساخت‌های سوخت هیدروژن و متانول، پایان پذیری منابع نفتی، افزایش دمای کره زمین و رشد جمعیت همگی دال برحتمی بودن جایگزینی فناوری پیل سوختی و کاهش گرایش به سمت موتورهای درون سوز است. بسیاری ازسازندگان نیروگاه‌ها، سیستم پیل سوختی را جهت نصب در نیروگاه‌های آینده برنامه ریزی کرده‌اند. پیل سوختی در آینده نزدیک منبع تأمین نیرو برای مناطق حساسی نظیر بانک‌ها، مراکز معاملات سهام، بیمارستان‌ها و مراکز سیستم‌های کامپیوتری خواهد بود و بعنوان پشتیبان برای شبکه‌های محلی به کار برده خواهد شد. می‌توان گفت که فناوری پیل سوختی در آینده‌ای نه چندان دور سه بخش حمل و نقل، نیروگاه‌ها و مولدهای قابل حمل (جانشین باتری) را متحول خواهد نمود و متناسب با آن شرکت‌های نفتی را بمنظور تأمین سوخت مورد نیاز آن به تحرک وادار خواهد کرد.

طی چند سال گذشته سرمایه گذاری‌های بزرگی در زمینه توسعه خودروهای پیل سوختی در کشورهای مختلف صنعتی صورت گرفته است. تاکنون بیش از ۲ میلیارد دلار صرف توسعه و تجاری شدن خودروی پیل سوختی گردیده است. امروزه، موسسات بزرگ صنعتی و شرکت‌های کوچک دارای فناوری‌های بالا سعی در بهینه‌سازی کارآیی این سیستم و کاهش قیمت‌ها دارند. تحقق این امر نیاز به زمان دارد و انتظار می‌رود این فناوری بتواند به اهداف اقتصادی لازم برای موفقیت تجاری دست یابد. توانمندی‌های پیل سوختی بعنوان یک منبع انرژی قابل اطمینان و هیدروژن به عنوان سوختی که می‌توان آن را از منابع تجدید پذیر یا تجدید ناپذیر بدست آورد، سبب شده تا پیل سوختی از ارزش استراتژیک فوق العاده برخوردار گردد.

در جدول زیر سهم کشورهای جهان در نیروگاه‌های پیل سوختی نشان داده می‌شود. همچنین نمودار تعداد ظرفیت‌های نصب شده در جهان و نمودار سهم انواع پیل سوختی در این نیروگاه‌ها مشخص شده است.

جدول ۳۵- سهم کشورهای جهان از نیروگاه‌های پیل سوختی

ردیف	کشور محل نصب	تعداد	ردیف	کشور محل نصب	تعداد
۱	امریکا	۳۸۰	۱۱	اسپانیا	۸
۲	کانادا	۲۱	۱۲	سوئد	۷
۳	انگلیس	۲۰	۱۳	افریقای جنوبی	۶
۴	آلمان	۱۵	۱۴	استرالیا	۶
۵	فرانسه	۱۵	۱۵	برزیل	۵
۶	ایتالیا	۱۴	۱۶	اتریش	۵
۷	هلند	۱۳	۱۷	نیوزلند	۳
۸	ژاپن	۱۳	۱۸	روسیه	۲
۹	سوییس	۹	۱۹	هلند	۲
۱۰	کره جنوبی	۹	۲۰	فنلاند	۲



نمودار ۲۸- نمودار تعداد ظرفیت نصب شده نیروگاه‌ها در جهان

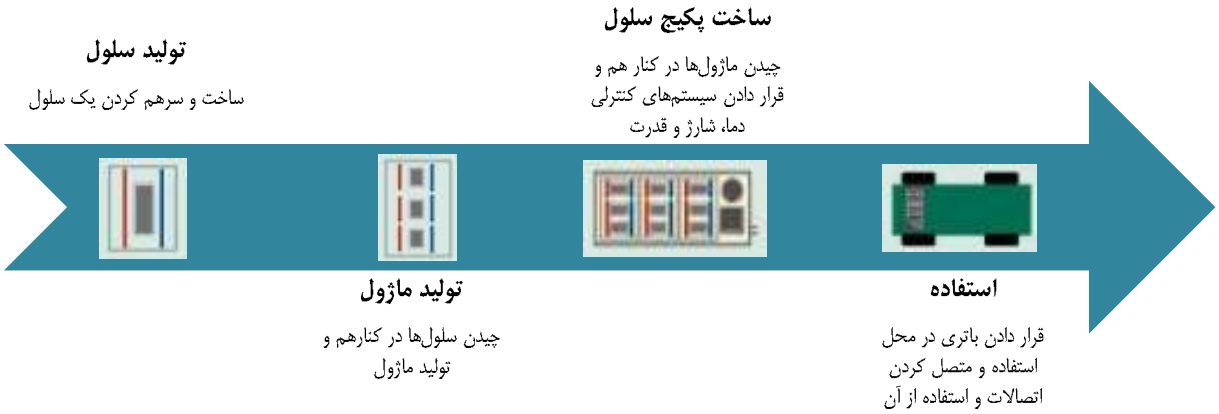
کشور ما هم از یک سو با پایان پذیری منابع نفتی و بالا بودن مصرف سرانه سوخت و از سوی دیگر با عقب ماندگی فناوری صنایع خودرو و صنایع نیروگاهی روبروست؛ از طرف دیگر عدم توجه به مساله آلودگی هوا موجب شده است تا در شهری مانند تهران که بعنوان دومین شهر آلوده دنیا مطرح شده، سهم وسایل حمل و نقل با مصرف روزانه۷/۵ میلیون لیتر بنزین و حدود ۱/۵ میلیون لیتر گازوئیل، بیش از ۷۰ ٪ کل آلودگی هوا باشد؛ از اینرو توسعه فناوری پیل سوختی راه حل نهایی این مشکلات ارزیابی می‌گردد.

به همین منظور کمیته راهبری پیل‌سوختی در دی‌ماه ۱۳۸۰ با ابتکار و پیگیری وزارت نیرو و دفتر همکاری‌های فناوری ریاست‌جمهوری و با هدف جهت‌دار شدن مسیر حرکت کشور در این زمینه و تعیین اولویت‌های تحقیقاتی، پژوهشی و اجرایی و هم‌چنین جلوگیری از فعالیت‌های موازی تشکیل شد. وزارت نیرو در تشکیل این کمیته، ترکیبی از نهادها و ارگان‌های مرتبط نظیر دفتر همکاری‌های فن‌آوری، وزارت نفت، صنایع و معادن، علوم، تحقیقات و فن‌آوری، سازمان‌های مدیریت و برنامه‌ریزی، حفاظت محیط زیست، نمایندگان بخش‌های خصوصی مرتبط و مشاوران و خبرگانی از این زمینه را با خود همراه ساخت تا وفاق و همدلی ذینفعان پیل‌سوختی را ایجاد و حرکت در این زمینه را تسریع و هدفمند سازد.

بر این اساس مراکز تحقیقاتی وعلمی کشور نظیر سازمان انرژی‌های نو ایران(در زمینه طراحی و نمونه سازی یک نوع پیل سوختی)، مرکزتحقیقات ایران خودرو (برقی نمودن خودروهای بنزینی)، دفتر همکاری‌های فناوری ریاست جمهوری (ساخت نمونه پیل سوختی)، سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران، پژوهشکده سبز دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان و دانشگاه صنعتی شریف ومراکز تحقیقاتی بخش خصوصی مانند مرکز تحقیقات دانا، مرکز تحقیقات ایران خودرو و شرکت فناوری هیدروژن هزاره سوم، پروژه‌های مختلفی در زمینه انواع نیروی محرکه مورد نیاز خودروهای برقی، خصوصا پیل‌های سوختی آغاز نموده‌اند.

به منظور آگاهی از تحولات دنیا و آشنایی ملموس‌تر با سیستم‌های پیل‌های سوختی ، خرید ، نصب و بهره برداری از چند نمونه از سیستم‌های مختلف پیل سوختی از اقدامات کوتاه مدت ۵ سال اول سند راهبرد ملی توسعه فناوری پیل سوختی (مصوبه تیرماه هیات محترم دولت) می‌باشد. در همین راستا در سال‌های اخیر چند نمونه آزمایشگاهی کوچک پیل سوختی توسط سازمان انرژی‌های نو ایران و دیگر مراکزتحقیقاتی و دانشگاهی کشور تهیه شده است. در سال جاری نیز سازمان انرژی‌های نو ایران اقدام به تهیه سیستم پیل سوختی ۲۵ کیلووات پلیمری کرد.

با تهیه ، نصب و راه اندازی این سیستم در کشورمان علاوه بر امکان دستیابی به اهداف مهمی همچون تأمین الکتریسیته و حرارت، استفاده به عنوان جزئی از طرح جامع، فراهم نمودن امکان بازدید با اهداف آموزشی، ترویج و آگاه‌سازی و ثبت اطلاعات از شاخص‌های فنی، از مهم‌ترین دستاوردهای این پروژه می‌توان به استفاده از تجربیات راه‌اندازی و نصب پیل سوختی و تجهیزات مورد نیاز آن که بدون استفاده از کارشناسان خارجی و به طور کامل در کشور توسط کارشناسان داخلی با تکیه بر دانش، توانمندی و خلاقیت نیروهای متخصص کشورمان به انجام رسید اشاره کرد.



تصویر ۴۷- زنجیره ارزش پیل سوختی

۲،۴،۳. بررسی مشتریان

ردیف	نام شرکت/سازمان	حوزه فعالیت
۱	کمیته راهبری پیل سوختی	جهت دهی تحقیات در زمینه پیل سوختی
۲	پژوهشگاه نیرو	تحقیقات در زمینه تولید پیل سوختی
۳	پژوهشکده مواد و انرژی اصفهان	تحقیقات در زمینه تولید پیل سوختی
۴	پژوهشگاه انرژی‌های نو دانشگاه امیرکبیر	تحقیقات در زمینه تولید پیل سوختی

کمیته راهبری پیل سوختی: مدیر گروه پیل سوختی، سرکارخانم شیوا، گفتند در ایران در حال حاضر در پژوهشگاه نیرو روی پیل‌های اکسید جامد و در جهاد دانشگاهی اصفهان (وابسته به سازمان هوا فضا) روی پیل‌های سوختی پلیمری در حال تحقیقات هستند. در پیل سوختی پلیمری مواد اولیه وارد می‌شود و بیشتر در بحث ساخت آن تحقیقات انجام می‌شود که تا امروز نمونه‌های ۵ و ۱۰ کیلو واتی هم تولید شده‌اند که در سایت طالقان قرار دارند و می‌توان از آن بازدید کرد. در زمینه پیل‌های اکسید جامد چون مواد اولیه ساخت خودمان است عقب‌تر هستیم و تنها نمونه‌هایی در حد وات تولید شده است.

پژوهشگاه نیرو: به گفته آقای محبی، مدیر پروژه پیل سوختی، این مجموعه روی پیل سوختی اکسید جامد کار می‌کند. جذابیت‌های این نوع پیل سوختی عبارتند از: مهم نبودن خلوص هیدروژن، کاتالیست مورد استفاده پلاتین نیست و در نتیجه ارزانتر است، راندمان بالا (راندمان الکتریکی در حدود ۶۰ درصد و به همراه حرارت راندمان به حدود ۸۵ تا ۹۰ درصد می‌رسد). این نوع پیل سوختی برای کاربردهای نیروگاهی که نیازمند توان بالا و برای زمان طولانی هستند مناسب می‌باشند. عمر این پیل‌های ساخته شده به صورت آزمایشگاهی ۴۰ تا ۵۰ هزار ساعت است. به دلیل دمای بالای پیل سوختی اکسید جامد، گرافن در آن کاربرد ندارد و در پیل‌های سوختی پلیمری می‌تواند کاربرد داشته باشد.

در حال حاضر پیل سوختی اکسید جامد به صورت تک سل و نمونه‌هایی با قابلیت استفاده از گاز طبیعی ساخته شده است و پیش بینی می‌شود با منابع مالی مناسب بتوان تا ۵ سال آیند نمونه صنعتی آن را تولید نمود.

پژوهشکده مواد و انرژی اصفهان: آقای فقیه ایمانی مدیر گروه پیل سوختی بیان داشتند که کاتالیست‌های مورد استفاده در پیل‌های پیل سوختی پلیمری از جنس کربن-پلاتین می‌باشد که بر روی یک غشاء پلیمری از جنس نفیون پوشش داده می‌شوند. به گفته ایشان در

حال حاضر برای سفارشات با توان کم (به صورت تک سل) کاتالیست را خودشان تولید می‌کنند (پلیمر وارداتی است) ولی برای توان‌های بالا این کاتالیست را وارد می‌کنند. وی بیان کرد در صورت انجام حمایت تمایل دارند که از گرافن استفاده کنند و روی آن تحقیقاتی انجام دهند.

تولید این مجموعه بنا به سفارش صورت می‌گیرد و تقریبا در سال یک نمونه تولید می‌کنند ولی توان تولید بیشتر را هم دارند و بیشتر سفارش‌ها برای مصارف تحقیاتی است. همچنین آنها مذاکراتی با خودروسازان انجام داده‌اند ولی به دلیل هزینه بالا و تجربه نا موفق قبلی خودروسازان در این زمینه آنها موافقت نکردند. هزینه تقریبی یک پیل سوختی برای ماشین برابر ۲۰۰ میلیون تومان است.

۳،۴،۳. جمع‌بندی

با توجه به عمر کوتاه این فناوری در دنیا، هنوز کشورهای مختلف نیز در حال انجام تحقیقات برای تجاری سازی پیل‌های سوختی هستند. کشور ما هم با تشکیل کمیته راهبری پیل سوختی گام در این راه نهاده است و با سیاست گذاری و جهت بخشی به فعالیت‌های در حال انجام در کشور سعی دارد که این فناوری را بومی سازی و تجاری نماید.

با توجه به اینکه در این مرحله فعالیت‌های تحقیقاتی زیادی در حال انجام است، می‌توان با تعریف پروژه‌های مشترک تحقیقاتی از گرافن در تولید الکترود این پیل‌ها استفاده نمود و در صورت ثمر بخش بودن این فعالیت‌ها بازار خوبی را برای گرافن بدست آورد.

۴. روشنایی LED

۱،۴. معرفی LED

ال‌ای‌دی (LED)[1] به معنی دیود نور گسیل است. دیودهای نور گسیل در واقع جزء خانواده دیودها هستند که دیودها نیز زیر گروه نیمه هادی‌ها به شمار می‌آیند. خاصیتی که LEDها را از سایر نیمه‌هادی‌ها متمایز می‌کند این است که با گذر جریان از آنها مقداری انرژی به صورت نور از آنها ساطع می‌شود. LEDها که از دهه‌های گذشته در الکترونیک مورد استفاده قرار می‌گرفتند، عموما برای نمایش خاموش یا روشن بودن نمایشگرها در لوازم مولتی مدیا مورد استفاده قرار گرفتند. اما درحال‌حاضر LEDها به نحوی ساخته می‌شوند که نور را در جهت خاصی متمرکز می‌کنند و به صورت چیپ‌های کوچکی هستند که معمولا داخل یک شیشه گنبدی شکل قرار می‌گیرند و دارای سایز چوب کبریت هستند و به سختی می‌شکنند.



تصویر ۴۸- روشنایی LED در رنگ‌های مختلف

یک نسل از LEDها، دیود نور گسیل ارگانیک (OLED)[2] است که در یکی از لایه‌های درون آن غشایی از ترکیبات آلی وجود دارد. این لایه معمولا داری جنس پلیمری است که اجازه می‌دهد ترکیبات آلی به خوبی در آن جمع شوند. دلایل استفاده از مواد آلی در دیودهای نوری به صورت زیر می‌باشد:

- ✓ تهیه آنها به صورت لایه‌های نازک بسیار راحت است.
- ✓ مقدار کمی از مواد آلی برای اهداف تولید انرژی کافی است.
- ✓ خصوصیاتی مثل نوار باند ممنوعه، باند رسانش، باند ظرفیت، هدایت الکتریکی، حلالیت و غیره در این مواد قابل کنترل هستند.
- ✓ تنوع در اندازه نوار باند ممنوعه در این مواد باعث می‌شود که مواد آلی در طول موج‌های متفاوتی جذب کنند.
- ✓ انعطاف پذیری مواد آلی مانند پلیمرها امکان ساخت سلول‌های خورشیدی ای توسط این مواد را فراهم می‌آورد که به صورت سطوح منحنی وجود دارند.
- ✓ امکان تولید لایه‌های نازک با سطوح بزرگ را دارا هستند.
- ✓ برتری‌های اقتصادی (قیمت ارزان‌تر) و زیست محیطی نسبت به مواد غیر آلی دارند.

OLED نیز مانند LED نور را تحت روندی به نام الکتروفسفرواسنس گسیل می‌کند. در این روند، ابتدا منبع برق اختلاف پتانسیلی در مدار OLED ایجاد می‌کند. جریان از کاتد به آند در لایه‌های ارگانیک شارش می‌کند. کاتد الکترون‌ها را به لایه گسیل‌کننده می‌دهد. سپس آند

[1] Light emitting diode

[2] Organic light emitting diode

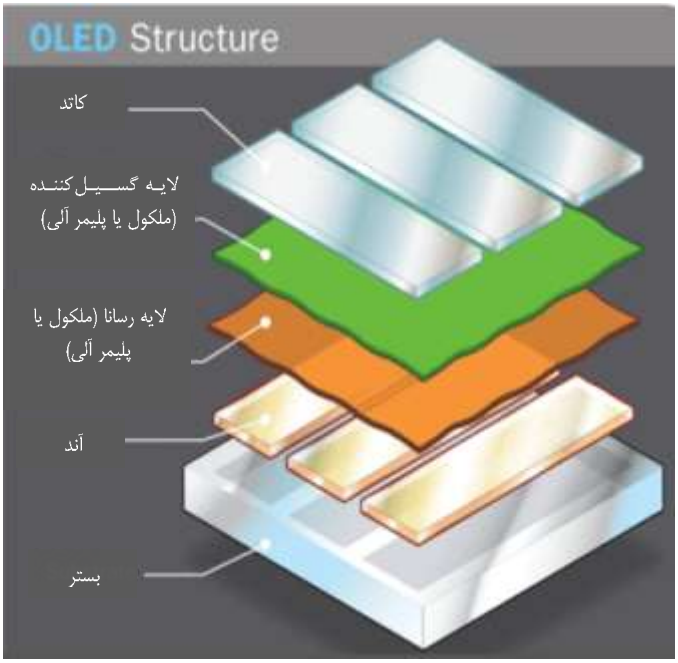
الکترون‌هایی که به لایه رسانا می‌رسد را خارج می‌کند. در مرز بین لایه رسانا و گسیل‌کننده، الکترون‌ها در فضاهای فاقد الکترون قرار می‌گیرد. رنگ نور نیز با توجه به جنس لایه‌های ارگانیک تعیین می‌شود.

۴،۱،۱. اجزای تشکیل دهنده OLED

OLED از لایه‌های زیر تشکیل می‌شود:

- ✓ لایه محافظ
- ✓ آند: ترمینال منفی گسیل الکترون
- ✓ لایه ارگانیک: این لایه از دو لایه رسانا و گسیل‌کننده نور تشکیل شده است.
- ✓ کاتد: ترمینال مثبت گسیل الکترون که از موادی مانند آلیاژهای کلسیم، آلومینیم، باریم یا منیزیم-نقره که در خلاء بخار می‌شوند، ساخته می‌شود.

بین لایه‌های اکسید قلع ایندیم و لایه گسیل‌کننده بسته به نوع روش تولید، اغلب یک لایه از پلیمرهای مختلف به منظور کاهش مقاومت تزریق برای حفره‌ها قرار می گیرد و از انتشار ایندیم جلوگیری می‌کند.

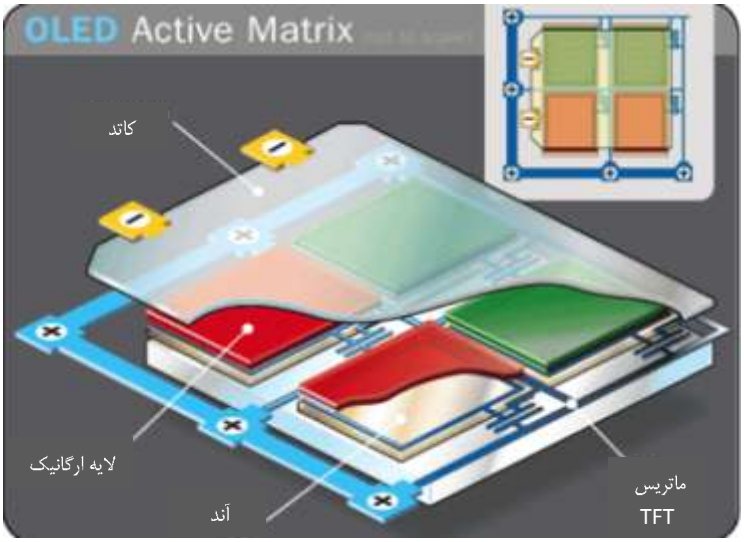


تصویر ۴۹- ساختار OLED

۴،۱،۲. انواع OLED

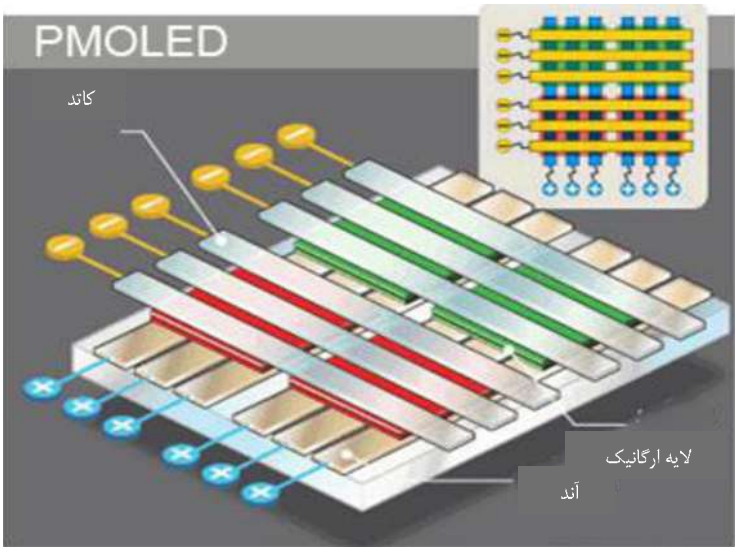
آمولد: دیود نور گسیل ارگانیک با ماتریس فعال (AMOLED)[1]، که لایه‌های کاتد و آلی یکپارچه تولید شده، اما آند بر روی لایه نازکی از ترانزیستور (TFT) با آرایه‌ای ماتریسی قرار گرفته که شامل مدارات پیکسل‌های صفحه نمایش است. آمولد برای استفاده در صفحات بزرگتر مناسب است، زیرا دارای سرعت جاروب[2] بالاتری بوده و برای نمایش ویدئو بسیار مناسبند. سوپر آمولد[3] نیز نوعی خاص از صفحات آمولد هست که توسط سامسونگ و بر اساس OLED ساخته شده است.

[1] Active-matrix organic light-emitting diode
[2] Refresh
[3] Super AMOLED



تصویر ۵۰- ساختار آمولد

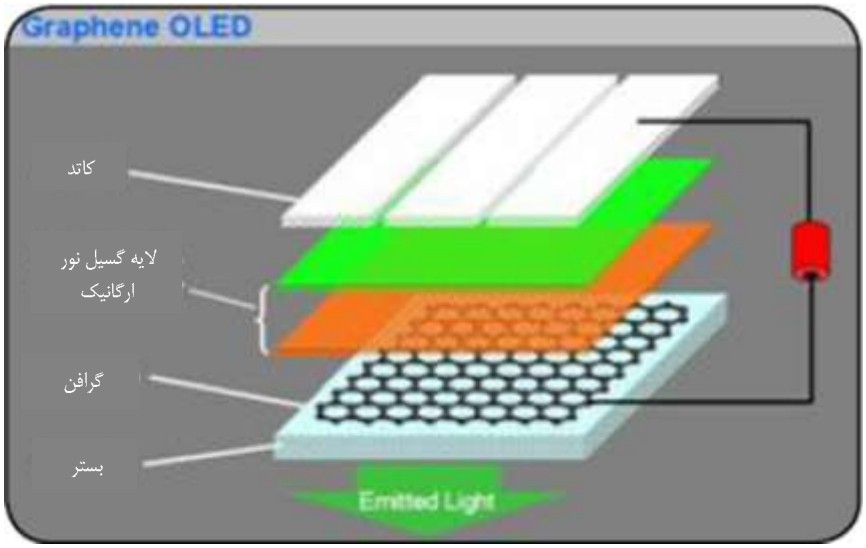
PMOLED: نوع دیگری از OLED می‌باشد که لایه‌های آند و کاتد و لایه‌های آلی به صورت نوارهایی تولید شده‌اند که به شکل متقاطع بر روی هم قرار گرفته‌اند. مدارات الکترونیکی خارجی به نوارهای آند و کاتد متصل می‌شوند.



تصویر ۵۱- ساختار PMOLED

۲،۴. کاربرد گرافن در LED

OLEDها در دو دهه گذشته پیشرفت چشم‌گیری داشته‌اند. این دیودها به صورت گسترده در صفحات نمایش وسایل الکترونیکی مصرفی استفاده می‌شوند. آنها همچنین به عنوان محصول رقابتی با قیمت پایین برای روشنایی‌های معمول مطرح شده‌اند. یکی از ویژگی‌های متمایز OLEDها نسبت به فناوری روشنایی‌های حالت جامد و نمایشگرهای معمول، قابلیت انعطاف‌پذیری مکانیکی آنها است. انعطاف‌پذیری OLEDهای موجود، اساسا به دلیل استفاده از اکسید قلع ایندیم مستعد شکستن، که از آن به عنوان الکترود شفاف استفاده می‌شود، محدود شده است. برای غلبه بر این محدودیت و رسیدن به OLEDهای انعطاف‌پذیر، گرافن به عنوان الکترود شفاف به کار رفته است. OLED ساخته شده با الکترود گرافن، سطحی از عملکرد را نشان می‌دهد که نه تنها برای صفحات نمایش مناسب است؛ بلکه برای روشنایی‌های معمول هم مناسب می‌باشد.



تصویر ۵۲- ساختار OLED بر پایه گرافن

لامپ‌های UV LED (ماوراء بنفش) به طور عمده برای تصفیه هوا و آب جهت کشتن باکتری‌ها و میکرو ارگانیسم‌ها به کار می‌رود. لامپ‌های UV LED کنونی قابلیت عملکرد پایینی از خود نمایش دادند. گرافن نامزد مناسبی برای استفاده در دستگاه‌های عمیق UV است. مدیریت گرمای این دستگاه‌ها باعث بروز مشکلاتی است که با استفاده از گرافن می‌توان بر آن‌ها غلبه کرد. همچنین این دستگاه‌ها از بسترها و مواد گرانی استفاده می‌کنند. هدایت حرارتی بالای ذاتی گرافن اجازه می‌دهد تا مشکلات گرمایی رفع گردد.

۳،۴. بازار جهانی LED

بازار OLED، شامل کاربردهای نمایشگر و روشنایی تا سال ۲۰۲۰ به حدود ۴۳ میلیارد دلار خواهد رسید. در حال حاضر بازار لامپ‌های UV، توسط لامپ‌های جیوه‌ای تسخیر شده است و ارزش بازار آن سالانه برابر ۵۰۰ میلیون دلار تخمین زده می‌شود. به احتمال زیاد استفاده از لامپ‌های UV LED در پنج سال آینده افزایش می‌یابد و بازار آن به ۴۰۰میلیون دلار تا سال ۲۰۲۰ خواهد رسید. بخش UV عمیق پتانسیل آن را دارد که ارزش آن تا سال ۲۰۲۰ به ۲۰۰–۱۲۵ میلیون دلار برسد.

شرکت کرایونانو[1]، نانو سیم‌های AlGaN را روی گرافن توسعه داده است، که گرافن هم به عنوان بستر و هم به عنوان یک الکترود شفاف UV عمیق برای کاربرد در UV LEDهای عمیق استفاده شده است. استفاده از گرافن همراه نانو سیم‌های AlGaN قابلیت انتقال بالای نور UV را می‌دهد. دیگر کمپانی‌هایی که روی نانو سیم LED آبی کار می‌کنند عبارتند از glo، Aledia، Osram و LG Innotek.

۴،۴. وضعیت بازار داخلی

جدول ۳۶- لیست شرکت‌های تماس گرفته شده در زمینه تولید روشنایی‌های LED

ردیف	نام شرکت	محصول
۱	معین برق تهران	تولید کننده روشنایی‌های LED
۲	کارخانجات تولیدی لامپ‌های فوق کم مصرف بهنور یزد	تولید کننده روشنایی‌های LED
۳	صنایع روشنایی سنا برق	تولید کننده روشنایی‌های LED
۴	پرتو افشان یزد	تولید کننده روشنایی‌های LED

[1] Crayonano۵

۵	صنایع روشنایی درآسا	تولید کننده روشنایی‌های LED
۶	شرکت تولیدی صنعتی نور روشنا نور نوین آفاق	تولید کننده روشنایی‌های LED
۷	شرکت تعاونی تولیدی پیشگامان عصر ارتباطات	تولید کننده روشنایی‌های LED

شرکت تعاونی تولیدی پیشگامان عصر ارتباطات: شرکت تعاونی تولیدی پیشگامان عصر ارتباطات از شرکت‌های عضو گروه تعاونی پیشگامان می‌باشد که در سال ۱۳۸۵ با سرمایه گذاری تعاونی تأسیس گردیده است.

کارخانه عصر ارتباطات با هدف تولید و مونتاژ قطعات و تجهیزات مخابراتی و فناوری اطلاعات آغاز به کار کرد و در این راستا توانسته است محصولات مختلفی را طراحی و تولید نماید. از جمله این محصولات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ✓ صنایع روشنایی
- ✓ خدمات مونتاژ بردهای الکترونیکی با پیشرفته ترین ماشین آلات سامسونگ SMD / DIP
- ✓ مشاوره ، طراحی و پیاده سازی سیستم‌های هوشمند مبتنی بر فناوری RFID
- ✓ تولید و تامین تجهیزات و سخت افزارهای فناوری اطلاعات و مخابراتی
- ✓ تولید و ارایه محصولات در زمینه سامانه حضور و غیاب، پارکینگ هوشمند، سامانه هوشمند مانیتورینگ دما و رطوبت، سامانه هوشمند پرداخت الکترونیک آفلاین، کیوسک‌های اطلاع رسانی و بانکی

آقای جعفری مدیر تولید این شرکت گفتند که این تعاونی از برزگترین تولید کنندگان روشنایی‌های ال ای دی است و دستگاه‌های مونتاژشان از سامسونگ است. آنها چیپ ال ای دی را وارد می‌کنند (عموما از چین) ولی بردی که ال ای دی روی آن قرار می‌گیرد را خودشان تولید می‌کند و به گفته ایشان تنها این شرکت است که برد را تولید می‌کند و سایر شرکت‌ها حتی برد را هم وارد می‌کنند. ظرفیت تولید به گفته ایشان ۴۰۰ هزار قطعه در روز است و در حدود ۸ الی ۱۶ ساعت در روز کار می‌کنند و ولی قابلیت تولید ۲۴ ساعته را هم دارند و تمام دستگاه‌ها به صورت اتوماتیک است.

مهندس صنوبری از واحد برنامه ریزی تولید افزودند که تولید ال ای دی در ایران مقرون به صرفه نیست و وارد کردن آن به صرفه‌تر است ولی توانایی تولید آن وجود دارد. همچنین مشکل خاصی برای واردات ان وجود ندارد. در صورتی که در داخل با کیفیت و قیمت مناسب تولید شود به نظر ایشان فروش خوبی خواهد داشت.

شرکت تولیدی صنعتی نور روشنا نور نوین آفاق: شرکت تولیدی صنعتی نور روشنا نور نوین آفاق در سال ۱۳۸۹ و با برند تجاری تویلایت(twilight) در شهر قم تاسیس گردید. این شرکت در زمینه تولید پاور LED و SMD و همچنین انواع محصولات روشنایی LED فعالیت خود را آغاز نمود در سال ۱۳۹۲ به بهره برداری رسید. لازم به ذکر است که این شرکت برای اولین بار در کشور تولید LED و SMD را به صورت صنعتی و انبوه به انجام رسانید که لازمه این امر استفاده از دستگاه ها و تجهیزات فوق پیشرفته و با تکنولوژی روز دنیا می‌باشد. این شرکت قابلیت تولید انواع LED و SMD با رنگ‌ها و طیف‌های مختلف را دارا می‌باشد.

آقای حیدری مدیر برنامه ریزی و تولید این مجموعه بیان داشتند که این شرکت تولید کننده روشنایی‌های نسل جدید، یعنی Power LED و SMD LED است. در اینجا چیپ نیمه هادی که ویفر برش خورده به صورت آماده است وارد ایران می‌شود و این شرکت و مجموعه بهنور یزد تنها شرکت‌هایی هستند که در داخل توانایی انجام گلد وایرینگ (سیم کشی از جنس طلا) در مقیاس میکروسکوپی در ایران را دارد. این فرایند برای قرار دادن چیپ نیمه هادی روی برد ال ای دی انجام می‌شود.

به گفته وی تولید این چیپ‌ها بسیار تکنولوژی بالایی نیاز دارد و در دنیا کشورهایی نظیر امریکا و ژاپن و چین (تحت لیسانس) آن را تولید می‌کنند. این مجموعه در حال حاضر برنامه‌ای برای انجام تحقیقات در زمینه تولید این چیپ‌ها ندارد ولی در صورت تولید نمونه‌ای در داخل این شرکت برای انجام تست‌های آزمایشگاهی آن استقبال می‌کند و باید از نظر کیفیت و قیمت و زمان عمر با نمونه‌های خارجی قابل رقابت

باشد. این شرکت در حال حاضر در سال ۲ الی ۳ میلیون عدد چیپ استفاده می‌کند. همچنین لازم به ذکر است که هیات مدیره دو شرکت بهنور و نور روشنا یکی است.

کارخانجات تولیدی لامپ‌های فوق کم مصرف بهنور یزد: کارخانجات تولیدی لامپ‌های فوق کم مصرف بهنور یزد در سال ۱۳۸۶ بعنوان اولین و تنها تولید کننده دیودهای نوری LED در ایران شروع بکار نمود و تا به امروز موفق به ساخت انواع مختلف پاورهای نوری LED، SMD و POWER LED گردیده است. این کارخانه با ظرفیت تولید ۲۰۰۰۰ قطعه دیود POWER LED در هر شیفت کاری و تولید بیش از ۵۰۰۰ شعله انواع لامپ و پرژکتور صنعتی بعنوان بزرگترین مجتمع تولید لامپ‌های LED در ایران شناخته می‌شود.

آقای کمالی فر مسئول واحد تولید LED این مجموعه بیان کردند که قسمت اصلی در تولید LED چیپ آن است که این قطعه وارداتی است. ایشان دلیل اصلی عدم تولید این قطعه در داخل کشور را به جز فناوری آن، هزینه بالای احداث این واحد دانستند و گفتند تولید این چیپ‌ها در داخل کشور صرفه اقتصادی ندارد. شرکت‌های پیشتاز در حوزه تولید ویفرهای LED به گفته ایشان در دنیا AIXTRON (آلمان)، CREE (امریکا) و POTOGAN (روسیه) هستند.

این کارخانه در سال گذشته به صوت سه شیفت و در هر شیفت بیست هزار قطعه پاور ال ای دی یک وات تولید می‌کرده است ولی در حال حاضر تنها یک شیفت در روز تولید دارند. دلیل این امر واردات زیاد جنس‌های چینی است که تولید کنندگان داخلی توانایی رقابت با قیمت‌های آنها را ندارند.

پرتو افشان یزد: خانم امامی، کارشناس فروش این شرکت، گفتند که چیپ ال ای دی را وارد می‌کند و به گفته ایشان تولید در ایران مقرون به صرفه نیست.

زنجیره ارزش

فرایند تولید لامپ LED در دو گروه طبقه بندی می‌گردد:

- ✓ واحدهای تولید کننده چیپس نیمه هادی
- ✓ واحدهای مونتاژلامپ

در زیر در مورد هرکدام از گروه‌های تولید کننده شرح مختصری ارائه شده است.

سه حلقه اولیه مربوط به تولید چیپ‌های LED است که در آن ویفرهای سیلیکونی برش می‌خورند و لایه نشانی می‌شوند. تولید چیپس یا تراشه‌های نیمه هادی از تکنولوژی بسیار بالایی برخوردار بوده و این تکنولوژی در اختیار تعدادی از کشورهای جهان قرار دارد. تولید صنعتی این تراشه‌ها نیازمند سرمایه‌گذاری بالا به همراه تکنولوژی و مدیریت پیچیده است. از طرف دیگر این چیپس‌ها در ساخت کلیه قطعات نیمه هادی نیز کاربرد دارد، بنابراین واحدهای صنعتی بزرگی در جهان وجود دارند که تولید کننده این تراشه‌ها بوده و در حجم وسیع آن را تولید و به سایر قطعه سازان که نیاز به این تراشه‌ها دارند، عرضه می‌نمایند.

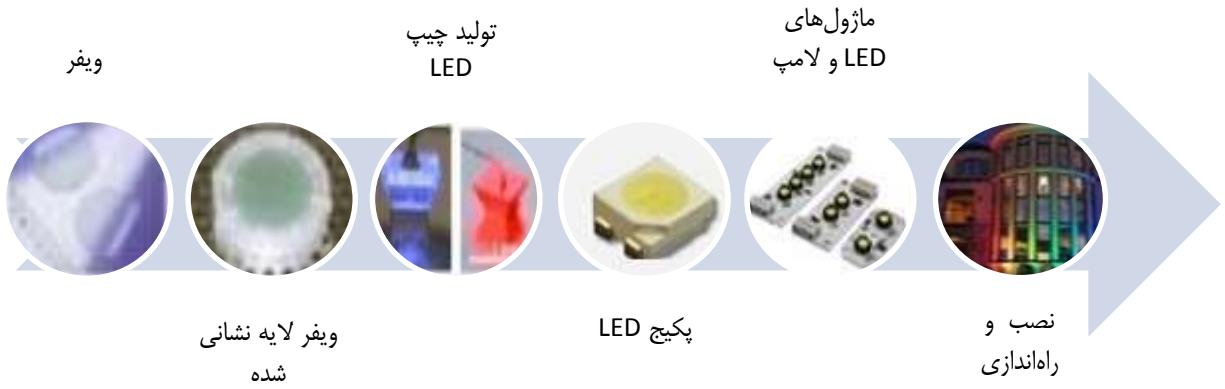
به عنوان مثال یکی از کارخانجات تولید کننده چیس شرکت .Renesas Technilogy Corp می‌باشد. این شرکت در ژاپن قرار داشته و دو شرکت هیتاچی با ۵۵ درصد و میتسوبیشی الکترونیک با ۴۵ درصد، سهامداران آن می‌باشد. سرمایه‌گذاری این واحد صنعتی ۷۷ میلیار ین است.

حلقه‌های بعدی در واقع فرایندی است که در واحدهای مونتاژ لامپ صورت می‌گیرد. این واحدها با خرید تراشه از تولید کنندگان آن، اقدام به ساخت و آماده سازی لامپ می‌نمایند. قطعه نیمه‌هادی تراشه روی یک پایه نصب می‌گردد که این پایه به منظور نگهداری تراشه، محل

نصب آن روی چراغ و همچنین برای اتصال جریان برق است. سیم از جنس فلز مس است که سطح آن با فلز روی پوشانده و سفیدِ رنگ شده است. این سیم به صورت اماده از بازار تهیه و سپس در اندازه مورد نیاز لامپ برش داده شده و آماده نصب روی تراشه می‌گردد.

نصب یا اتصال تراشه به سیم پایه بوسیله جوش فشاری صورت می‌گیرد بطوریکه با قرار دادن سیم روی تراشه و اعمال همزمان فشار و حرارت، اتصال انجام می‌گیرد.

پس از نصب تراشه روی سیم پایه، دور آن با پلاستیک بسیار شفاف پوشانده شده و شکل لامپ ایجاد می‌گردد. این کار در ماشین مخصوصی انجام شده و دقت عمل بالایی در آن مورد نیاز است. پس از این مرحله لامپ تست و کنترل شده و آماده ارسال به بازار می‌گردد.



جمع بندی

قطعه اصلی در تولید LED، قطعه نیمه هادی آن است که تمام کارخانجات تولید کننده این روشنایی‌ها، آن را وارد می‌کنند و این چیپ‌ها را تبدیل به پکیج و یا ماژول‌های LED می‌کنند و در ادامه آن را به شکل انواع لامپ‌های LED در می‌آورند. مشکل اصلی در تولید این چیپ‌ها تکنولوژی بالای آن و هزینه بالای احداث این گونه واحدها است. به همین دلیل تولید این قطعات در مقیاس بالا توجیه اقتصادی خواهد داشت.

با توجه به این مسائل نمی‌توان از گرافن در این زمینه استفاده نمود، زیرا با توجه به زنجیره ارزش این محصول گرافن در مرحله تولید ویفر کاربرد دارد که در ایران این مراحل انجام نمی‌شود.

۵. گرافن در سلول خورشیدی

۱،۵. معرفی سلول‌های خورشیدی

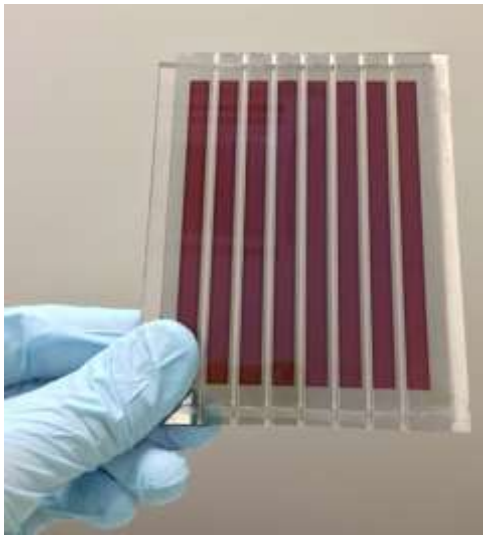
خورشید فراوان‌ترین منبع انرژی در دسترس بشر بر روی کره زمین است. در واقع این منبع سرمنشاء سایر منابع انرژی از جمله انرژی سوخت‌های فسیلی، بادی، آبی و بیومس است. محققان انرژی خورشیدی را که به سطح زمین می‌رسد حدود ۱۲۰ پتاوات ($۱۰^{۱۵}$ وات) محاسبه کرده‌اند؛ این به معنای آن است که انرژی خورشیدی که در یک روز به سطح زمین می‌رسد برای پاسخ به تقاضای ۲۰ سال جهان کافی است.

سلول خورشیدی[1] قطعه‌ای از یک نیمه هادی با اتصال الکتریکی است. این قطعه، انرژی خورشیدی را جذب نموده و به انرژی الکتریکی تبدیل می‌نماید. اندازه سلول‌های خورشیدی با توجه به نوع کاربرد مورد نظر انتخاب می‌شوند. اندازه این سلول‌ها معمولا ۱۲۵×۱۲۵ و ۱۵۶×۱۵۶ میلی‌متر مربع است. سلول‌های خورشیدی از سیلیکون تک بلور، سیلیکون آمورف، سیلیکون چند بلوره، آرسفید گالیوم و سولفید کادمیوم ساخته می‌شوند اما در حال حاضر اغلب سلول‌های موجود از سیلیکون تک بلور و سیلیکون چند بلوره می‌باشد. سلول‌های خورشیدی از یک لایه بسیار نازک (چند میکرون) سیلیکون نوع N و لایه ضخیم‌تری از سیلیکون نوع P تشکیل شده‌اند. سلول‌هایی که از سیلیکون ساخته می‌شوند از لحاظ تئوری بازده ماکزیمم حدود ۲۲ درصد دارند. اما امروزه سلول‌هایی با بازده ۱۰ الی ۱۸ درصد به صورت عملی در بازار وجود دارند. میزان توان تولیدی در نور مستقیم خورشید، به طور متوسط ۱۲ میلی وات در هر سانتی متر مربع است. هزینه‌های بالای مواد مورد استفاده و فرآیندهای ساخت این سلول‌ها، استفاده‌ی وسیع از این نوع سلول‌ها را محدود ساخته است.



تصویر ۵۳- یک سلول خورشیدی سیلیکونی بلوری

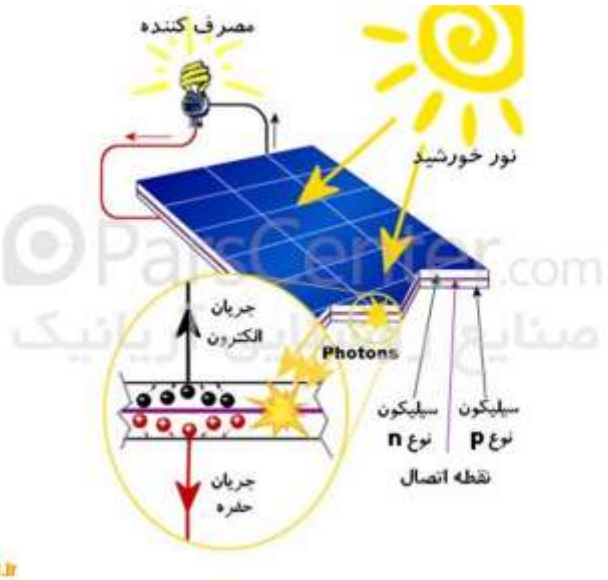
[1] Solar Cell



سلول های خورشیدی سیلیکونی:

سلول خورشی‌دی (photoelectric cell یا solar cell) یا سلول فتوولتائیک(photovoltaic cell) ، یک قطعه الکترونیکی جامد است که درصدی از انرژی نور خورشید را، مستقیما توسط اثر فوتوولتائیک که پدیده‌ای فیزیکی و شیمیایی است، به الکتریسیته تبدیل می‌کند.

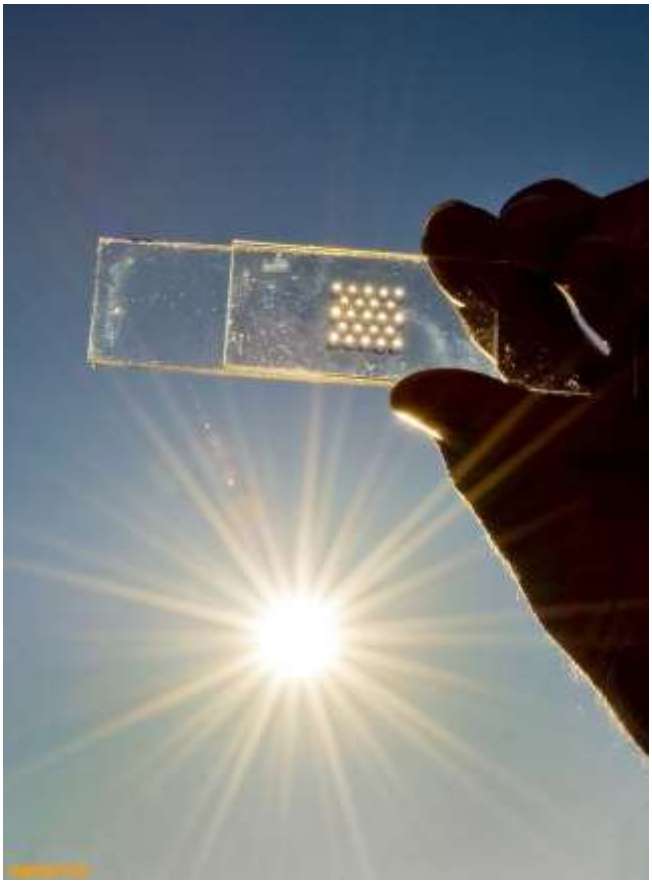
سلول‌های خورشیدی ساخته شده از ویفرهای سیلیکون، کاربرد بسیاری دارند. سلول‌های تکی، برای فراهم کردن توان لازم دستگاه‌های کوچک‌تر، مانند ماشین حساب الکترونیکی به کار می‌روند. آرایه‌های فوتوولتائیک، الکتریسیته پایدار و تجدیدپذیری را تولید می‌کنند که عمدتاً در موارد عدم وجود شبکه انتقال و توزیع الکتریکی کاربرد دارد.



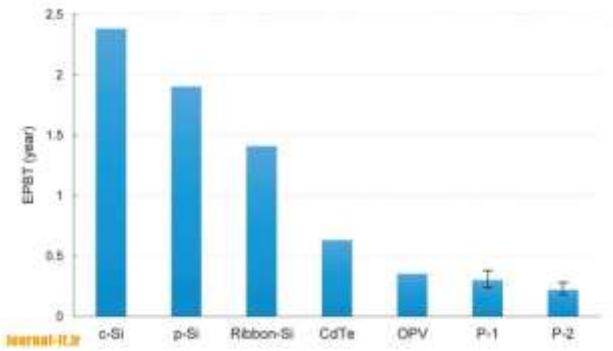
برای مثال می‌توان به محل‌های دور از دسترس، مانند ماهواره‌های مدارگرد، کاوشگرهای فضایی و ساختمان‌های مخابراتی دور از دسترس اشاره کرد. علاوه بر این استفاده از این نوع انرژی امروزه در محل‌هایی که شبکهٔ توزیع هم موجود است، به منظور کمک به کم کردن تکیه و فشار بر سوخت‌های فسیلی و دیگر دشواری‌های محیط زیست و نیز از دیدگاه اقتصادی مرسوم شده‌است.

سلول های خورشیدی پروسکایت:

سلول خورشیدی فیلم نازک(TFSC) ، که سلول فتوولتائیک فیلم نازک (TFPV) نیز نامیده می‌شود، نسل دوم سلولهای خورشیدی است که از قرار دادن یک یا چند لایه یا پوشش نازک (TF) از مواد فتوولتائیک بر روی لایه‌ای از شیشه، پلاستیک یا فلز درست می‌شود. از لحاظ تجاری سلولهای خورشیدی فیلم نازک با استفاده از تکنولوژی‌های مختلفی ساخته می‌شوند، که از جمله متریال‌های مورد استفاده در ساخت سلول‌های فیلم نازک به تلوراید کادمیوم(CdTe) ، سلنایید گالیوم ایندیوم مس (CIGS) و امورف و دیگر سیلیکون‌های با پوشش نازک (a-Si, TF-Si) می‌توان اشاره کرد.



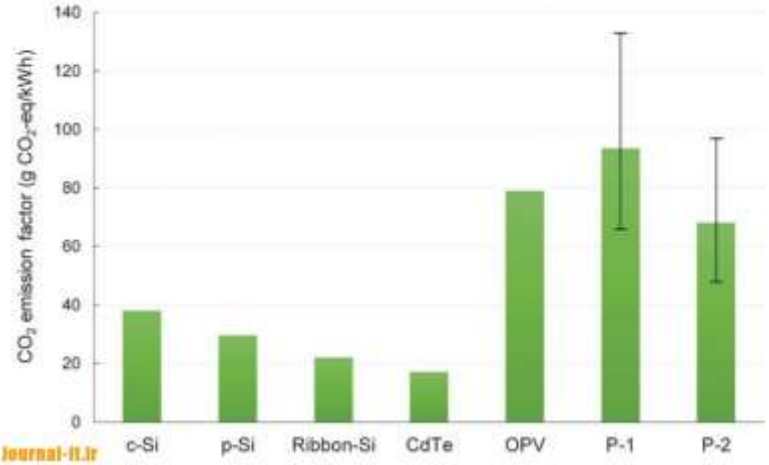
ضخامت پوشش از چند نانومتر (nm) تا دهها میکرومتر (Mm) متفاوت می‌باشد و بسیار نازکتر از تکنولوژی قدیمی و اولین نسل سلولهای خورشیدی سیلیکون کریستالی (c-Si) است، که از ویفرهای سیلیکونی تا ۲۰۰ میکرو متر استفاده می‌کند. این امر باعث می‌شود تا سلولهای فیلم نازک انعطاف‌پذیر بوده، وزن و نیروی مقاومت هوا کمتری داشته باشد. این تکنولوژی در سیستم‌های فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان استفاده می‌شود و همچنین به عنوان مواد نیمه شفاف شیشه‌ای فتوولتائیک برای پوشاندن پنجره‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در دیگر کاربردهای تجاری سلول‌های فیلم نازک می‌ان دو صفحهٔ شیشه‌ای قرار می‌گیرند، و به صورت پنل‌های خورشیدی در برخی از بزرگترین نیروگاههای برق فتوولتائیک جهان استفاده می‌شوند.



حال دانشمندان در دانشگاه نورت وسترن با همکاری وزارت انرژی آمریکا ادعا می کنند که سلول های پروسکایت که یکی از فناوری های تازه تاسیس است می تواند هزینه های راه اندازی های خود را تا ۱۰ برابر سریع تر از سلول های خورشیدی مبتنی بر سیلیکون سنتی بازپرداخت دهد آن ها خاطر نشان کردند که سلول های پروسکایت به زودی می توانند انرژی خورشیدی را به قیمت ارزانتری و تاثیر کمتری بر محیط زیست با طولانی شدن عمر خود دارند. با نصب پانل های خورشیدی بی شک یک تاثیر مثبت در محیط زیست داریم و با کمتر کردن سوخت های فسیلی هوای طبیعی را برای نسل های بعد از ما هم به ارث بگذاریم.

اما درست است که انرژی های تجدید پذیر کمک شایانی در منتشر نشدن کربن در هوا دارد اما به دست اوردن این انرژی کار آسانی نیست و فرآیندی شامل پردازش ، ساخت ، تعمیر و نگهداری دارد که عامل تعمیر و نگهداری مهم محسوب می شود و به میزان بازدهی این پنل ها بستگی دارد و پس از این همه پیچیدگی خروجی کار یک انرژی پاک و بدون آلایندگی محسوب می شود.

پانل های خورشیدی با توجه به چرخه تولید انرژی در آنها تولید انرژی با کمی تاخیر همراه است و به همین دلیل بازدهی کمتری نسبت به پروسکایت دارد به همین دلیل دانشمندان به محاسبه این روش جدید پرداختند که نتیجه از این قرار بود که بازدهی این روش بین دو تا سه ماه است اما نسل قدیمی این روش بین ۵ ماه تا یک سال بر آورد می شد و تا الان سریعترین روش برای تولید و ذخیره انرژی محسوب می شود این فناوری به سرعت در حال تجاری شدن است و با دادن تسهیلات از جانب دولت مردم به این روش سوق پیدا می کنند.



این پنل ها به طور دراز مدت بسیار کارآمد تر از پانل های قدیمی سیلیکونی است به این معنی که تجاری سازی آن صرفه ی بسیار زیادی در تولید انرژی پاک می کند. این انرژی (خورشید) در ۸۰ درصد کشور ما وجود دارد ولی تا الان بستری برای تجاری سازی آن وجود ندارد دولت با ارائه وام و تسهیلات به مراکز صنعتی، پاساژ های تجاری ، اداره های دولتی و حتی خانه های شخصی که بخش عظیمی از مصرف انرژی را تشکیل می دهد در طولانی مدت می تواند این هزینه ها را جبران کرده و از هزینه های جاری نیروگاه های فسیلی که خیلی وقت است که در کشور های اروپایی در حال برچیده شدن است صرف درمان ، خدمات و آموزش به مردم شود به امید روزی طبیعت بتواند نفسی راحت بکشد.

۲،۵. کاربرد گرافن در سلول‌های خورشیدی

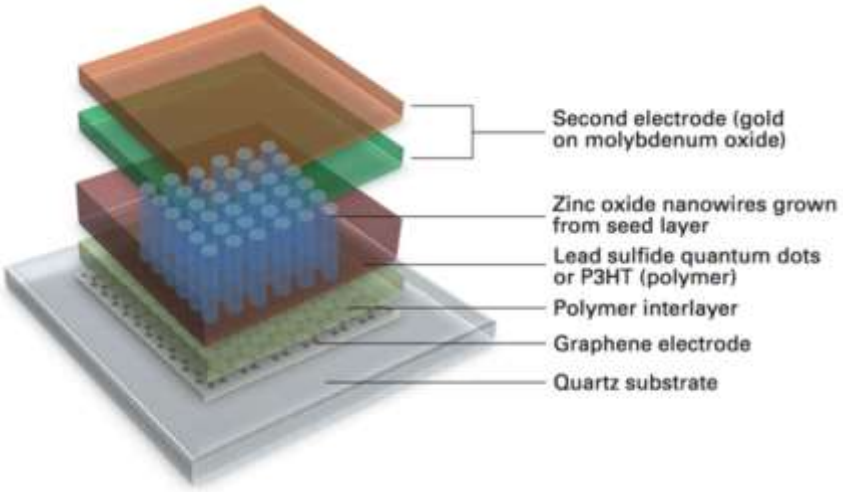
یکی از موضوعاتی که کماکان روی آن تحقیقات گسترده‌ای صورت می‌گیرد تبدیل مستقیم انرژی تابشی خورشید به انرژی الکتریکی با استفاده از تجهیزات فتوولتائیک است. در حال حاضر سیلسیم اصلی‌ترین ماده مورد استفاده جهت جذب انرژی تابشی است که بخش اعظم بازار فتوولتائیک را نیز به خود اختصاص داده است. با این حال به دلیل محدودیت‌هایی که این عنصر از نظر هزینه و ضریب تبدیل انرژی داراست، تحقیقات گسترده‌ای به منظور بهبود خواص آن یا جایگزینی آن با مواد دیگر در حال انجام است. در این رابطه یکی از موادی که در سال‌های اخیر به دلیل خواص مکانیکی، الکترونیکی و اپتیکی آن به شدت مورد توجه قرار گرفته است، گرافن است.

با توجه به شفافیت و رسانایی گرافن، کاربرد این ماده در تجهیزات فتوولتائیک به طور گسترده‌ای مورد بررسی و تحقیق گرفته است. ویژگی‌های گرافن تمامی با تمام نیازمندی‌های یک CE مطابقت دارد: سطح ویژه بالا، چگالی جریان تبادلی بالا و مقاومت جا به جایی بار کم. گرافن پاسخگوی چندین عملکرد در تجهیزات فتوولتائیک منعطف با هزینه‌ای کم است:

- ✓ دریچه رسانای شفاف
- ✓ ماده فتوولتائیک
- ✓ کانال انتقال بار
- ✓ کاتالیست

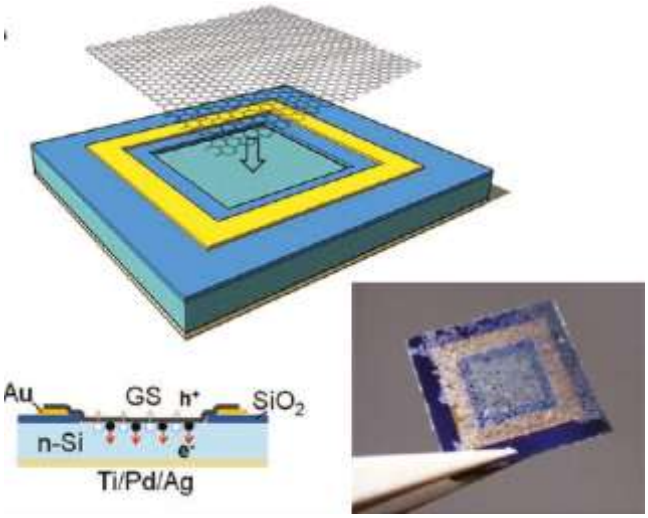
تعداد متعددی سلول‌های خورشیدی بر پایه گرافن معرفی شده‌اند که گرافن در اجزای مختلفی از سلول مورد استفاده قرار گرفته است. گرافن یکی از موادی است که می‌تواند جایگزین اکسید قلع ایندیم (ITO) شود که در حال حاضر ماده استاندارد برای الکترودهای شفاف مورد استفاده در سلول‌های خورشیدی محسوب می‌شود.. قابلیت انتقال بسیار بالای الکترون در گرافن (در شرایط ایده‌آل ۱۰۰ برابر بیشتر از سیلیکون) در کنار استحکام بالا و شفافیت بالا (جذب تنها ۲/۳ درصد از نور و انتقال ۹۷/۷ درصد باقی) گرافن را به یک گزینه مناسب جهت کاربردهای فتوولتائیک تبدیل کرده است.

سرعت بهبود بهروموری تجهیزات فتوولتائیک بر پایه گرافن در حال حاضر سریع‌تر از سایر مواد ساخته شده است؛ بیشترین بهره‌وری گزارش شده برای سلول‌های خورشیدی رنگ‌حساس تولید شده با الکترودختنی بر پایه گرافن حدود ۱۳ درصد است. گرافن خالص و اکسید گرافن کاهش‌یافته بهترین چشم‌انداز را برای کاربرد به عنوان رساناهای شفاف دارند با این حال، این مواد به تنهایی پاسخ‌گوی نیازمندی‌های موجود نیستند. مواد مذکور باید از نظر الکتریکی دوپ شوند و یا به عنوان بخشی از یکی سیستم هیبریدی فلزی مورد استفاده قرار بگیرند.



تصویر ۵۴- سلول خورشیدی با نانوسیم‌ها و الکترودهای گرافنی

فیلم‌های صفحات گرافن می‌تواند با سیلیکون برای تشکیل اتصالات شاتکی ترکیب شده و سلول‌های خورشیدی با بهره‌وری بالاتر تولید کنند.



تصویر ۵۵- کاربرد دیود شاتکی گرافن- سیلیکون در سلول‌های خورشیدی

۳،۵. بازار جهانی سلول خورشیدی

۱،۳،۵. محرک‌های بازار

از جمله روندهای موجود در بازار جهانی سلول‌های خورشیدی که منجر به خلق فرصت جهت به کارگیری گرافن در این صنعت می‌شود می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

نیاز به بهبود بهره‌وری سلول‌های خورشیدی: در حال حاضر غالب سلول‌های فتوولتائیک بر پایه سیلیکون‌های کریستالی هستند (حدود ۹۰ درصد از سهم تولید جهانی). بازده تبدیل انرژی این سلول‌ها بالاست با این حال به دلیل استفاده از سیلیکون با خلوص بالا هزینه تولید بالایی نیز دارند. سلول‌های خورشیدی فیلم نازک نسبتا هزینه تولید کمتری دارند اما در مقابل بازده تبدیل انرژی آن‌ها پایین است و عمر کوتاه‌تری نسبت به سیلیکون‌های کریستالی دارند. در این رابطه پلیمرهای رسانا با گرافن دوپ شده، بازده بالاتری را در سلول‌های رنگ حساس نسبت به الکترودهای خنثی بر پایه PEDOT:PSS از خود نشان داده‌اند.

کاهش هزینه‌ها: بازار رو به رشد سلول‌های خورشیدی باید بتواند هزینه‌های خود را تا حد برابری شبکه (هزینه تامین انرژی الکتریکی از شبکه) کاهش دهد. هدف‌گذاری صنعت سلول‌های خورشیدی کاهش هزینه‌های تولید به کمتر از ۱ دلار برای هر وات است.

شرایط محیطی متغیر: سلول‌های خورشیدی باید نسبت به تغییرات دمایی بالا مقاوم باشند و در شرایط مختلف قابلیت جذب نور، تولید انرژی الکتریکی و ذخیره یا تحویل آن را به سیستم داشته باشند.

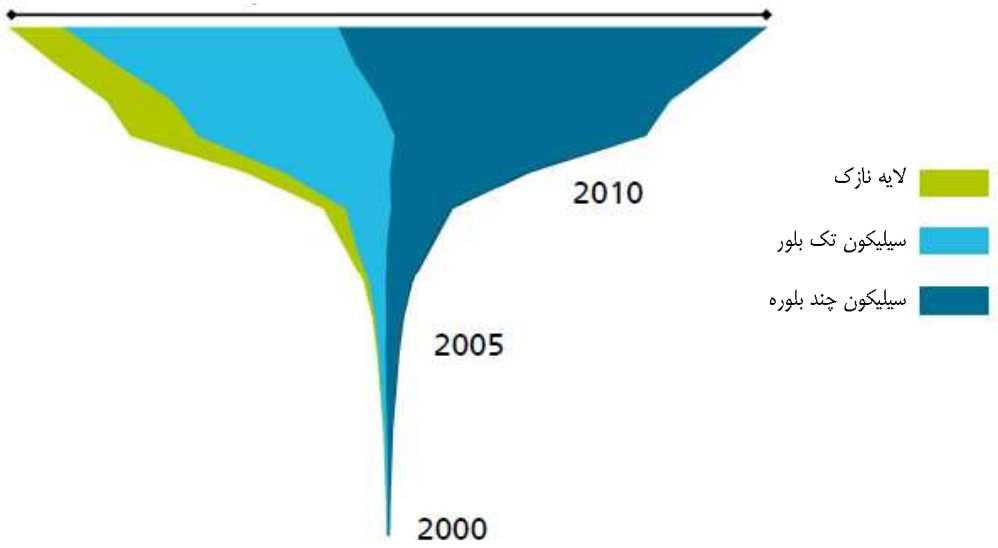
۲،۳،۵. اندازه بازار

بازار جهانی تجهیزات فتوولتائیک یکی از بازارهایی است که سرعت رشد بالایی را طی سال‌های گذشته تجربه کرده است، به طوری که نرخ رشد سالانه آن طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ حدود ۴۴ درصد بوده است. از نظر تولید ماژول‌های فتوولتائیک، دوکشور چین و تایوان

مجموعا با سهم ۶۹ درصد در جایگاه اول و پس از آن‌ها کشورهای اتحادیه اروپا، ژاپن و آمریکای شمالی هریک به ترتیب با ۶ درصد، ۴ درصد و ۴ درصد قرار دارند. با این حال از منظر مصرف، کشورهای اتحادیه اروپا حدود ۴۸ درصد و چین و تایوان ۱۷ درصد از سهم تجهیزات فتوولتائیک نصب شده جهان را در اختیار دارند.

در سال ۲۰۱۴ فناوری فتوولتائیک بر پایه ویفرهای سیلیکون حدود ۹۲ درصد از سهم تولید انواع سلول‌های خورشیدی را به خود اختصاص داده است. در این رابطه سهم فناوری سیلیکون چندکریستالی از تولید ۵۶ درصد بوده است. سهم بازار فناوری‌های فیلم نازک نیز در سال ۲۰۱۴ حدود ۹ درصد بوده است.

تولید حدود ۴۷/۵ GWp ماژول فتوولتائیک در سال ۲۰۱۴



تصویر ۵۶- میزان تولید ماژول‌های فتوولتائیک در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴

بررسی زنجیره ارزش

تولید و راه اندازی سیستم‌های خورشیدی مراحل مختلفی دارد که عبارتند از:

۱- پلی سیلیکون: یک ماده خام سیلیکونی است که ذوب شده و دوباره قالب‌گیری می‌شود تا ناخالصی‌های آن حذف گردد.
۲- شمش: سیلیکون قالب ریزی شده است که به صورت پلی کریستالاین تثبیت شده است. این قالب‌ها شمش نامیده می‌شوند و به در اندازه‌های مختلف برش می‌خورند.
۳- ویفر: شمش‌ها به صورت ویفر برش می‌خورند. ویفرهای نوع P و نوع n بسته به نوع برش سیلیکون تولید می‌شوند.
۴- سلول خورشیدی: با عنوان سلول فتوولتائیک هم شناخته می‌شود. در این مرحله الکترودها به ویفرها جهت هدایت جریان الکتریسیته وصل می‌شوند.
۵-ماژول‌های خورشیدی: برای افزایش توان خروجی استفاده می‌شوند. سلول‌های خورشیدی زیادی به هم متصل می‌شوند تا یک ماژول را ایجاد نمایند، که خود آنها با مونتاژ شدن به واحدهای بزرگتری به نام آرایه تبدیل می‌شوند. این عملکرد سلول‌های خورشیدی طراحان را قادر می‌سازند تا سیستم‌هایی با توان‌های خروجی متفاوت و کاربردهای متفاوت طراحی نمایند.

۶- نصب و راه‌اندازی: نصب و راه اندازی شامل سرم هم کردن اجزای مختلف سیستم است. این اجزا شامل اتصالات الکتریکی، نصب سخت افزارها، نصب باتری‌ها و تجهیزات ذخیره انرژی خورشیدی است.



تصویر ۵۷- زنجیره ارزش تولید و راه اندازی سلول‌های خورشیدی

۴،۵. وضعیت بازار داخلی

جدول ۳۷ - لیست شرکتهای تماس گرفته شده در زمینه سلول‌های خورشیدی

ردیف	نام شرکت	حوزه فعالیت
۱	شرکت فراز پنداران آریا موج (فرپام)	ارائه تجهیزات خورشیدی
۲	صنایع الکترونیک سازان سمنان	تولید سلول‌ها خورشیدی

شرکت فرپام: شرکت فراز پنداران آریا موج (فرپام) را جمعی از فارغ‌التحصیلان دانشگاه صنعتی شریف و تهران در سال ۱۳۸۸ تأسیس کرده‌اند. شرکت فرپام ارائه‌دهنده راه‌کارهای زیرساخت مراکز حیاتی(MCIS) است. مراکز حساسی همچون دیتا سنترها، صنایع حساس، بورس و اطلاعات مالی، حمل و نقل، بیمارستان‌ها، سایت‌های نظامی و ... .

در این راستا شرکت فرپام محصولات و خدمات زیر را مطابق با استانداردهای مراکز حیاتی ارائه می‌دهد:

- ✓ انواع باتری و ذخیره‌کننده‌های انرژی
- ✓ انواع یو پی اس، استابیلایزر، دیزل ژنراتور و رکتیفایر
- ✓ تجهیزات سولار
- ✓ سرور، استوریج و سوییچ

آقای تیموری مدیر بخش خورشیدی این شرکت، دلیل عدم تولید سلول خورشیدی را در داخل نبود تکنولوژی و تولید نکردن مواد اولیه مورد نیاز مانند نیمه هادی‌ها دانستند. ایشان گفتند که در حال حاضر سه تکنولوژی مختلف برای تولید سلول‌های خورشیدی وجود دارد. الف) لایه نازک: این سلول‌ها راندمان پایینی دارند و در دنیا ارزانتر هستند و مزیتی که دارند این است که با نور کم هم انرژی تولید می‌کنند. در ایران چون استفاده از این نوع سلول‌ها جا نیفتاده است قیمت آن‌ها بیشتر از انواع دیگر می‌باشد. ب) مونو کریستال: این سلول‌ها از یک کریستال سیلیکون به صورت ویفر ساخته شده‌اند و به دلیل تیره بودن سطحشان بیشتر در مناطق سرد و خنک کاربرد دارند زیرا در مناطق گرم به علت جذب گرمای زیاد دمایشان بالا می‌رود و مدارات داخلیشان ازبین می‌رود. تولید این سلول‌ها سخت و گران است. پ) پلی کریستال: در این

سلول‌ها کریستال‌های کوچک سیلیکون برش می‌خورند و در کنار هم قرار می‌گیرند. به همین دلیل سطحشان در مقایسه با مونو کریستال‌ها روشن‌تر و چند رنگ است. به همین دلیل از این سلول‌ها در مناطق گرم‌تر استفاده می‌شوند.

همچنین ایشان در رابطه با نحوه کار نیروگاه‌های خورشیدی بیان کردند که می‌توان از این نیروگاه‌ها به دو صورت متصل به شبکه و مستقل از شبکه استفاده کرد. در حالت متصل به شبکه نیازی به باتری وجود ندارد و برق تولیدی مستقیما وارد شبکه برق می‌شود. در مناطق دور افتاده که به شبکه برق دسترسی نیست نیاز به انباره انرژی است بیشتر از باتری‌های سیلد اسید استفاده می‌شود.

صنایع الکترونیک سازان سمنان: دکتر افتخاری مدیر عامل

جمع بندی

با توجه به زنجیره ارزش سلول‌های خورشیدی، استفاده از گرافن در مراحل قبل از تولید ماژول ممکن است و بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که شرکت‌های فعال در این حوزه در ایران وارد کننده هستند، در نتیجه نمی‌توانند از گرافن در محصولاتشان استفاده نمایند. تنها شرکت تولید کننده سلول‌های خورشیدی، صنایع الکترونیک سازان سمنان است که آن هم به دلیل مشکلات مالی در حال حاضر تعطیل شده است.

۶. توسعه‌دهندگان محصول

در جدول زیر توسعه‌دهندگان کاربردهای گرافن در حوزه انرژی ارایه شده است.

جدول ۳۸- شرکت‌های فعال در حوزه توسعه محصولات و کاربردهای گرافن در صنعت انرژی

شرکت	فعالیت
2-D Tech	این شرکت در حال کار با Dyesol برای توسعه گرافن در سلول‌های خورشیدی رنگ حساس است.
Ada Technologie, Inc.	این شرکت ثبت اختراعی برای مواد خازن مبتنی بر گرافن دارد.
AdvEN Solutions Inc.	این شرکت از گرافن و نانو لوله کربنی برای توسعه ابرخازن‌ها استفاده می‌کند.
Angstron Materials	این شرکت از گرافن به عنوان افزودنی در تولید کامپوزیت‌های مورد استفاده در الکترود ابرخازن‌ها استفاده می‌کند.
Apple	این شرکت درخواستی برای ثبت اختراع در زمینه چاله حرارتی برای باتری‌های لیتیمی و مدارهای مجتمع در تبلت‌ها و تلفن‌های هوشمند ارائه داده‌است.
BASF	این شرکت در حال توسعه استفاده از گرافن برای ابرخازن‌های قابل چاپ است.
BGT Materials Limited	تولید آند پیشرفته برای باتری‌ها با استفاده از گرافن
Bluevine Graphene Industries, Inc	این شرکت یک فرایند مقیاس بالا را برای تولید الکترودهای مبتنی بر گرافن توسعه داده است. از این الکترودها در خازن‌ها و حسگرهای زیستی استفاده می‌شود.
Cabot Corporation	این شرکت در سال ۲۰۱۳ افزودنی LITXTM G700 را که یک افزودنی پایه گرافنی برای کاربرد در باتری‌های لیتیم یون با دانسیته بالا می‌باشد، تولید کرد.
California Lithium Battery	این کمپانی در حال تجاری سازی نوعی باتری لیتیم-یون با آندی از جنس کامپوزیت سیلیکون-گرافن است.
Crayonano	تمرکز فعلی این شرکت در هسته‌زایی و بازده بالای نانو سیم‌های AlGaN روی گرافن برای لامپ‌های DUV LED است.
Grafoid	این شرکت در تجاری سازی باتری‌های لیتیم یون با کارایی بالا به نام MesoGraf™ درگیر است.
Graphene 3D Lab, Inc.	این شرکت یک باتری چاپ شده به صورت سه بعدی را به نمایش گذاشته است. همچنین این شرکت ثبت اختراعی در رابطه با مواد و روش‌های چاپ ۳ بعدی باتری ثبت کرده است.
Graphene Batteries AS	این شرکت گرافنی با گرید باتری برای بازار باتری‌های لیتیم-یون ساخته است.
Graphenex	این شرکت نمونه اولیه از یک ابرخازن با ظرفیت بالا را با استفاده از گرافن ساخته است.
Graphene ESD	این شرکت در سال ۲۰۱۴ برای توسعه فناوری ابرخازن‌های مبتنی بر گرافن که توسط آزمایشگاه‌های گرافن در دانشگاه استونی بروک بدست آمده‌بود تاسیس شد.
Graphene Lighting Plc	این شرکت در حال تولید یک لامپ رشته‌ای گرافنی با انتشار انرژی کمتر، طول عمر بیشتر و هزینه تولید کمتر است.
Hyundai and Kia	ثبت اختراع شماره ۲۰۱۳۰۰۶۵۱۵۴ امریکا یک پیل سوختی پیشرفته را توصیف می‌کند که که در ان از گرافن برای تقویت غشاء الکترولیت پیل استفاده می‌شود.
Phos Solar Systems	این شرکت یکی از شرکت‌های تایعه Grafoid است، که راه حل‌های مدیریت حرارت برای سیستم‌های خورشیدی مستقل را با استفاده از گرافن MesoGraf توسعه می‌دهد.
Sinode Systems	این شرکت آندهای گرافنی با ظرفیت انرژی تقریبا ده برابر آندهای گرافیتی معمول تولید می‌کند.

شرکت	فعالیت
Solan Corp	این شرکت ۱۶ ثبت اختراع انجام داده است و دستگاه‌های مبتنی بر پرافن پیشرفته‌ای برای کاربردهایی مانند سلول‌های خورشیدی، OLEDها، شناساگرهای نوری و وسایل الکترونیکی دیجیتال تولید کرده است.
Sunvault Energy, Inc	این شرکت بزرگترین ابرخازن گرافنی جهان را با ظرفیت ۱۰۰۰۰ فاراد ساخته‌است. قیمت این نوع ابرخازن مبتنی بر گرافن در حدود ۱۰۰ دلار برای هر کیلووات ساعت تخمین زده می‌شود. این شرکت برنامه دارد تا قیمت این ابرخازن را تا ۵۰ دلار برای هر کیلووات ساعت کاهش دهد.
Vorbeck Materials	این شرکت با همکاری PNNL و دانشگاه پرینستون در حال تجاری‌سازی نسل بعدی باتری‌های لیتیمی با فناوری گرافن است.
XG Sciences, Inc	این شرکت موادی برای باتری‌های لیتیم یون تولید می‌کند که ظرفیت آن چهار برابر آندهای معمول است.
Zappgocharger Ltd.	Zap&Go یک ابرخازن گرافنی است که به افزایش عمر باتری‌های گوشی‌های هوشمند کمک می‌کند.

فصل نهم
تحلیل بازار پزشکی

۱. معرفی

مراقبت‌های بهداشتی بزرگترین بخش خدمات در جهان است و در سال‌های اخیر استفاده از نانو مواد در فناوری پزشکی و درمان بیماران گسترش یافته‌است. نانو ذرات در اندازه ۱۰-۱ نانومتر، نه تنها به دلیل خواص منحصر به فرد وابسته به اندازیشان، بلکه به دلیل ابعاد مشابه به ماکرو مولکول‌های بیولوژیکی (مانند اسیدهای نوکلئیک و پروتیین‌ها) مورد توجه بسیاری قرار گرفته‌اند. این تشابهات اجازه می‌دهد تا فناوری نانو و زیست شناسی باهم ترکیب شوند، که موجب پیشرفت‌های عمده در تشخیص پزشکی، درمان و داروهای هدفمند شده‌است. استفاده از نانو مواد در پزشکی و مراقبت‌ها بهداشتی در زمینه‌های زیر در حال انجام است:

- ✓ تشخیص و نظارت بر بیماری
- ✓ ایمپلنت
- ✓ سطوح پزشکی
- ✓ منسوجات پزشکی
- ✓ تجهیزات پزشکی
- ✓ دارو رسانی
- ✓ کشف دارو

علاقه به خواص بیولوژیکی و پزشکی گرافن و نانو لوله‌های کربنی رو به افزایش است و انتظار می‌رود که مواد پزشکی حاوی گرافن و نانو لوله‌های کربنی برای استفاده‌های بالینی توسعه یابد.

۲. کاربردهای گرافن در پزشکی

نانو مواد کربنی برای کاربردهای متعددی در پزشکی و داروهای نانویی، مانند استفاده از آنها در سیستم‌های چند منظوره پیچیده در درمان، تصویربرداری و تشخیص، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. تحقیق درباره گرافن برای کاربرد در زمینه‌های دارو رسانی، پوشش‌های ایمپلنت و درمان سرطان به دلیل خواص منحصر به فرد فیزیکی و شیمیایی آن افزایش یافته است. در جدول زیر خواص جذاب گرافن و کاربردهای آن در حوزه پزشکی ارایه شده است.

جدول ۳۹- خواص گرافن مرتبط با کاربرد آن در پزشکی و سلامت

خواص	کاربرد
مساحت بسیار زیاد و عاملدار کردن سطح	دارو رسانی و ژن رسانی
جذب ذاتی بالای امواج نزدیک به مادون قرمز	تصویر برداری چند کیفیتی[1] گرما نوری برای تشخیص سرطان و شیمی درمانی

کاربردهای گرافن که توسعه یافته‌اند یا به صورت نظری نشان داده شده‌اند، عبارتند از:

- ✓ حسگرهای زیستی
- ✓ دارو رسانی
- ✓ تصویر برداری پزشکی
- ✓ درمان‌های ضد سرطان
- ✓ تحریک الکتریکی سلول‌ها
- ✓ مواد آنتی باکتریال
- ✓ جذب آنزیم
- ✓ طب ترمیمی

در ادامه برخی از کاربردهای گرافن در حوزه‌های مختلف تشریح می‌شود.

۱،۲. درمان سرطان

دارو رسانی درمانی یکی از بازارهای اصلی برای کاربردهای مبتنی بر نانومواد است، که اخیرا از آن برای درمان‌های طراحی شده برای بیماری‌های خاص به ویژه درمان سرطان استفاده شده است. خواص منحصر به فرد نانو مواد هنگامی که با بار پذیری بالا و انتشار کنترل شده ترکیب شود، عملکرد بسیار خوبی را برای دارو به همراه خواهد داشت. صنعت داروسازی با تعدادی چالش‌های تکنولوژیک و بازاری در سال‌های آینده روبه‌رو خواهد بود:

- ✓ حلالیت بهبود یافته
- ✓ افزایش اثر بخشی محصول
- ✓ دارو رسانی هدفمند فعال
- ✓ احتیاج به کاهش عوارض جانبی داروهای درمان سرطان
- ✓ مقرون به صرفه (هزینه تولید یک داروی جدید می‌تواند بیش از ۸۰۰ میلیون دلار باشد)
- ✓ افزایش عمر محصول

دارورسانی یکی از بازارهای اصلی برای کاربردهای مواد نانویی است، به خصوص در درمان سرطان، که بیماران از عدم انتخاب‌پذیری شیمی درمانی رنج می‌برند، که موجب عوارض جانبی و بازده پایین روش درمانی می‌شود. خواص منحصر به فرد نانو ذرات، مانند نسبت سطح به حجم زیاد، اندازه کوچک، قابلت کپسوله کردن داروهای مختلف، شیمی سطح قابل تنظیم، به آن‌ها برتری‌های بسیاری نسبت به مواد بالک همانندشان می‌شود. نانو موادی که برای درمان سرطان، اختلالات التهابی، بیماری‌های عفونی و بیماری‌های قلبی عروقی به کار می‌روند، به داروها کمک می‌کنند تا به بافت بیمار برسند و محموله خود را به صورت کنترل شده، آزاد کنند. این کار موجب افزایش دوز موثر دارو و کاهش همزمان عوارض جانبی آن می‌شود. این خواص استفاده از نانو ذرات را به نوعی روش درمانی با قابلیت‌هایی بالاتر از روش‌های معمول درمان سرطان تبدیل می‌کند.

مزایای استفاده از اکسید گرافن در دارورسانی شامل سطح ویژه بالا، تهیه آسان، سمیت کم، حلالیت خوب و پایداری در محلول‌های آبی و هزینه کم آن است. در مقایسه با گرافن، اکسید گرافن دارای میزان بیشتری از گروهای عاملی مانند هیدروکسیل، کربنیل، کربوکسیل و گروه‌های اپوکسی است، به

[1] multimodal

همین دلیل عامل‌دار کردن زیست شیمیایی آن آسان‌تر است و سازگاری بالاتری دارد. اکسیدهای گرافنی موادی با سطح ویژه بسیار بالا هستند که تمامی اتم‌های آن در سطح قرار گرفته‌اند و اجازه بارگذاری زیاد دارو و ژن را روی آن‌ها می‌دهد.

۲،۲. پانسمان‌های زخم

پانسمان‌های زخم یک بازار بالقوه بزرگ است. گرافن باعث چسبندگی و تجمع پلاکتی، بهبود لخته شدن، و دارای خواص ضد عفونی است. استفاده از گرافن در باندها و پانسمان‌ها ممکن است لخته شدن خون را در مواردی مانند خونریزی، اختلاط خونی و برخی سرطان‌ها بهبود بخشد.

۳،۲. حسگرهای زیستی

در سال‌های اخیر، رشد استفاده از تشخیص‌های آزمایشگاه روی تراشه (LOC)[1] و بر بالین بیمار (POC)[2] برای شناسایی و بررسی بیماری‌ها (و همچنین نظارت بر کیفیت آب و مواد غذایی) موجب تحقیقات برای استفاده از نانو مواد به عنوان المان‌های حسگرها شده است. مشتقات گرافن، شامل گرافن خالص، اکسید گرافن، GO احیاء شده به صورت شیمیایی و گرافن دوپ شده به شدت برای کاربردهای گسترده‌شان در حسگرهای زیستی و شناسایی بیوملکول‌ها[3] مانند ترومبین[4]، اولیگونو کلئوتید[5]، اسید آمینه[6]، دوپامین[7] مورد بررسی قرارگرفته‌اند. خواص منحصر به فرد الکترونیکی، پایداری شیمیایی بالا و یکنواختی ساختاری گرافن و مشتقاتش، این ماده را بهترین گزینه برای ساخت حسگرهای زیستی قابل اعتماد، بسیار حساس و بسیار سریع می‌کند.

بیشتر تحقیقات روی توسعه روش‌های مقرون به صرفه و با قابلیت تولید انبوه متمرکز شده‌است، تا خواصی مانند حساسیت، انتخاب‌پذیری، پایداری، سرعت و تکرارپذیری این حسگرها را بهبود ببخشد. هدف نهایی تصویر برداری چندگانه و بی‌درنگ[8] از بیو مولکول‌ها یا سلول‌ها است. همچنین علاقه به استفاده از گرافن در توسعه حسگرهای انتقال انرژی رزونانس فلورسانس (FRET)[9] برای شناسایی DNA نیز رو به افزایش است. FRET شامل انتقال انرژی از یک اهداکننده فلوروفور[10] (مولکولی که قادر به فلوروسانس است) به فلوروفور پذیرنده است. مطالعات نظری و عملی اخیر نشان داده است که گرافن می تواند یک کونچر[11] بسیار کارآمد برای رنگ‌های مختلف آلی و نقاط کوانتومی باشد. در مقایسه با کونچرهای آلی، گرافن بازده کونچ بسیار بهتری را برای انواع فلوروفورها، با پس زمینه کم و نسبت بالای سیگنال به نویز از خود نشان می‌دهد.

[1] lab-on-a-chip
[2] point-of-care
[3] biomolecules
[4] thrombin
[5] oligonucleotide
[6] amino acid
[7] dopamine
[8] real-time
[9] Fluorescence Resonance Energy Transfer
[10] fluorophore
[11] quencher

۴،۲. تصویربرداری پزشکی

تابش اشعه ایکس به طور گسترده در بخش‌های پزشکی، امنیتی و بازرسی صنعتی استفاده می‌شود. با این حال، روش تولید اشعه ایکس از زمانی که کشف شد، تا به حال تغییر نکرده‌است. نانو لوله‌های کربنی به دلیل خواص منحصر به فردشان به عنوان یک ماده خوب برای گسیل میدانی در نظر گرفته می‌شوند. در تصویر برداری، تحقیقات بر روی گرافن برای بهبود تشخیص و درمان سرطان با هدف جلوگیری از عوارض جانبی مواد شیمیایی سمی موجود، در حال انجام است. پایداری نوری استثنایی گرافن، آن را نامزد امیدوارکننده‌ای برای کاربرد در زمینه‌های مختلف تصویر برداری می‌کند، نظیر موارد زیر:

- ✓ تصویربرداری فتوآکوستیک[۱]
- ✓ اولترا سونوگرافی[۲]
- ✓ تصویربرداری ام. آر. آی[۳]
- ✓ سی‌تی اسکن[۴]
- ✓ تصویر برداری نوری[۵]

۵،۲. دندان‌پزشکی

نیاز به مواد جدیدی برای استفاده در ترمیم دندان وجود دارد که در برابر شکست مکانیکی مقاوم باشند، سطوح بالایی از بیو میمیکری[۶] نشان دهد و از باکتری‌ها جلوگیری کند. استفاده از گرافن در کامپوزیت‌های دندان‌پزشکی، برای تولید پروتزهای ثابت دندان با طول عمر زیاد و عملکرد بالینی بهتر در حال توسعه است.

۶،۲. ایمپلنت‌ها و دستگاه‌های پزشکی

مزایای استفاده از نانو مواد در دستگاه‌های پزشکی و پوشش‌های آنها عبارتند از:

- ✓ اثر آنتی باکتریال طولانی
- ✓ آزادسازی مقدار ثابت ماده فعال
- ✓ موثر در برابر باکتری‌ها و میکرو اورگانیسم‌های دیگر
- ✓ بدون ناخالصی شیمیایی
- ✓ فرآورش راحت
- ✓ بدون تغییر در مشخصات ماده به کار گرفته شده
- ✓ بدون تغییر رنگ بعدی ماده به کار گرفته شده

[1] Photoacoustic imaging
[2] Ultrasonography
[3] Magnetic resonance imaging (MRI)
[4] Computed tomography
[5] Optical imaging
[6] biomimicry

از گرافن می‌توان برای اصلاح سطح مواد ایمپلنت موجود استفاده کرد تا سازگاری زیستی آن‌ها بهبود یابد. پوشش‌های گرافنی روی نیتینول[1]، عضلاتی صاف عالی به همراه دارد و رشد سلول‌های اندوتلیال[2] منجر به تکثیر سلولی بهتر می‌شود. همچنین گرافن پتانسیل این را دارد، تا به عنوان پوشش آنتی باکتریال برای دستگاه‌های پزشکی به کار رود. همچنین استفاده از آن برای ایمپلنت‌های حسی در حال بررسی است.

۳. وضعیت بازار جهانی

۱،۳. محرک‌های بازار

مواد معمول مورد استفاده در پزشکی و مراقبت‌های بهداشتی، به خصوص در دارورسانی و ایمپلنت‌ها، این حوزه را با محدودیت‌ها و مشکلاتی روبه‌رو کرده است که این موارد می‌تواند محرک بازار برای استفاده از مواد جایگزین نظیر گرافن باشد؛ برخی از آن‌ها در ادامه شرح داده شده است.

کاستی‌های شیمی درمانی: شیمی درمانی و پروتیین درمانی به عنوان دو روش درمانی رایج برای تومورهای بدخیم مطرح هستند؛ اما آن‌ها به دلیل سمیت وابسته به دوز و غیر فعال شدن داروهای پروتیینی ناشی از ثبات کمشان، اثر درمانی محدودی دارند. برای غلبه بر موانع و به حداقل رساندن تعداد دفعات دوز، استفاده از نانومواد به صورت گسترده مطالعه شده است.

سازگاری بافتی ایمپلنت‌های پزشکی: صنعت ایمپلنت‌های پزشکی شامل دیفیبری‌لاتورهای[3] قلبی کاشتنی، دستگاه‌های درمان مجدد قلب، ضربان ساز قلب، بافت و ایمپلنت‌های ارتوپدی ستون فقرات، تعویض مفاصل ران، لنزهای داخل چشمی فاکیک[4] و ایمپلنت‌های آرایشی و بهداشتی است. بهبود خواص سطح ایمپلنت‌های پزشکی برای بهبود یکپارچه شدن آن‌ها در محیط بیولوژیکی خود، موضوع عمده تحقیقات روی بیومتریال[5] است. ایمپلنت‌های پزشکی مانند ایمپلنت‌های ارتوپدی و دریچه‌های قلب، معمولا از آلیاژهای تیتانیوم و استیل، به دلیل زیست سازگاری[6] آنها، ساخته شده‌اند. با این حال، این آلیاژهای فلزی طول عمری درحدود ۱۵-۱۰ سال دارند و ممکن است در طول عمر بیمار فرسوده شوند. آن‌ها همچنین ممکن است ثبات و تناسبی مانند بافت اصلی نداشته باشند، و در بدترین حالت، عضو میزبان ممکن است که ایمپلنت را پس زند. همچنین اغلب مشکلاتی، در پایبندی استخوان به ایمپلنت‌های فلزی وجود دارد.

مقاومت آنتی بیوتیک: با توجه به توسعه نژادهای باکتری مقاوم به آنتی بیوتیک، نیاز رو به رشدی برای ارزیابی و توسعه روش‌های جایگزین برای درمان‌های ضد باکتری وجود داد.

روش‌های پیشرفته مراقبت از زخم: بازار روش‌های پیشرفته مراقبت از زخم، که با بهره‌گیری از ترکیبات اضافه بهبود را تسریع می‌کنند، بازاری با رشد قابل توجه است. نیاز زیادی به راه حل‌های جدید برای درمان زخم‌های مزمن و سخت وجود دارد. سالانه بیش از ۵ میلیون حادثه با زخم‌های مزمن در امریکا رخ می‌دهد و پانسمان‌های پیشرفته فعلی مانند کوییک‌لات[7] گران هستند. استفاده از آن‌ها به ویژه در مراقبت‌های خانگی و امکان استفاده طولانی مدت در حال افزایش است.

---

[1] nitinol
[2] endothelial
[3] defibrillators
[4] phakic
[5] biomaterial
[6] biocompatible
[7] QuikClot

۲،۳. اندازه بازار

ارزش سالانه بازار جهانی صنعت بهداشت و سلامت برابر ۱۳۰ میلیارد دلار است. فرصت‌های متعددی برای گرافن در تحقیقات پزشکی وجود دارد، که امیدوارکننده‌ترین آن‌ها دارو رسانی و حسگرها هستند. ارزش بازار تشخیص‌های TOC، در سال ۲۰۲۰ به بیش از ۳۰ میلیارد دلار خواهد رسید. برخلاف گرافن خالص، مشتقات اکسید شده قابل توزیع در آب، استفاده از آن‌ها را در پزشکی جذاب می‌کند. در جدول زیر کاربردهای گرافن در بخش‌های مختلف حوزه پزشکی، اندازه بازار و مرحله تجاری شدن آنها ارایه شده است.

جدول ۴۰- گرافن در بازار بهداشت و سلامت

بازار	کاربرد	مرحله تجاری شدن	اندازه بازار
بهداشت و سلامت	دارو رسانی	۱-۲	بیش از ۱ میلیارد دلار
	پوشش‌های پزشکی	۲-۳	۲۵۰-۵۰۰ میلیون دلار
	حسگرهای زیستی	۱-۲	۲۵۰-۵۰۰ میلیون دلار
	تصویر برداری و تشخیص	۱-۲	۲۵۰-۵۰۰ میلیون دلار

۳،۳. توسعه‌دهندگان محصول

در جدول زیر محصولات گرافنی و توسعه‌دهندگان کاربردها در حوزه پزشکی و سلامت ارایه شده است.

جدول ۴۱- شرکت‌های فعال در حوزه پزشکی و سلامت

شرکت	فعالیت
2-DTech	این شرکت به همراه Evodental برای بکارگیری گرافن در حوزه دندانپزشکی بودجه ۱۵۰ هزار پوندی از InnovateUK دریافت کردند.
Bio-Pharma Chemical	این شرکت درحال توسعه بافت‌های عضلانی برای پوشش دریچه‌های قلبی و عروقی مصنوعی با استفاده از گرافن می‌باشد.
Clemson University	محققان این دانشگاه یک پوشش گرافنی برای کاربردهای استنت قلبی و عروقی ساختند.
Graphene Frontiers	این شرکت حسگرهای گرافنی Six™ را برای کاربرد در حسگرهای شیمیایی و زیستی ساخته‌است.
Graphene Laboratories, Inc.	Q-Graphene برای استفاده بالقوه در دارورسانی، درمان سرطان و عکس‌برداری‌های پزشکی با عملکرد بالا در نظر گرفته شده است.
Graphene Sensors, Inc.	فناوری بیوحسگر GS7 این شرکت برای تشخیص زود هنگام سلول‌های سرطانی استفاده می‌شود.
Nano Labs Corp.	این شرکت یک ماده نوآورانه شریان بند تولید کرده است که در حال حاضر به صنت پزشکی ارایه شده است. این نوآوری شامل یک مش شریان بند نانوبیوتکنولوژی است که یک مانع مکانیکی برای توقف جریان خون، حفاظت فیزیکی و شیمیایی و خواص آنتی باکتریال ایجاد می‌کند. نانو الیاف پی وی سی، ورق‌های اکسید گرافن و نانو ذراتی که ترکیب می‌شوند برای تولید پلیمرهای مصنوعی محلول در آب، برای ساخت این محصول استفاده شده است.
Nanomedical Diagnostics, Inc.	این شرکت دستگاه های بیو الکترونیک مبتنی بر گرافن را برای تشخیص و تحقیقات توسعه و تجاری می‌کند.
Sony	این شرکت پروانه ثبت اختراعی با شماره: ۲۰۱۲/۶۱۳،۰۲۸۹ برای کاربرد گرافن در دارو رسانی ثبت کرده است. این امولیسیون بر پایه این کشف است که گرافن اکسید یک آمفی فیل با لبه‌های آبدوست است و بنابراین گرافن اکسید می‌تواند به عنوان سورفاکتانت عمل کند.

Theragnostic Technologies	این شـرکت یک ماده MRI بر پایه گرافن، با نام ManGraDex را تولید کرده است. این شرکت مدعی است که این ماده کنتراست‌زا[1] جدید تا حد زیادی ایمنی و اثر بخشی MRI را بهبود می‌بخشد و بازار MRI را به بیماران کلیوی و قلبی گسترش می‌دهد.

۴،۳. چالش‌های بازار

با توسعه سریع کاربردهای پزشکی نانو مواد کربنی، مانند گرافن و نانو لوله‌های کربنی، درک سرنوشت دراز مدت، تاثیر بر سلامتی، دفع و تجزیه این مواد به امری حیاتی تبدیل شده است. در توسعه هر محصولی حاوی نانو مواد، به خصوص در حوزه پزشکی، باید بر چالش‌های سمیت و عامل‌های سطحی غلبه کرد؛ بنابراین زیست‌سازگار بون این مواد مسئله مهمی است.

ماهیت غیر قابل تجزیه گرافن و پتانسیل آن برای سمیت عصبی در طولانی مدت، نگرانی‌های موجود در کاربردهای پزشکی هستند، و این موضوعات ارزش بررسی بیشتر قبل از استفاده بالینی را دارند. چگونگی تجزیه گرافن و دفع آن هنوز به خوبی توضیح داده نشده است. با وجود مطالعات متعدد، به دلیل تفاوت در ابعاد، عاملدار کردن و خالص‌سازی نمونه گرافن استفاده شده، سمیت گرافن در کاربردهای پزشکی هنوز به درستی بیان نشده است.

بازار ایران

جدول ۴۲-لیست مراکز تماس گرفته شده در صنعت پزشکی

ردیف	حوزه فعالیت	نام شرکت/سازمان	نام شخص	سمت
۱	زخم بند	نانو الوند آراد	دکتر قهرمانی	مدیر عامل
۲	حسگر	دانشکده شیمی دانشگاه صنعتی اصفهان	دکتر علی اصغر انصافی	عضو هیئت علمی
۳	حسگر	دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تهران	دکتر محمد عبدالاحد	عضو هیئت علمی
۴	مهندسی بافت	دانشکده فناوری‌های نوین پزشکی دانشگاه علوم پزشکی ایران	دکتر صمدی	عضو هیئت علمی
۵		دانشکده فناوری‌های نوین پزشکی دانشگاه علوم پزشکی ایران	دکتر مهدی‌زاده	
۶	دارو رسانی	گروه نانو فناوری پزشکی دانشکده فناوری‌های نوین پزشکی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران	دکتر مسعود خسروانی	عضو هیئت علمی
۷	حسگر	گروه نانو فناوری پزشکی دانشکده فناوری‌های نوین پزشکی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران	دکتر حسین قنبری	عضو هیئت علمی
۸		پژوهشکده علوم نانو پژوهشگاه دانش‌های بنیادی	آقای دکتر عسگری	ریاست

[1] Contrast agent

۹	مهندسی بافت	مرکز تحقیقات نانو تکنولوژی پزشکی و مهندسی بافت	دکتر حبیب الله پیروی	عضو هیئت علمی
۱۰	-	دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی	دکتر هاشم رفیعی تبار	مدیر گروه مهندسی و فیزیک پزشکی- دانشکده پزشکی و ریاست سابق پژوهشکده علوم نانو پژوهشگاه دانش‌های بنیادی
۱۱	دندانپزشکی	شرکت پارس کاشت طب	دکتر محمدعلی روستا	مدیرعامل
۱۲	دندانپزشکی	اتحادیه صنف تولید و توزیع کنندگان تجهیزات و مواد مصرفی دندانپزشکی		عضو هیئت علمی
۱۳	مهندسی بافت	مد زیست سامانه پیشرو	آقای بادامی	عضو هیئت علمی
۱۴		گروه سامانه های نوین دارورسانی پژوهشکده علوم پلیمر پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران	دکتر موبدی	مدیر گروه
۱۵	مهندسی بافت	گروه پلیمرهای زیست سازگار پژوهشکده علوم پلیمر پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران	دکتر خراسانی	عضو هیئت علمی
۱۶	حسگر	دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی	دکتر پژمان ساسان پور	عضو برد تخصصی نانو پزشکی
۱۷	دندانپزشکی	شرکت اوزان	خانم فرهنگی	مدیر تحقیق و توسعه
۱۸	مهندسی بافت	پژوهشکده نانو و مواد پی‌شرفته پژوهشگاه مواد و انرژی	آقای دکتر حصارکی	مدیر گروه بیو مواد
۱۹		پژوهشکده نانو و مواد پی‌شرفته پژوهشگاه مواد و انرژی	خانم دکتر سنگ‌پور	عضو گروه نانو مواد
۲۰	دندانپزشکی	دانشکده دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران	سید شهاب الدین میر سعسعانی	مدیر واحد تجهیزات پزشکی و مدرس این دانشگاه

بیوسنسور

دکتر انصافی عضو هیئت علمی دانشکده شیمی دانشگاه صنعتی اصفهان: ایشان در زمینه تولید سنسورهای سرطان خون فعالیت می‌کنند و حتی از گرافن در زمینه تولید این حسگرها هم استفاده کرده‌اند (گرافن استفاده شده را خوشان با استفاده از گرافیت سنتز کرده‌اند). استفاده از گرافن در این حسگرها موجب بالا رفتن میزان حساسیت و بهبود عملکرد آن می‌شود. متاسفانه تولیدات این حسگرها در اندازه آزمایشگاهی باقی مانده است و حمایت مناسب برای تولید تیمه صنعتی صورت نمی‌گیرد. همچنین در زمینه تکنولوژی تبدیل این نمونه‌های آزمایشگاهی به نمونه‌های صنعتی (مانند کوچک کردن بردها، آسان کردن کاربری آن و ...) کمبودهایی داریم.

در زمینه دارورسانی نیز ایشان بیان داشتند که چون هنوز مسائل مربوط به سمیت گرافن به طور کامل مشخص نشده است، نمی‌توان در این حوزه چندان امیدوار بود ولی در حوزه حسگرهای زیستی بسیار اثر بخش خواهد بود.

ایشان شرکت دانش بنیانی را تحت عنوان حسگر شیمی سپاهان برای تولید تجاری این حسگرهای زیستی سرطان خون تاسیس کرده‌اند.

دکتر عبدالاحد عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تهران: ایشان در زمینه تولید نانو حسگرها فعالیت می‌کنند و هدف از ساخت این نانوحسگر را معرفی نسل جدیدی از حسگرهای تشخیص سرطان به دنیا اعلام کرد و افزود: تلاش می‌کنیم روش جدیدی را در زمینه تشخیص سرطان بدون نیاز به کیت‌های پیچیده پزشکی در دنیا ابداع کنیم. این نانوحسگر که هیچ نمونه مشابه داخلی و خارجی ندارد دارای نانو ساختاری بر پایه نانوخارهای سیلیکونی (silicon nanograss) است و در آزمایشگاه لایه نازک و نانو الکترونیک دانشکده مهندسی برق دانشگاه تهران ساخته شده است. این نانوحسگر برای تشخیص سرطان سینه، سرطان رحم و سرطان کلون قابل استفاده است و نسل سومی از حسگرهایی است که در دانشگاه تهران با هدف تشخیص سلول‌های سرطانی ساخته شده است. نسل اول این حسگر بر پایه نانو لوله‌های کربنی است که با سرعت بسیار بالا سلول‌های سرطانی را تشخیص می‌دهد. هم اکنون این حسگر در مرحله تولید تجاری قرار دارد. نسل دوم این حسگرها که ترانزیستورهای الکتریکی است بر پایه نانو سیم‌های سیلیکونی ساخته شده و از طریق اعمال بار الکتریکی، سرطان را تشخیص می‌دهد. نسل سوم هم که بر پایه نانو خارهای سیلیکونی ساخته شده است توانایی تشخیص سلول‌های تهاجمی سرطانی خوش خیم را دارد.

ایشان در رابطه با کاربرد گرافن در این حسگرها نبود دستگاه CVD برای لایه نشانی روی بستر مناسب را از مشکلات اصلی بیان کردند و گفتند در صورت بر طرف شدن این مشکل و تولید نمونه‌هایی با کیفیت و تکرار پذیری مناسب می‌توان از گرافن در تولید حسگرها استفاده نمود. همچنین حسگر تولید شده توسط تیم ایشان در حال حاضر در حال گذراندن تست‌های بالینی و اخذ مجوزهای لازم است. همچنین با کمک ستاد توسعه فناوری نانو در حال تاسیس شرکتی برای تولید نمونه تجاری هستند.

دکتر پژمان ساسان پور عضو برد تخصصی نانو پزشکی دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی: به گفته ایشان بیشتر کارهای انجام شده در این حوزه در دنیا در حد تحقیقاتی می‌باشد و خودشان در حال حاضر بر روی ساخت یک حسگر با استفاده از گرافن برای شناسایی رفتار فیزیولوژیک یک سلول خاص در حال انجام تحقیقات هستند و گرافن مورد نیاز این کار را هم خودشان تهیه می‌کنند.

به نظر ایشان با توجه به اینکه این گونه حسگرها برای کاربردهای خاصی توسعه می‌یابند نمی‌توان مانند سایر حسگرهای موجود در بازار (مانند حسگر گلوکز) اندازه بازار مشخصی برای آن تعیین نمود.

مهندسی بافت

دکتر صمدی عضو هیئت علمی دانشکده فناوری‌های نوین پزشکی دانشگاه علوم پزشکی ایران: در دنیا روی استفاده از گرافن در زمینه مهندسی بافت و به خصوص در ترمیم استخوان فعالیت‌های زیادی انجام شده که این کارها با مدل‌های حیوانی بوده و با توجه به نتایج بدست آمده آینده خوبی برای آن پیش بینی کرده‌اند و برخی از کشورها مانند انگلستان گرنت‌های بزرگی به این موضوع اختصاص داده‌اند. ایشان هم به تازگی در زمینه ترمیم استخوان فعالیت‌هایی را آغاز کرده‌اند و بازار خوبی را برای آن در زمینه ارتوپدی، ترمیم جمجمه در جراحی‌های مغز و اعصاب و جراحی‌های فک و صورت پیش بینی کردند.

دکتر قنبری عضو هیئت علمی گروه نانو فناوری پزشکی دانشکده فناوری‌های نوین پزشکی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران: ایشان در حال حاضر برروی بایو حسگرهای مبتنی بر گرافن (در الکترود حسگر کاربرد دارد.) برای تشخیص همزمان بایو مارکرهای سرطان تخمدان و همچنین استفاده از گرافن در مهندسی بافت برای ترمیم غضروف‌های آسیب دیده تحقیق می‌کنند. هر دو این پروژه‌ها (به خصوص حسگر) با هدف تولید محصولات تجاری می‌باشند.

برای کاربردهای مهندسی بافت نیاز به بررسی‌های بیشتری در زمینه سمیت گرافن وجود دارد ولی در کاربرد حسگر این مسئله لزومی ندارد. گرافن مورد استفاده در این پروژه‌ها توسط خودشان تولید می‌شود.

دکتر خراسانی عضو هیئت علمی گروه پلیمرهای زیست سازگار پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران: ایشان بر روی کاربردهای گرافن در داربست‌های پلیمری برای مهندسی بافت عصب و استخوان پروژه‌هایی را انجام داده‌اند و به نظرشان با توجه به قیمت گرافن آینده آن بیشتر در کاربردهای تخصصی خواهد بود و در کاربردهای عمومی که مواد جایگزین ارزانتری حضور دارند جایگاهی نخواهد داشت. پروژه‌های انجام شده توسط ایشان در مراحل تست‌های حیوانی قرار دارد و به طور کلی وارد شدن به بازار ممکن است ده سال طول بکشد. گرافن مورد استفاده در این پروژه‌ها هم توسط خود دانشجویان سنتز می‌شود و هم با خریداری از نمونه‌های خارجی موجود در بازار تامین می‌شود.

به تازگی خبری از ورود مفاصل زانو و لگن با استفاده از گرافن به بازار در دنیا منتشر شده است ولی تا شناخته شدن و پیدا کرن بازار مناسب چندین سال زمان خواهد برد.

آقای دکتر حصارکی مدیر گروه بیو مواد پژوهشکده نانو و مواد پیشرفته پژوهشگاه مواد و انرژی: ایشان در زمینه مهندسی بافت و ترمیم استخوان تحقیقات زیادی را انجام داده‌اند ولی از موادهایی مانند کلسیم فسفات، بایو گلاس و ... استفاده نموده‌اند. به نظر ایشان ما هنوز در مهندسی بافت در دنیا جایگاهی نداریم و همه کارها در مراحل تحقیقاتی باقی مانده و هنوز محصولی وارد بازار نشده است. به تازگی موفق شده‌اند تفاهم نامه‌ای با یکی از دانشگاه‌ها به امضا برسانند و تست‌های کلینیکال را در آینده نزدیک شروع کنند. طبق آمارهای موجود در ایران سالانه حدود ۳ تا ۴ هزار کیلوگرم مواد مربوط به مهندسی بافت جایگزین استخوان مصرف می‌شود که قیمت آن با توجه به برند و کیفیت آن از ۴۰ تا ۴۰۰ هزار تومان است.

ایشان مشکل اصلی را جدا بودن جامعه پزشکی و مهندسی دانستند و بیان داشتند که تشکیل کارگروه‌های مشترک از این دو می‌تواند در تولید و به ثمر رساندن این تحقیقات نقش بسیار موثری داشته باشد.

دکتر قهرمانی مدیر عامل شرکت نانو الوند آراد: به تازگی ایشان پدی ساخته‌اند که در آن از پلی کارتن‌ها استفاده شده است و ضخامت آن از کاغذ هم کمتر است و در لابه لای بخیه قرار می‌گیرد و هم خودش جذب بافت می‌شود و هم آنتی باکتریال است. این محصول در حال گرفتن مجوزهای وزارت بهداشت است و به زودی وارد بازار می‌شود. معضل اصلی در زخم بندها تازه نگه داشتن زخم است تا زخم مرتب ترمیم شود و در اصطلاح مرده نشود. ایشان علاقه زیادی به کاربرد گرافن در این موضوع از خود نشان دادند و تمال به انجام کارهای تحقیقاتی در این حوزه داشتند.

دارو رسانی

دکتر مسعود خسروانی عضو هیئت علمی گروه نانو فناوری پزشکی دانشکده فناوری‌های نوین پزشکی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران: از بین نانو حامل‌های موجود ایشان در حال حاضر روی نانو حامل‌های PLGA و PEG-PLGA کار می‌کنند و در مرحله بارگذاری دارو و تارگت کردن آن هستند. استفاده از نانو حامل‌ها برای رساندن دارو به جاهایی که داروهای دیگر نمی‌روند مانند اعصاب مرکزی و یا یک تارگت خاص اجتناب ناپذیر است و تحقیقات زیادی به این منظور در حال انجام است. به طور کلی تحقیقات زیادی در کشور در این زمینه در حال انجام است و پتانسیل بالایی برای تحقیقات در این زمینه وجود دارد.

حتی از ستاد برای بازدید آمدند و آقای دوست کام قول‌هایی جهت حمایت دادند ولی حمایتی صورت نگرفت.

دندانپزشکی

دکتر محمدعلی روستا مدیر عامل شرکت پارس کاشت طب: وی که یکی از اعضای کلینیک تخصصی دندانپزشکی و ایمپلنت ولیعصر نیز می‌باشد، در سال ۹۱ موفق به دریافت تندیس محقق برتر به پاس تولید آزمایشی سیستم ایمپلنت ملی پارس شدند؛ تولیدی که

نتایج آن در بیماران در مدت ۴ سال با ۹۷ درصد موفقیت همراه بود. در حالی که این تکنولوژی تنها در اختیار کشورهای معدودی مثل: آمریکا، آلمان، سویس، کره‌جنوبی، فرانسه، ایتالیا، چین، برزیل و اسراییل قرار دارد.

به گفته ایشان تولید کامپوزیت‌ها ایمپلنت‌های دندانی در ایران در آینده نزدیک به صورت جوینت با شرکت‌های خارجی شروع می‌شود و چند شرکت ایرانی (مانند بایونیک، پارس کاشت طب و ...) با شرکت‌های خارجی (کره‌ای، انگلیسی و آلمانی) همکاری‌هایی را برای وارد کردن خط تولید و تولید آنها در داخل کشور آغاز کرده‌اند ولی نزدیک به ۵۰ وارد کننده قوی در ایران فعال هستند که رقابت بسیار شدیدی در بازار دارند. به گفته ایشان سالانه حدود ۲۰۰ الی ۲۵۰ هزار عدد در سال از این کامپوزیت‌ها در ایران مصرف می‌شود.

شرکت اوزان: این شرکت یکی از شرکت‌های زیر مجموعه شرکت سرمایه‌گذاری تامین اجتماعی می‌باشد که به مدت بیش از ۳۵ واردات و پشتیبانی لوازم مورد نیاز بخش درمانی کشور از معتبرترین تولید کنندگان جهانی فعالیت مستمر داشته است.

کارخانه شهید دکتر فقیهی، یکی از گروه‌های زیر مجموعه شرکت اوزان، تنها تولید کننده آمالگام دندانپزشکی در ایران و خاورمیانه است که ۲۸ سال سابقه تولید آمالگام دندانی را دارد. این کارخانه با مساحتی بالغ بر ۳۵۰۰ مترمربع در شهرک صنعتی سیمین دشت استان البرز واقع گردیده است. تکنولوژی تولید آمالگام دندانپزشکی در سال ۱۳۶۵ محقق گردیده و از آن زمان تاکنون این کارخانه درصنعت تولید مواد دندانی به فعالیت خود ادامه می‌دهد.

خانم فرهنگی مدیر تحقیق و توسعه این شرکت بررسی‌های زیادی در زمینه تولید ایمپلنت و کامپوزیت‌های دندانپزشکی در ایران انجام داده‌اند و با توجه به این بررسی‌ها نمی‌توان در ایران ایمپلنت‌های دندان پزشکی را به دلیل تکنولوژی بالای آن تولید نمود ولی تولید کامپوزیت‌ها امکانپذیر می‌باشد ولی رقابت با محصولات خارجی موجود در بازار کار بسیار سختی است. در حال حاضر بیش از ۵۰ شرکت در زمینه واردات این مواد به طور قانونی فعالیت می‌کنند و بیش از صد نوع از این نوع کامپوزیت‌ها در بازار ایران مصرف می‌شوند که این خود نشان دهنده بازار بزرگی برای این مواد می‌باشد.

مدیر واحد تجهیزات پزشکی دانشکده دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران: آقای میر سعسعانی که مدرس این دانشگاه نیز می‌باشند و پیش از این با شرکت اوزان هم همکاری داشته‌اند برای اولین بار در ایران در سال ۱۳۸۷ نانو کامپوزیت دندانی ساخته‌اند که با لیزر پخت می‌شده است و در این زمینه مقاله، ثبت اختراع و بوک چپتر دارند. با توجه به بررسی‌های ایشان تولید نانو کامپوزیت دندانی توجیه اقتصادی ندارد. البته در بررسی توجیه اقتصادی یک محصول باید به تولید کننده و محصول توجه نمود، در صورتی که هدف تنها تولید نانو کامپوزیپ دندانی باشد، این کار توجیه اقتصادی نخواهد داشت ولی درصورتی که برای تکمیل سبد محصولات باشد توجیه خواهد داشت. به گفته ایشان تولید کامپوزیت دندانی در ایران با چالش‌هایی روبه‌رو است و در کنار آن استفاده از گرافن حتما مشکلات سمیت و عوارض جانبی خواهد داشت که باید روی آن تحقیقات و بررسی انجام شود. ایشان تنها شرکت ثبت شده در اداره کل تجهیزات پزشکی و فعال در بازار در زمینه تولید کامپوزیت دندانی را، شرکت آسیا شیمی طب معرفی کردند که مواد کلتن سوئیس را به صورت بالک وارد می‌کند و در ایران پک می‌نماید.

جمع بندی

در حال حاضر دو حوزه حسگرهای زیستی و مهندسی بافت امیدوار کننده ترین بخش‌ها برای کاربرد گرافن هستند. در حوزه حسگرهای زیستی با توجه به اینکه گرافن می‌تواند عملکرد این حسگرها را بهبود ببخشد و اثر سوئی بر سلامت انسان نداشته باشد به نظر می‌رسد برای ورود به بازار زمان کمتری نیاز داشته باشد. البته این در صورتی است که هم حسگرهای با استفاده از این مواد توسعه یابند و هم حمایت‌های لازم برای تجاری سازی و تولید انبوه آنها صورت پذیرد.

در حوزه مهندسی بافت نیاز به بررسی‌های عمیق‌تری در زمینه سمیت گرافن برای انسان وجود دارد. از طرفی قیمت بالای گرافن موجب می‌شود تا استفاده از آن در محصولاتی که مواد موجود کارایی لازم را ندارند استفاده گردد و همین امر باعث محدود شدن بازار آن می‌گردد. نکته قابل توجه دیگر نبود محصولات ایرانی در بازار است و همین امر ررقابت با برندهای خارجی موجود در بازار را بسیار سخت می‌کند.

به طور کلی حجم مصرف گرافن در این حوزه نیز بسیار ناچیز به نظر می‌رسد ونمی‌توان بازار خوبی را برای گرافن در این صنعت متصور شد.

فصل دهم
تحلیل سایر صنایع

مقدمه

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، گرافن با توجه به خواص منحصر به فرد و متنوعی که دارد، پتانسیل استفاده در بسیاری از صنایع و در کاربردهای مختلی را دارا است. از هر یک از خواص مکانیکی، رسانایی، ضدنفوذ بودن و غیره گرافن می‌توان جهت خلق ارزش افزوده در صنایع مختلفی استفاده کرد. در فصل‌های گذشته به طور مجزا به کاربردهای گرافن در صنایعی که .... پرداخته شد؛ اما در این فصل به طور مختصر به بررسی پتانسیل بازار جهانی گرافن در سایر صنایعی که ... پرداخته شده است. این صنایع شامل موارد زیر هستند:

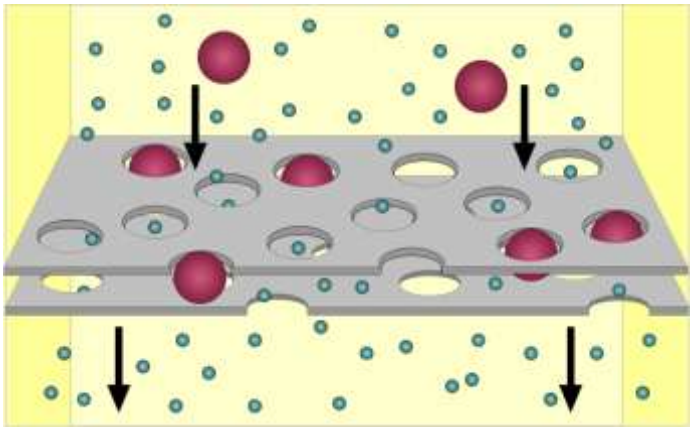
- ✓ چسب‌ها
- ✓ فیلتراسیون
- ✓ پوشش‌ها
- ✓ روان‌کننده‌ها
- ✓ منسوجات
- ✓ چاپ سه‌بعدی

در ادامه نتایج مربوط به هر یک از حوزه‌ها ارائه شده است.

۱. فیلتراسیون

۱،۱. معرفی فیلتراسیون

فیلتراسیون یک فرایند مکانیکی یا فیزیکی است که طی آن مواد معلق جامد از سیالِ گاز یا مایع جداسازی می‌شود. اساس جداسازی در این روش اختلاف در اندازه ذارت جامد و سیال و استفاده از نیروی خارجی برای عبور سیال از یک غشاء با نفوذپذیری انتخابی است.



تصویر ۵۸- فرایند شماتیک فیلتراسیون

در این فرایند به دلیل اختلاف فشار دو طرف فیلتر، سیال از درون ساختار شبکه‌ای و متخلل فیلتر عبور کرده، اما ذرات جامدی که اندازه آن‌ها از خلل و فرج مدیوم فیلتر بزرگ است به دام می‌افتند. مکانیزم‌هایی که منجر به باقی‌ماندن ذرات جامد در فیلتر می‌شود، شامل موارد زیر است:

صاف‌کردن: همانند الک‌کردن، ذرات جامد با اندازه بزرگ نمی‌توانند از منافذ کوچک‌تر مدیوم فیلتر عبور کنند.
برخوردکردن: ذرات جامد در مسیر حرکت خود به مدیوم فیلتر برخورد می‌کنند و در آن باقی می‌مانند.
گیرکردن: ذرات جامد در انبوه الیاف و رشته‌های مدیوم فیلتر گیر می‌افتند.
نیروهای جاذبه: به عنوان مثال در فیلترهای الکترواستاتیک، ذرات جامد به دلیل نیروی جاذبه بین ذرات و مدیوم فیلتر در آن باقی می‌مانند.

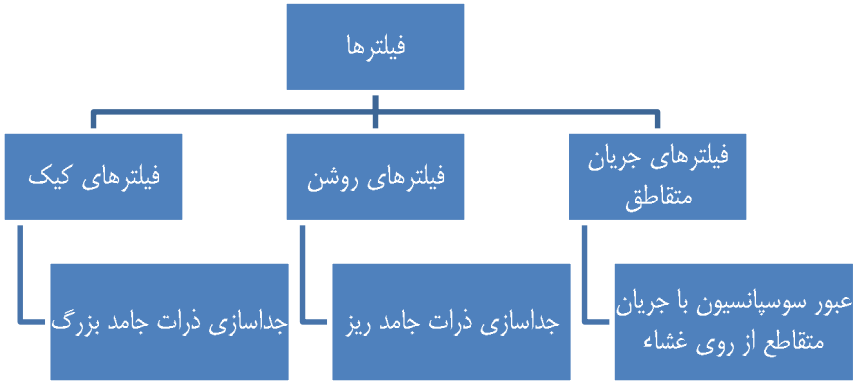
۱،۱،۱. اجزاء فیلتر

با توجه به گستردگی کاربردهای فیتلرها و تنوع بالای آن‌ها نمی‌توان ساختار مشخصی برای تبیین انواع آنها مشخص کرد؛ با این حال می‌توان اصلی‌ترین جزء تمامی سیستم‌های فیلتراسیون و جداسازی را، مدیوم فیلتر دانست. به بخشی از فیلتر که ذرات جامد در آن انباشته می‌شوند، مدیوم فیلتر گویند. یک مدیوم فیلتر مناسب باید استحکام مکانیکی کافی، غیرقابل‌حل و بی‌اثر باشد. در حال حاضر از مواد مختلفی در مدیوم فیلتر استفاده می‌کنند که از این میان می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ✓ مواد بافته شده از پشم، ابریشم، فلز یا الیاف سنتزشده
- ✓ صفحات فلزی سوراخ‌دار
- ✓ بستر دانه‌های جامد
- ✓ مواد متخلخل پیش‌ساخته
- ✓ غشاءهای فیلتری

۱،۱،۲. انواع فیلتر

فیلترها را می‌توان بر اساس فاکتورهای مختلفی تقسیم‌بندی کرد؛ به عنوان مثال از نظر نوع فرایند می‌توان آن‌ها را به دو گروه فیلترسازی پیوسته و غیرپیوسته تبدیل کرد. بر اساس نوع نیروی خارجی نیز می‌توان فیلترها را به سه نوع فشاری، مکشی و سانتریفیوژ تقسیم می‌شوند. روش دیگری که برای طبقه‌بندی فیلترها وجود دارد، تقسیم‌بندی آن‌ها بر اساس نوع فیلتراسیون است که در نمودار زیر نمایش داده شده است.



نمودار ۲۹- تقسیم‌بندی انواع فیلتر بر اساس نوع فلیتراسیون

۲،۱. کاربرد گرافن در فیلتراسیون و جداسازی

دسترسی به منابع سطحی آب شیرین یکی از چالش‌های جهانی پیش روی کشورها است. فناوری فعلی آب شیرین‌کن برای مقابله با این چالش از نظر مصرف انرژی و میزان تولید از بهره‌وری لازم برخوردار نیست. مواد گرافنی با توجه به نفوذپذیری فوق‌العاده آب، استحکام بالای مکانیکی و آبگریزی آن، پتانسیل بالایی، برای کاربرد در این حوزه از خود به نمایش گذاشته است. کابردهای فناوری فیلتراسیون آب شامل موارد زیر است:

- ✓ تاسیسات آب شهری
- ✓ تاسیسات بهداشتی و درمانی
- ✓ آزمایشگاه‌ها
- ✓ تولیدکنندگان انواع نوشیدنی
- ✓ تاسیسات آب شیرین‌کن
- ✓ تاسیسات صنعتی
- ✓ نیروگاه‌های برق
- ✓ تاسیسات تصفیه فاضلاب
- ✓ بازار کالاهای مصرفی
- ✓ سایت‌های حفاری هیدرولیک

در سال‌های اخیر ویژگی‌های مربوط به فیلتراسیون و جداسازی گرافن در سطح گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است و از این منظر فیلتراسیون آب نیز به عنوان یکی از بازارهای کلیدی آن تعیین شده است. گرافن و مشتقات آن نوفوذناپذیرند، منافذ نانویی مشخصی دارند و نسبت به جریان آب اصطکاک پایین دارند. این مواد با توجه به چگالی الکترونی حلقه‌های آروماتیک آن نسبت به تمامی گازها نفوذناپذیر هستند. غشاهای[1] جداساز که نفوذپذیری فوق سریعی دارند، به طور گسترده در صنایعی همچون تصفیه پساب، تولید موادغذایی و داروهای زیستی کاربرد دارد. غشاهایی که با گرافن عامل‌دار یا ساده تقویت شده‌اند، پتانسیل بالایی در راستای انتقال گزینشی ذرات مولکولی و یونی دارند. غشاهای غربال مولکولی و یونی که قابلیت جداسازی سریع املاح از محلول‌های آبی را دارا هستند، برای فرایندهایی از جمله شیرین کردن و خالص‌سازی آب، سنجش و تولید انرژی ضروری است. ویژگی‌هایی از گرافن که برای فناوری غشایی مهم است شامل موارد زیر است:

- ✓ ۲۰،۰۰۰ برابر از سایر غشاها نازک‌تر است.
- ✓ اندازه منافذ ایده‌آل برای جداسازی (بهبود عملکرد ۵۰۰ برابری نسبت به سایر غشاها)
- ✓ مساحت بالا (تا ۱ میلی‌متر مربع)
- ✓ مقاوم در برابر اکسید شدن (در دمای کمتر از ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد)
- ✓ پایداری مکانیکی بالا

[1] Membrane

۱،۲،۱. فیلتراسیون آب

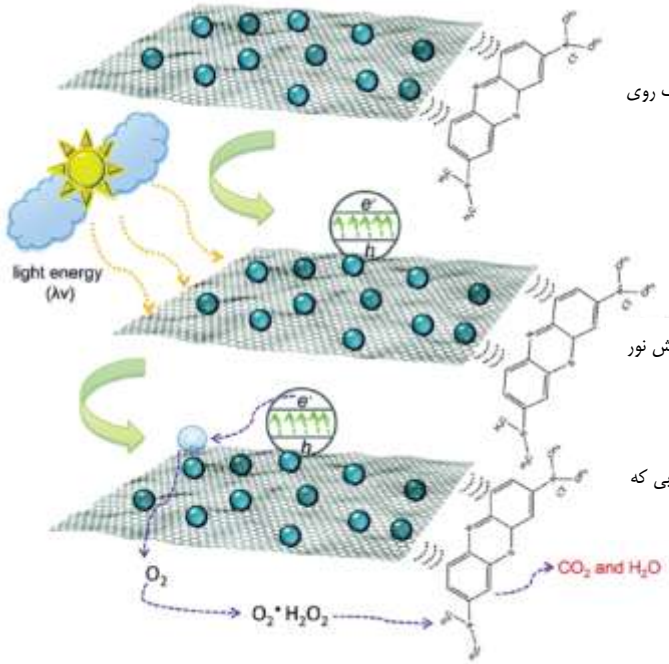
غشاهای گرافنی با توجه به اینکه قابلیت گزینش و جریان بالایی دارد، پتانسیل زیادی برای بهبود فناوری غشاهای جداساز دارا می‌باشد. صفحات نانویی گرافن اکسید قابلیت بالایی را به عنوان غشاهای غربالی با ضخامت بسیار کم، جریان بالا و مصرف انرژی بهینه از خود نشان داده‌اند. مولکول‌های آب از طریق نانوکانال‌های بین‌صفحه‌ای اکسید گرافن نفوذ کرده و از مسیر پر پیچ و خم سطوح اکسیدی آبگریز (به جای بخش‌های اکسیدی آب‌دوست) عبور می‌کنند. ثابت شده است که گرافن‌های نانومتخلل می‌توانند با سرعتی ۲ تا ۳ برابر روش اسمز معکوس که بهترین فناوری آب‌شیرین کن تجاری در حال حاضر است، نمک را از آب جدا کند. تعیین نانوساختارهای غشا منجر به گرافن کاهش‌یافته از طریق گرمایی برای پاک‌سازی نشت نفت و تصفیه فاضلاب در حال توسعه است. ثابت شده است که گرافن برای پاک‌سازی نشت نفت و رنگ‌زدایی از فاضلاب، جاذب بسیار مناسبی است. این ماده از نظر شیمیایی بی‌اثر، غیرسمی، اشتعال ناپذیر، آبگریز و در آب نامحلول است. بر اساس ادعای Directa Plus محصول گرافن G+ عملکردی حداقل ۴ برابر بهتر از جاذب‌های سنتی دارد.

۲،۲،۱. جداسازی گاز

با توجه به ضخامت یک اتمی گرافن، به عنوان یک غشای جداساز با جریان بالا، پتانسیل بالایی دارد؛ با این حال یکی از چالش‌های مهم پیش روی این ماده، نفوذناپذیری آن برای مولکول‌های کوچک گازی است.

۳،۲،۱. جاذب‌های فوتوکاتالیک

کامپوزیت‌های گرافن به عنوان فوتوکاتالیست و جاذب برای حذف آلودگی در سیستم‌های آبی مورد بررسی قرارگرفته‌اند. سطح بزرگ گرافن، وجود گروه‌های عاملی سطحی، قابلیت جذب، شفافیت، رسانایی و قابل کنترل بودن، صفحات گرافن و کامپوزیت‌های آن را به یکی از گزینه‌های مناسب برای تجزیه نوری آلاینده‌ها در فرآیند خالص‌سازی آب تبدیل کرده است. ترکیب TiO_2 و صفحات گرافن منجر به ایجاد ساختار صفحه‌ای بزرگی می‌شود که جذب آلاینده و حمل بار را بهبود داده و منجر به تجزیه نوری آلاینده‌ها می‌شود.



الف- جذب ملکول رنگ روی صفحه گرافن

ب- فعالسازی نوری تحت تابش نور

پ- تولید ROS در محلول آبی که با O_2 اشباع شده است.

تصویر ۵۹- تجزیه مولکول‌های رنگی ارگانیک توسط فوتوکاتالیست‌های ترکیبات گرافن

۳،۱. بازار جهانی فیلتراسیون و جداسازی

۱،۳،۱. محرک‌های بازار

نیاز به بهبود فناوری غشایی: فناوری‌های غشایی برای فیلتراسیون آب با چالش‌های علمی و فنی روبرو است که از آن میان می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ✓ رسوب‌گذاری در غشاء و کاهش شار نفوذی
- ✓ ضعف در رد یا انتخاب هدفمند
- ✓ اثرات مشهود انرژی
- ✓ هزینه بالا

بنابراین در کاربردهای مختلفی خصوصا سیستم‌های یکپارچه غشایی، در حال حاضر نیاز فراوانی به توسعه غشاهای با عملکرد بالا وجود دارد.

کمبود آب شیرین و افزایش جمعیت: اهمیت راه‌کارهای فناورانه جهت تصفیه آب، خصوصا برای مدیریت و فیلتراسیون فاضلاب‌ها رو به افزایش است. با توجه به رشد سریع جمعیت که منجر به کاهش منابع آب شیرین و آلودگی آن‌ها شده است، نیاز به فناوری‌های خالص‌سازی آب به شدت رو به افزایش است. نبود فناوری‌های مقرون به صرفه خالص‌سازی آب، منجر به تشدید بحران نبود آب سالم شده است. این مساله به یکی از تهدیدهای اصلی رشد سلامت، اقتصاد، توسعه پایدار و رشد اجتماعی جامعه جهانی تبدیل شده است. فناوری‌های پیشرفته جداسازی غشایی می‌توانند از طریق کاهش مصرف انرژی، افزایش بهره‌وری صنعتی، کاهش تولید ضایعات، مزایای محیطزیستی و اقتصادی فراوانی را به ارمغان بیاورند. امروزه یکی از اثربخش‌ترین تکنیک‌های خالص‌سازی استفاده از فیلتراسیون غشایی است که هزینه و مصرف انرژی پایینی دارد و از انعطاف‌پذیری بالایی نیز برخوردار است. کاربردهای محیطزیستی فرآیندهای غشایی شامل خالص‌سازی آب، تصفیه فاضلاب و احیاء و استفاده مجدد از منابع آبی است.

آلودگی: ضایعات تولید شده در طی فرآیندهای کشاورزی، صنعتی و شهری، هر روز منابع آبی را بیشتر آلوده می‌کنند. همچنین علاوه بر آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی، آلودگی‌های طبیعی منابع آبی خود از چالش‌های جدی پیش رو است. همچنین نیاز فراوانی به فناوری تصفیه آب در تصفیه پساب‌های خورنده حفاری و بازیابی فلزات گران‌بها در صنعت نفت و گاز وجود دارد. از این رو در سال‌های اخیر بر روی توسعه غشاهای زیستی بر پایه فناوری نانو تمرکز فراوانی وجود داشته است.

هزینه: فناوری جداسازی گاز به طور گسترده در بسیاری از صنایع از جمله فرآوری و بسته‌بندی مواد غذایی، صنایع دارویی و صنایع نفت و گاز کاربرد دارد. با این حال غشاهایی که در حال حاضر در این صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرند اشکالاتی از جمله مصرف انرژی، قیمت و عدم بهره‌وری یا اثربخشی بالا دارند.

۲،۳،۱. اندازه بازار

در حال حاضر بازار سالانه فیلتراسیون موتور/متحرک حدود ۱۴ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود؛ بازار سالانه فیلتراسیون مایع نیز که در موتورهای سنگین (سوخت، روان‌ساز و هیدرولیک)، گاز مایع طبیعی، فیلتراسیون سوخت و آب، سوخت هواپیما، آب فراوری شده، حفاری نفت و فیلتراسیون پلیمر و پلاستیک‌ها حدود ۱۲ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود. همچنین بازار سالانه فیلتراسیون صنعتی هوا نیز حدود ۱۴ میلیارد دلار برآورد شده است.

بازار جهانی آب‌شیرین کن نیز طی دهه‌های گذشته رشد بالایی را خصوصا در آمریکای شمالی و خاورمیانه تجربه کرده است و در حال حاضر ارزشی معادل ۸ میلیارد دلار دارد که پیش‌بینی می‌شود ارزش آن در سال ۲۰۲۰ تا ۲۵ میلیارد دلار افزایش یابد. انتظار می‌رود ظرفیت آب شیرین‌کن‌های جهان تا سال ۲۰۲۵ با رشد حدود ۱۵ تا ۲۰ میلیون مترمکعب در سال افزایش یابد.

۱.۳.۳. توسعه‌دهندگان محصول

در جدول زیر نام شرکت‌های فعال در حوزه توسعه کاربرد و محصولات گرافن در زمینه صنعت فیلتراسیون و فعالیت‌های آن‌ها ارائه شده است.

جدول ۴۳- شرکت‌های فعال در حوزه توسعه کاربرد و محصولات گرافن در زمینه صنعت فیلتراسیون و فعالیت‌های آن‌ها

شرکت	فعالیت
Arvi Technology	توسعه ماده اختصاصی بر پایه گرافن NyexTM که مواد آلی و آلاینده‌ها را از پساب‌ها جدا می‌کند.
Biogenic Reagents	تولید جاذب‌های بر پایه کامپاند گرافن-کربن برای خالص‌سازی آب و هوا
Directa Plus	محصول بر پایه گرافن G+ برای تصفیه آب‌های آلوده
Graphene Nanochem	توسعه و تجاری‌سازی سیستم تصفیه آب بر پایه گرافن PlatClean V1 در صنعت نفت و گاز
Lockheed Martin	تولید غشاء بر پایه گرافن Perforene برای استفاده در فناوری آب شیرین‌کن

۱.۳.۴. چالش‌ها

اشکالاتی که تا کنون برای استفاده از نانومواد در فرایند شیرین کردن آب اظهار شده است شامل ناپایداری دمایی، نیاز به فشار بالا، رسوب‌گذاری، بارش آلوده، انسداد منافذ، نفوذ پایین، واکنش آرام، تولید مواد سمی و تولید ذرات یونی است. شانس کم استفاده مجدد و ریسک‌های ناشناخته مواد مورد استفاده بر روی اکوسیستم از دیگر نگرانی‌های موجود است. در نتیجه موانع بسیاری از جمله نبود اطلاعات کافی در مورد پایداری محصولات و کیفیت عملکرد آن‌ها در طول عملیات و مسائل مربوط به افزایش ظرفیت پیش روی تجاری سازی این ماده در حوزه فیلتراسیون است.

بازار ایران

پژوهشکده فناوری نانو دانشگاه نوشیروانی بابل: دکتر پیروی معاون پژوهشکده فناوری نانو دانشگاه نوشیروانی بابل، بیان کردند که تولید نانو غشا در این مرکز از سال ۱۳۸۷ آغاز شد و تا مرحله تولید به صورت پایلوت صنعتی پیش رفته‌اند و نمونه‌های تولید شده توسط ستاد توسعه فناوری نانو در سال ۱۳۹۳ تایید شدند. شرکت نوین فناوران سبز درکا هم جهت تجاری سازی این محصول ثبت شد و تمام مراحل لازم برای تولید صنعتی هم طی شد. حتی تفاهم نامه‌هایی هم با شرکت‌های کره‌ای برای واردات برخی از دستگاه‌های مورد نیاز بسته شد ولی به دلیل عدم تامین اعتبار توسط بخش دولتی و خصوصی این طرح راکد مانده است.

تولید پایه این نانو غشاها از روش وارونگی فاز (phase inversion) صورت می‌گیرد و در مرحله بعد لایه رویی با تکنیک رول به رول اصلاح می‌گردد و نانو مواد در این مرحله برای بهبود خواص استفاده می‌شود. در این مرکز روی نانو مواد مختلفی کارشده است ولی استفاده از اکسید گرافن به دلیل قیمت بالای آن توجیه اقتصادی ندارد.

طبق اطلاعات ایشان در حال حاضر هیچ شرکتی در داخل غشا را به صورت تولید نکرده است.

جمع بندی:

۲. پوشش‌ها

۱،۲. معرفی پوشش‌ها

پوشش‌ها به طور کلی موادی هستند که بر روی سطح اشیاء که اصطلاحا به آن زیرلایه گویند، اعمال شده و آن را می‌پوشانند. این مواد می‌توانند جهت پوشش تمام زیرلایه یا تنها بخشی از آن به کار رود. هدف از اعمال این مواد می‌تواند کاربردهای تزئینی و یا کاربردی باشد. رنگ‌ها و لاک‌ها از جمله پوشش‌هایی هستند که هم برای تزئین و هم برای حفاظت زیرلایه مورد استفاده قرار می‌گیرند. البته لازم به ذکر است که رنگ‌های هنری تنها با هدف تزئین و رنگ‌های لوله‌های بزرگ صنعتی تنها به منظور حفاظت از خوردگی مورد استفاده قرار می‌گیرند. پوشش‌های کاربردی نیز به منظور تغییر خواص سطحی زیرلایه از جمله میزان چسبندگی، ترشوندگی، مقاومت خوردگی یا سایش بر روی آن اعمال می‌شوند. به طور کلی هدف از اعمال پوشش‌ها را می‌توان به صورت زیر جمع‌بندی کرد:

- ✓ ایجاد زیبایی ظاهری با براق کردن و رنگ دادن به سطوح
- ✓ حفاظت از سطوح در برابر عوامل طبیعی (اکسیژن و گازهای فعال، گرد و غبار، رطوبت و ...) و عوامل سببی (خراش، ساییدگی و ...)
- ✓ ایجاد درجه قابل قبولی از جذب/بازتاب نور و گرما
- ✓ تغییر بعضی از ویژگی‌های سطح مانند آب‌دوستی، رسانش، سختی و ...

۲،۲. کاربرد گرافن در پوشش‌ها

کاربردهای تحت توسعه گرافن در پوشش‌ها شامل موارد زیر است:

- ✓ پوشش‌های رسانای جریان الکتریسیته
- ✓ پوشش‌های رسانای حرارت
- ✓ مواد بریر
- ✓ الکترودهای شفاف
- ✓ پوشش‌های حساس به فشار
- ✓ پوشش‌های پاسخگو به محرک
- ✓ پوشش‌های ضدخوردگی

طی سال‌های اخیر، گرافن خواص ویژه مختلفی را از خود نشان داده است که از این ویژگی‌هایی که در صنعت پوشش‌ها مورد توجه قرار گرفته است شامل موارد اشاره شده در جدول زیر است.

جدول ۴۴–خواص جذاب گرافن در پوشش‌ها

ویژگی	توضیحات
بریر بودن	با توجه به پایداری استثنائی شیمیایی و گرمایی گرافن، این ماده پتانسیل فوق‌العاده‌ای جهت استفاده به عنوان یک لایه محافظ دارد. این ماده می‌تواند به عنوان یک پرکننده در پوشش‌های نانوکامپوزیتی به کار گرفته شود.
فوق آب‌گریزی	گرافن یک ماده فوق آب‌گریز و چربی‌گریز است و اکسید گرافن آب‌دوست است.
مقاومت شیمیایی و سایشی	مقاومت سایشی بالایی برای گرافن گزارش شده است. این ماده همچنین نسبت به اسیدها و قلیاها مقاومت خوبی دارد و خواص ضدخوردگی مناسبی از خود نشان داده است.
شفافیت	گرافن در طول موج‌های مرئی شفاف است و رسانایی الکتریکی و گرمایی مناسبی دارد که تنها ۰/۳۴ نانومتر به ضخامت پوشش اضافه می‌کند.

۱،۲،۲. پوشش‌های ضدخوردگی

گرافن برای استفاده در پوشش‌های ضدخوردگی در قطعات میکروالکترونیک (اتصالات، قطعات هواپیما و تجهیزات قابل کاشت) در حال توسعه است. این ماده از نظر شیمیایی خنثی است و تا دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد کاملا پایدار است. این ماده می‌تواند در مقیاس چند متر تولید شده و سپس به صورت مکانیکی به روی سطوح دلخواه منتقل شود.

در حال حاضر مس به طور گسترده‌ای در تولید سیم‌ها و چاله‌های حرارتی در صنایع الکترونیک مورد استفاده قرار می‌گیرد با این حال سطح مس با مولکول‌های هوا وارد واکنش شده و یک لایه اکسیدی بر روی آن ایجاد می‌کند که می‌تواند خورنده باشد. محققان در حال حاضر به دنبال تولید پوششی از گرافن برای مس هستند که در برابر گازها نفوذناپذیر است. علاوه بر این گرافن رسانش الکتریکی و گرمایی مناسبی دارد و توانایی تحمل فشار بالایی را نیز دارد. این ماده را می‌توان با استفاده از روش CVD به طور مستقیم بر روی سطوح مسی اعمال کرد.

فیلم‌های گرافنی تک لایه یا نازک شفافیت مناسبی دارند و در نتیجه پوشش‌های نازک گرافن تغییرات نوری چندانی بر روی سطوح فلزات ایجاد نمی‌کنند.

این موضوع همچنین ثابت شده است که پوشش‌های گرافنی خوردگی گالوانیک میکروبی را با محدود کردن دسترسی میکروب‌ها به سطح فلز تا زمان طولانی‌تری (۲۷۰۰ ساعت) به تعویق می‌اندازد. با این حال بعضی از تحقیقات نشان می‌دهد اگرچه گرافن در کوتاه مدت حفاظت خوبی در برابر اکسید شدن فلز از خود نشان می‌دهد، اما در بلند مدت پیشروی خوردگی ناشی از رطوبت در سطوحی که با گرافن پوشش داده شده‌اند بیشتر از سطوح خام فلزات بوده است.

بازارهای هدف این پوشش‌ها شامل حوزه‌های گسترده‌ای از جمله حفاری (استخراج و فرآوری کانی‌ها)، صنایع دفاعی، کشاورزی، ساختمان‌سازی، انرژی، حمل و نقل و ... است.

۲،۲،۲. ضد میکروب

بر خلاف اکسید گرافن که رشد سلولسی باکتری گرم مثبت و گرم منفی را افزایش می‌دهد، گرافن واکنش‌های ضدباکتریایی از خود نشان داده است. این ماده با تجزیه غشاهای داخلی و خارجی باکتری، منجر به کاهش طول عمر باکتری می‌شود.

۳،۲،۲. ضد یخ

در حال حاضر تحقیقاتی بر روی استفاده از نانومواد کربنی جهت تولید پوشش‌های ضد یخ در حال انجام است. یکی از این موارد پروژه IceWind است که به دنبال توسعه محصولی بر پایه نانوتیوب‌های کربنی جهت استفاده در توربین‌های بادی است. شرکت SAAB نیز پتنت یک پوشش گرافنی ضد یخ جهت استفاده در هواپیماها ثبت کرده است. پوشش‌های ضد یخ عمدتا در کشتی‌ها، هواپیماها، فضاپیماها، قایق‌ها، پل‌ها و سایر سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۴،۲،۲. پوشش‌های بریر

فیلم‌های منعطف که نسبت به گازها و بخارها نفوذناپذیرند در طیف گسترده‌ای از صنایع شامل صنایع غذایی، شیمیایی، دارویی و الکترونیکی اهمیت ویژه‌ای دارند. در این میان فیلم‌های چندلایه گرافن به عنوان پوشش‌های فوق نفوذناپذیر و مقاوم در برابر اکسید شدن تحت توسعه هستند.

غشاهایی که از گرافن و اکسید گرافن تولید شده‌اند خواص بریری بسیار خوبی از خود نشان داده‌اند. به عنوان مثال می‌توان نانونوارهای گرافن را به پلی‌اورتان ترموپلاستیک جهت افزایش خواص مکانیکی فیلم‌های کامپوزیتی آن برای استفاده در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی اضافه کرد.

۵،۲،۲. حفاظت گرمایی

نیاز به مواد بازدارنده آتش در سطح جهان به سرعت در حال افزایش است؛ قوانین ایجابی و نظارتی، تولیدکنندگان حوزه‌های مختلف محصولات بخش خانگی، الکترونیک، ساختمان، حمل و نقل و ... را روز به روز بیشتر تحت فشار قرار می‌دهد تا استانداردهای سخت ایمنی مربوط به آتش‌سوزی را رعایت کنند. امروزه محصولات تجاری که در آن‌ها از عامل‌های ضد شعله و آتش استفاده شده است شامل قاب‌های پلاستیکی لوازم الکترونیکی، بوردهای الکترونیکی، سیم‌ها و کابل‌ها، اتصالات الکتریکی، فوم‌ها، منسوجات و خودروها هستند.

بعضی از تحقیقات نشان می‌دهد که اصلاح سطوح منسوجات با استفاده از گرافن، حقاظت گرمایی آن‌ها را افزایش می‌دهد. استفاده از گرافن در این منسوجات خاصیت بازدارندگی شعله این مواد را به طرز چشم‌گیری افزایش داده است. گرافن به عنوان یک مانع می‌تواند مانع از نفوذ حرارت و گاز بشود و به طور همزمان مانع از تجزیه منسوج در اثر دمای بالا می‌شود.

۶،۲،۲. ضد رسوب

رسوب‌گذاری زیستی (چسبیدن جلبک و صدف به تجهیزات زیر آب) یکی از چالش‌های اصلی صنایع دریایی است. با چسبیدن صدف و جلبک به بدنه کشتی وزن کشتی‌ها می‌تواند چندین تن افزایش یافته و درنتجیه مصرف سوخت نیز به تا ۴۰ درصد افزایش پیدا می‌کند.

معمولا پوشش‌های دریایی رنگ‌ها کوپلیمر TBT هستند که حاوی مولکول‌های سمی تحت عنوان زیست‌کش هستند. این مواد موفق‌ترین محصولات جهت مقابله با رسوب‌گذاری زیستی بوده‌اند اما استفاده گسترده از این مواد منجربه آلودگی شدید اکوسیستم آبی شده است. در این شرایط نانوپوشش‌ها جایگزین‌های غیرسمی هستند که به دلیل ساختارشان قدرت چسبندگی ارگانیسم‌ها را در سرعت بالا کاهش می‌دهد. مزیت دیگر نانوپوشش‌ها کاهش هزینه نگه‌داری و تعمیرات است. نانوپوشش‌های ضد جلبک سبب می‌شوند تا دفعات مورد نیاز جهت تمیزکردن بدنه تجهیزات کاهش یافته و در نتیجه ارزش افزوده بالایی را ایجاد می‌کنند. حوزه‌هایی که از نانوپوشش‌ها می‌توان در صنایع دریایی استفاده کرد شامل موارد زیر است:

- ✓ نگه‌دارنده‌های محموله بار: مقاومت سایشی
- ✓ تانکرهای حمل بار: مقاومت شیمیایی

- ✓ بدنه زیر آب: کنترل رسوب‌گذاری زیستی
- ✓ عرشه: مقاومت شیمیای، ضربه و سایش
- ✓ تانک‌های بالاست: مقاومت خوردگی

نانوپوشش‌ها همچنین مقاومت بین بدنه کشتی‌ها و آب را کاهش داده و درنتیجه منجر به کاهش مصرف سوخت و تولید گازهای گلخانه‌ای می‌شوند. نانورنگ‌های دریایی ضد جلبک بر پایه آب، آب‌گریزی بالایی دارند (کاهش مصرف سوخت) و بادوام هستند، در برابر UV مقاومند، ضد باکتری، صدف و جلبک هستند، مقاومت گرمایی دارند و ضد چسبندگی و خوردگی (۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰ ساعت تست نمک) هستند. این مواد می‌توانند بر روی تمامی کشتی‌های نظامی و تجاری، آهنی، آلومینیومی و فایبرگلاس استعمال شوند.

گرافن یکی از موادی است که جهت استفاده در پوشش‌های حفاظتی دریایی به عنوان یک دوستدار محیط زیست و جایگزین مناسب برای کروم شش ظرفیتی مورد تحقیق قرار گرفته است. در مورد مشابه برای نانوتیوب‌های کربنی، کشتی‌های نیروی دریایی آمریکا پس از گذشت ۵ سال هیچ نشانه‌ای از رسوب‌های زیستی نداشته‌اند.

۷،۲،۲. پنجره‌های هوشمند

الکترولیت گرافن می‌تواند در تولید شیشه‌های هوشمندی که با استفاده از تغییر ولتاژ شفافیت آن تغییر می‌کند، کاربرد داشته باشد. سطح گرافن می‌تواند از حالت شفاف به کدر تاریک تغییر رنگ بدهد. این شیشه‌ها جهت کاهش انعکاس نور خورشید در پنجره‌ها و آینه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. با استفاده از این شیشه‌ها می‌توان کنترل بیشتری بر روی دما و نور داخل ساختمان داشت و همچنین کمک شایانی به حفظ حریم شخصی افراد می‌کند.

۳،۲. بازار جهانی پوشش‌ها

۱،۳،۲. محرک‌های بازار

قوانین محدودکننده: حذف ترکیبات آلی فرار (VOC) و بودار یکی از روندهای اصلی بازار پوشش‌ها است. قوانین مربوط به حذف این مواد در ساختمان‌سازی بسیاری از کشورها به خصوص در اروپا و آمریکای شمالی، روز به روز سخت‌تر و گسترده‌تر شده است. در حال حاضر برای گام برداشتن در راستای اهداف توسعه پایدار، نیاز فراوانی به جایگزینی پوشش‌های پتروشیمیایی با پوشش‌های بر پایه مواد زیستی وجود دارد.

هزینه خوردگی: امروزه تاثیر اقتصادی خوردگی فلزات یکی از چالش‌های مهم جوامع مدرن و توسعه یافته است، به طوریکه در سال ۲۰۰۸ هزینه سالانه خوردگی در اروپا حدود ۲۰۰ میلیارد یورو و در ایالت متحده آمریکا حدود ۲۷۰ میلیارد دلار تخمین زده شده است. این هزینه‌ها شامل تمامی هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم خوردگی است. هزینه‌های مستقیم خوردگی مربوط به تحصیل حفاظت خوردگی در حوزه‌های طراحی و ساخت و هزینه‌های غیر مستقیم شامل بازرسی، تشخیص، نگه‌داری و تعمیرات خوردگی است. در ایران نیز خوردگی، هزینه‌ای معادل ۸،۰۰۰ میلیارد تومان در سال به خود اختصاص می‌دهد.

بهداشت: محدودیت‌های قانونی جدید و مقاوم شدن میکروب‌ها در برابر یون‌های فلزی و آنتی‌بیوتیک‌ها منجر شده است تا تولیدکنندگان پوشش‌ها به دنبال جایگزین‌هایی برای پوشش‌های ضدمیکروبی سنتی باشند. توسعه عامل‌های ضدمیکروبی با سمیت کم و بازدارندگی بالا در برابر آلودگی‌های میکروبی یکی از موضوعات اصلی در تولید پوشش‌های جدید در صنایع بسته‌بندی، غذایی، دارویی و بهداشتی و درمانی است. پوشش‌های نهایی ضدمیکروبی باید خواص زیر را دارا باشند:

کنترل موثر باکتری، قارچ و کپک
واکنش انتخابی نسبت به میکروارگانیسم‌های مورد نظر
عدم سمیت برای تولیدکننده و مصرف‌کننده

دوام خواص بر روی سطوح اعمال شده
سازگاری با سایر عامل‌های مورد استفاده در پوشش
اعمال راحت

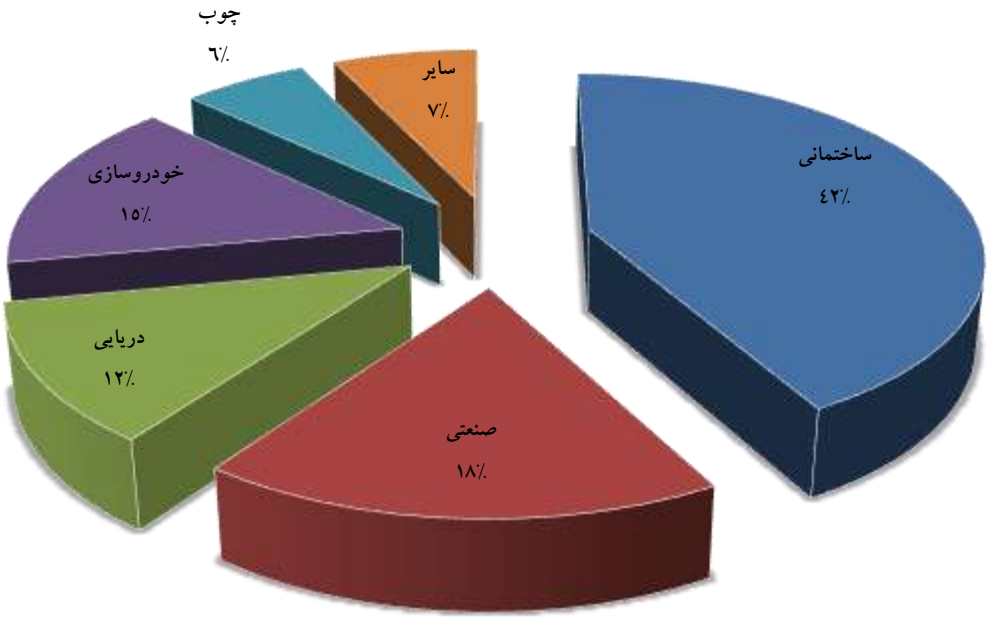
برای ضدعفونی کردن سطوح تجهیزات و تاسیسات در صنایع فراوری مواد غذایی، بیمارستان‌ها، مدارس، کودکستان‌ها و ... نیاز است تا به طور مداوم حجم بالایی از مواد شوینده و آنتی‌بیوتیک‌ها استفاده شود. بدین منظور استفاده از نانوپوشش‌های ضدمیکروب جهت مقابله با رشد باکتری‌ها می‌تواند مصرف مواد شیمیایی را به مقدار چشم‌گیری کاهش دهد. آزمایش‌ها نشان داده است استفاده از نانومواد کربنی عامل‌دار می‌توانند خواص ضدمیکروبی مناسبی را از خود به نمایش بگذارند.

خسارات مربوط به آب و هوا: یخزدن سطوح یکی از معضلاتی است که می‌تواند با تحت تاثیر قرار دادن عملکرد تجهیزات و تاسیسات خسارت‌های مالی فراوانی ایجاد می‌کنند. به عنوان مثال یخبندان سال ۲۰۰۸ چین منجر به وارد شدن خسارت مستقیم ۱۶ میلیارد دلاری به اقتصاد کشور شد. تجمع یخ و برف بر روی سطوح سازه‌ها و تجهیزات می‌تواند منجر به اختلال در عملکرد آن‌ها در مناطق سرسیر شود؛ افزایش وزن، زمان تعمیر و نگه‌داری طولانی‌تر و توقف تجهیزات و ایمنی نیروهای انسانی از جمله مسائل ایجاد شده است. صنایعی چون ماشین‌سازی، حمل و نقل هوایی، دریایی و زمینی، ساختمان‌سازی و توربین‌های بادی به شدت تحت تاثیر این معضلات قرار می‌گیرند.

بر اساس اعلام آژانس حفاظت محیط زیست تنها حدود ۲۵ میلیون گالن عامل ضدیخ سالانه بر روی هواپیماهای تجاری ایالات متحده آمریکا اعمال می‌شود.

۲.۳.۲. اندازه بازار

بر اساس گزارش انجمن جهانی صنعت رنگ و پوشش، در دهه گذشته، تقاضای جهانی رنگ و پوشش با متوسط رشد سالانه ۵/۴ درصد روبرو بوده است. حجم فروش تولیدات این صنعت در سال ۲۰۱۳ به ۴۱/۷۵ میلیون تن با ارزش ۱۲۷/۳ میلیارد دلار رسیده است. از میان مصرف‌کنندگان نهایی، رنگ‌های ساختمانی سهم اصلی بازار را به خود اختصاص داده است؛ بعد از آن نیز رنگ‌های حفاظتی و صنعتی قرار دارند. نمودار زیر سهم بخش‌های مختلف را از درآمد این صنعت نشان می‌دهد.



نمودار ۳۰- سهم بازار صنایع مصرف‌کننده رنگ‌ها و پوشش‌ها در سطح جهان

جدول ۴۵- گرافن در بازار پوشش‌ها، مرحله تجاری سازی و اندازه بازار

کاربردها	مرحله تجاری‌سازی	اندازه بازار
پوشش‌های ضدخوردگی	۳-۲	بیش از ۱ میلیارد دلار
پوشش‌های ضدیخ	۲	کم‌تر از ۲۵۰ میلیون دلار
پوشش‌های ضدباکتری	۲	بیش از ۱ میلیارد دلار
پوشش‌های ضد مه	۲	۲۵۰ تا ۵۰۰ میلیون دلار
پوشش‌های مانع اکسیژن	۲	۲۵۰ تا ۵۰۰ میلیون دلار

۳،۳،۲. توسعه‌دهندگان محصول

در جدول زیر نام شرکت‌های فعال در حوزه توسعه کاربرد و محصولات گرافن در حوزه پوشش‌ها و فعالیت‌های آن‌ها ارائه شده است.

جدول ۴۶- شرکت‌های فعال در حوزه توسعه کاربرد و محصولات گرافن در حوزه پوشش‌ها و فعالیت‌های آن‌ها

شرکت	فعالیت
2-D Tech	دریافت کمک هزینه نوآوری بریتانیا جهت سرمایه‌گذاری برای توسعه پوشش‌های ضد خوردگی بر پایه گرافن
Akzo Nobel	همکاری با دانشگاه منچستر جهت توسعه رنگ‌های ضدخوردگی بر پایه اکسید گرافن
Garmor, Inc.	توسعه اسپری پوششی ضدخوردگی بر پایه گرافن
Graphene Stone	تولید و عرضه رنگ‌های حاوی گرافن
Kimberley Clark	ثبت پتنت پوشش‌های ضد مه برای شیشه که گرافن می‌تواند یکی از اجزای آن باشد
Saab, Inc.	ثبت پتنت استفاده از گرافن جهت یخزدایی هواپیما
The Sixth Element	برنامه‌ریزی برای تجاری سازی پوشش‌های ضدخوردگی
Tata Steel	تحقیق مشترک با EPSRC[1] بر روی امکان جایگزینی کروماته و سایر پوشش‌های سمی آهن با گرافن

بازار ایران

به نقل از ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، سالانه حدود ۴،۵ درصد از تولید ناخالص ملی در ایران صرف جبران هزینه‌های ناشی از خوردگی و حفاظت در برابر آن می‌شود. به‌منظور جلوگیری و کاهش هزینه‌های مذکور، از پوشش‌های ضد خوردگی استفاده می‌شود. پوشش‌های آلی به‌صورت گسترده جهت حفاظت فلزات در برابر خوردگی از طریق ایجاد یک سد فیزیکی بین سطح فلز و محیط خورنده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

[1] Engineering and Physical

بااین‌حال گونه‌های خورنده‌ای نظیر اکسیژن، آب و یون کلر می‌توانند به‌مرور زمان درون این پوشش‌ها نفوذ کرده و خود را به فصل مشترک فلز/پوشش برسانند. این موضوع علاوه بر تسریع فرایند خوردگی فلز موجب می‌شود پوشش چسبندگی خود را از دست داده و از روی سطح کنده شود. در سال‌های اخیر تحقیقاتی در زمینه مرتفع کردن نقص مذکور با بهره‌گیری از فناوری نانو انجام شده است.

موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش: دکتر بهرام رمضان زاده کراتی، عضو هیئت علمی پژووهشکده پوشش‌های سطح و فناوری‌های نوین، با اشاره به پوشش‌های اپوکسی به عنوان یکی از پرکاربردترین انواع پوشش‌های آلی، گفت: پوشش اپوکسی به دلیل خواص منحصربه فردی نظیر چسبندگی مناسب به سطح فلز و برخورداری از چگالی اتصالات عرضی بالا، خواص حفاظتی مناسبی در برابر محیط‌های خورنده از خود بروز می‌دهد. اما این پوشش در زمان بالای تماس با محیط خورنده نمی‌تواند خواص حفاظتی خود را حفظ کند. در این راستا، در این پژوهش از نانوذرات اکسید گرافن جهت ایجاد ساختار نانوکامپوزیتی و در نتیجه افزایش خواص حفاظتی پوشش ضدخوردگی پایه اپوکسی استفاده شده است.

به گفته وی، استفاده از پوشش نانوکامپوزیتی سنتز شده به منظور پوشش دهی تجهیزات در معرض محیط خورنده دریایی و پالایشگاهی می‌تواند موجب کاهش خسارات خوردگی و افزایش طول عمر تجهیزاتی نظیر خطوط انتقال شود. این موضوع کاهش هزینه‌های نگهداری و تعویض پوشش را نیز در پی خواهد داشت.

ایشان در خصوص سازوکار عملکرد نانوذرات گرافنی در زمینه پوشش اپوکسی افزود اخیراً نانوذرات بر پایه اکسید گرافن به دلیل خواص منحصربه فرد مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است. سطح تماس بالا و نیز ضخامت نانومتری لایه‌های گرافنی، این ترکیب را به یک نانوذره منحصر به فرد تبدیل نموده است. اما یکی از محدودیت‌های استفاده از این ترکیب، عدم سازگاری و پایداری آن‌ها در اکثر حلال‌های آلی است که با اعمال عملیات اصلاح سطحی با ترکیبات آمینی این نقیصه برطرف می‌شود. این نانوصفحات به دلیل سطح ویژه بسیار بالایشان می‌توانند از نفوذ عوامل خورنده به درون پوشش و رسیدن آن‌ها به فصل مشترک پوشش – فلز جلوگیری کنند و یا آن را به میزان بسیار زیادی به تعویق بیندازند که این موضوع افزایش طول عمر پوشش را به دنبال دارد.

پوشش‌های صنعتی رایج سه لایه دارند که لایه اول پوشش اپوکسی غنی از روی با خواص ضد خوردگی است، لایه دوم پوشش میانی اپوکسی جهت تقویت خواص مکانیکی است و لایه رویه جهت محافظت از امواج UV خورشید می‌باشد. با افزودن گرافن به لایه اول خواص ضد خوردگی تا سه برابر بهبود یافته است. اضافه کردن گرافن به لایه میانی خواص مکانیکی را بهبود می‌بخشد و خواص نفوذ ناپذیری بسیار بالایی دارد. همچنین با تست‌های انجام شده مشخص شد که افزودن گرافن مقاومت نسبت به اشعه UV را ۲ تا ۳ برابر افزایش می‌دهد.

استفاده از این پوشش‌ها برای کاربردهای عام به دلیل قیمت بالای آن هنوز توجیه اقتصادی ندارد. همچنین در صورت خراش برداشتن این پوشش دیگر خواص مطلوب را ارائه نمی‌دهد، به عبارت دیگر خواص خود ترمیمی ندارد در حالیکه بعضی از پوشش‌های معمول مورد استفاده این خاصیت را دارند. همچنین در تولید این پوشش‌ها در مقیاس صنعتی ساده سازی فرایند تولید و سازگاری آن با فرایندهای موجود موضوع بسیار مهمی است که مشغول مطالعه در این زمینه هستند. همچنین قیمت یکی از پارامترهای اساسی در بحث این پوشش‌ها است که باید روی کاهش هزینه تولید کار شود. از کاربردهای این پوشش‌ها می‌توان مواردی مانند بدنه کشتی‌ها، سطوح خارجی خطوط انتقال آب، نفت و گاز، اسکله‌ها و مخازن در معرض خوردگی اشاره کرد.

پژوهشگاه صنعت نفت: رئیس مرکز تحقیقات پوشش پژوهشکده حفاظت صنعتی پژوهشگاه صنعت نفت، سرکار خانم شریعت پناهی، ساخت نانوپوشش‌های هوشمند ضدخوردگی پایه پلیمری توسط پژوهشگاه صنعت نفت را، از دستاوردهای طرح پنج ساله امکان سنجی فرمولاسیون، ساخت و استفاده از نانوپوشش‌ها به منظور حفاظت از خوردگی تأسیسات و تجهیزات صنایع نفت برشمردند. عملکرد هوشمند این نانو پوشش‌ها به گونه‌ای است که بازدارنده موجود در خود را تنها باشروع فرایند خوردگی و تولید محصولات ناشی از آن، آزاد نموده و سبب جلوگیری از خوردگی می‌شود و درصورت توقف فرایند خوردگی و یا عدم وجود عوامل خورنده، آزادسازی بازدارنده نیز متوقف می‌گردد.

با توجه به هزینه‌های بالای نگهداری، تعویض، قیمت های بالای بازدارنده و آلودگی‌های زیست محیطی خوردگی تاسیسات و تجهیزات صنایع نفت، این مکانیسم به مصرف بهینه و حداقل هزینه‌ها کمک می‌کند. با وجود همه این توصیفات به دلیل اینکه صنعت همواره از علم روز دنیا عقب است و عدم تمایل به تغییر در رویه‌های موجود هنوز استقبالی از این محصول در صنعت صورت نگرفته است. حتی برخی از شرکت‌های مطرح تولید کننده داخلی هم به شرط تضمین خرید حاضر به سرمایه‌گذاری در تولید آن بوده‌اند.

شرکت تعاونی تولید کنندگان رنگ و محصولات وابسته: آقای مهندس یگانه رئیس هیئت مدیره تعاونی تولید کنندگان رنگ و محصولات وابسته آمار دقیقی از تولیدات رنگ و به خصوص پوشش‌های ضد خوردگی در دست نیست ولی سالانه هزینه‌های زیادی صرف خسارات ناشی از خوردگی می‌شود. خود ایشان هم پوشش ضد خوردگی تولید کرده‌اند و حتی آن را با قیمتی پایین‌تر و کیفیتی مشابه نمونه‌های خارجی عرضه می‌کنند ولی مصرف کننده این گونه پوشش‌ها که عموما سازمان‌های دولتی هستند ترجیح می‌دهند از محصولات خارجی استفاده نمایند.

رنگ سمن: شرکت شیمیایی سمن در سال ۱۳۵۲ فعالیت خود را در زمینه تولید انواع رنگ آغاز نموده و با توجه به نیاز صنایع کشور، در ساخت انواع رنگ‌های حفاظتی، ضد خوردگی، صنعتی، تخصصی و تزئینی به موفقیت های چشمگیری نائل گردیده است. در راستای تداوم این حرکت، این شرکت حضور خود را در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی، پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌ها، صنایع مس و فولاد، ماشین سازی، صنایع هوایی، آب و فاضلاب، لوازم خانگی و اداری و ... تثبیت نموده و با استفاده از فرمولاسیون روز جهانی و مطابق استانداردهای نوین با تولید انبوه، در زمره بزرگترین تولید کنندگان این بخش از صنعت کشور قرار گرفته است.

مدیر آزمایشگاه، آقای قارداشلو، بیان کردند که این شرکت پوشش‌هایی با پایه اپوکسی پلی آمید و پلی آمین دو جزیی تولید می‌کند و معمولا از موادی مانند فسفات روی برای بهبود خواص ضد خوردگی استفاده می‌شود و سایر مواد افزوده شده در شرکت‌ها با توجه به فرمولاسیون خاص آن شرکت متفاوت است.

جمع بندی:

با توجه به اهمیت موضوع خوردگی و هزینه‌های ناشی از آن تحقیقات زیادی بر روی این موضوع به خصوص با به کارگیری نانو مواد انجام شده است که نتیجه آنها تولید چند نمونه محصول بوده است. متاسفانه صنایع مصرف کننده که عموما وابسته به سازمان‌های دولتی هستند استفاده از محصولات خارجی را ترجیح می‌دهند و به محصولات داخلی اعتماد چندانی ندارند. از سوی دیگر در پژوهشکده رنگ و پوشش با استفاده از گرافن پوشش‌های ضدخودگی تولید شده که خواص بسیار مطلوبی دارد ولی هنوز، هم در تولید و بهینه سازی آن نیاز به تحقیق و توسعه است و هم با توجه به قیمت بالای گرافن، از نظر قیمت قابلیت رقابت با سایر محصولات موجود در این حوزه را ندارد.

۳. چسب‌ها

۱،۳. معرفی چسب

افزایش پیچیدگی و دانسیته قدرت دستگاه‌های الکتریکی موجب مطرح شدن موضوع نقاط داغ[1] شده است، که با کوچک شدن ابعاد در مقیاس نانومتری تشدید خواهد شد. بنابراین موضوع مدیریت گرما یک مسئله حیاتی در دستگاه‌های الکتریکی نسل بعدی است، و مستلزم

[1] hot spoot

توسعه چسب‌های رسانای حرارت جدید با هدایت حرارتی بهبود یافته است. نانو مواد اجازه ساخت چسب‌هایی با ترکیبی از خواص حرارتی، الکتریکی یا حرارتی الکتریکی را می‌دهد.

۱،۳. کاربرد گرافن در چسب

چسب‌های دارای نانو مواد به طور عمده در بخش‌های ساخت و ساز، الکترونیک (اکسیدهای فلزی، نانو سیم‌های نقره، نقره و نانو لوله‌ها به عنوان اتصالات الکتریکی رابط)، خودروسازی و هوافضا یافت می‌شوند. پرکننده اصلی مورد استفاده در تولید چسب‌های تقویت شده با نانو مواد، شامل فیوم سیلیکا، نانو کربنات کلسیم رسوبی، نانو لوله کربنی و نانو مواد اکسید فلزی هستند. نامزدهای اخیر نانو سلولز و گرافن هستند.

جدول ۴۷- خواص جذاب گرافن در چسب‌ها

خواص	
نسبت ابعادی بالا	ماده کمتری برای تشکیل شبکه percolative مورد نیاز است.
رسانایی	هدایت الکتریکی بهبود یافته با خواص چسب می‌تواند در ساخت مدارهای الکتریکی و فیلم‌های نازک روی بسترهای حساس به دما مورد استفاده قرار بگیرد.
خواص گرمایی	پایداری حرارتی بالا برای کاربرد در مواد سبک وزن مورد استفاده برای از بین بردن حرارت دستگاه‌های الکتریکی. بهبود رسانایی گرمایی
مکانیکی	افزایش قابل توجه در استحکام کششی چسب‌های ساختاری

۲،۳. وضعیت جهانی بازار

بر طبق گزارش انجمن چسب و درزگیر (ASC)[1] ، ارزش بازار چسب و درزگیر در سال ۲۰۱۱ برابر ۴۰/۵ میلیارد دلار بوده‌است. برآورد می‌شود که بخش چسب به تنهایی در سال ۲۰۱۷ ارزشی برابر ۳۸ میلیارد دلار داشته باشد.

توسعه دهندگان محصول

در جدول زیر نام شرکت‌های فعال در حوزه توسعه کاربرد و محصولات گرافن در زمینه صنعت چسب و فعالیت‌های آن‌ها ارائه شده است.

جدول ۴۸- شرکت‌های فعال در حوزه توسعه کاربرد و محصولات گرافن در زمینه صنعت چسب و فعالیت‌های آن‌ها

شرکت	فعالیت
BAS	این شرکت در حال توسعه چسب‌های رسانا مبتنی بر گرافن برای کاربردهای الکترونیکی است.
XG Sciences	این شرکت گرافن برای استفاده در چسب‌ها تولید می‌کند.

بازار ایران

چسب رازی: شرکت شیمیایی رازی فعالیت خود را از سال ۱۳۵۹ با شعار همه رازی از چسب رازی در زمینی به وسعت ۱۰۰ هزار مترمربع و زیربنای تولیدی حدود ۲۰ هزار مترمربع در حومه شهرستان هشتگرد واقع در استان البرز آغاز کرده است. این شرکت بزرگترین تولیدکننده انواع چسب‌های صنعتی و خانگی ،رزین‌های صنعتی، پلی ونیل استات در ایران است که موفق به اخذ کاربری مهر استاندارد و استاندارد بین

[1] Adhesives and Sealant Council

المللی کیفیت ISO 9001:2008 از شرکت QS سوئیس برای محصولات خود گردیده است. شرکت شیمیایی رازی علاوه بر تولید انواع چسب‌های صنعتی برای اولین بار در کشور موفق به ساخت تیوب پلاستیکی گردیده که در صنایع آرایشی، بهداشتی، و... مصارف فراوانی دارد.

در حال حاضر این کارخانه تنها چسب‌های با کاربرد خانگی تولید می‌کنند و به گفته مسئول واحد تحقیق و توسعه این شرکت، آقای فرخزاد، چندین سال است که سلیکون‌های حرارتی را تولید نمی‌کنند و در گذشته هم برای تولید این چسب‌ها از افزودنی‌های وارداتی استفاده می‌شده است.

شرکت دقیق شیمی (چسب کاسپین): شرکت دقیق شیمی وابسته به گروه صنعتی فومن شیمی، اواخر سال ۱۳۷۷ به ثبت رسید و فعالیت در زمینه تولید انواع چسب را تحت نام کاسپین، با استفاده از مرغوبترین مواد اولیه طبق جدیدترین ترکیب‌های شیمیایی و روش‌های تولید، تحت شیوه‌های دقیق کنترل کیفیت بین المللی آغاز نمود. شایان ذکر است که محصولات دقیق شیمی، مورد مصرف و تائید ۳۰۰ شرکت معتبر مانند: سایپا، ایران خودرو، پارس خودرو، هیمالیا، صنایع تهویه کوهساران، آیسان، برفاب، سپهر الکتریک، ساراول، امرسان قرار گرفته‌اند.

به گفته آقای عبدی، مدیر کارخانه چسب کاسپین این شرکت تولید کننده انواع چسب‌های سیلیکون (چسب آکواریوم)، چسب‌های مایع معمولی و چسب‌های لوله‌های PVC است و چسب‌های خاص سیلیکونی با مصارف الکترونیکی را تولید نمی‌کند. به گفته ایشان بیشتر مواد افزودنی مورد مصرف در چسب‌ها وارداتی است و تنها برخی از حلال‌ها در ایران تولید می‌شود.

صنایع شیمیایی غفاری: شرکت صنایع شیمیایی غفاری در سال ۱۳۴۳ به کوشش مهندس محسن غفاری قاضی سعید تاسیس و راه اندازی شده است. این شرکت تولید کننده انواع چسب‌های صنعتی، عمومی و ساختمانی و همچنین رزین‌های صنعتی درگریدهای متنوع جهت مصارف مختلف می‌باشد که از لحاظ کیفیت مطابق با استانداردهای جهانی و قابل رقابت با محصولات مشابه خارجی است. نقطه عطف و گسترش شرکت، تولید چسب دوقلو بوده که پس از آن طی سال‌ها، امروزه با توسعه و پیشرفت روز افزون و بکارگیری فناوری‌های نوین، نسل جدیدی از محصولات شیمیایی شامل انواع چسب‌ها و درزگیرها و رزین‌هایی با تکنولوژی بالا به بازارهای داخلی و خارجی عرضه می‌گردد.

خانم مهندس جاویدفر مدیر واحد تحقیق و توسعه این شرکت بیان کردند که چندین درخواست برای تولید چسب‌های رسانای حرارت در دمای بالا داشته‌اند ولی در حال حاضر این چسب‌ها را تولید نمی‌کنند و تنها چسب‌های صنعتی و خانگی معمول را تولید دارند. همچنین در رابطه با مواد اولیه مصرفی در صنعت چسب بیان داشتند که مواد افزودنی و فیلرهای مصرفی برای افزودن به رزین اصلی وارداتی هستند و تولید کننده‌ای برای آنها نداریم.

چسب دوام سازان: این شرکت با بیش از ۲۰ سال سابقه تولید کننده انواع چسب‌ها و پرایمرهای تخصصی در صنعت MDF–چاپ و بسته بندی–ساختمان–چوب–نساجی و کاشی است. تامین این قبیل چسب‌ها در گذشته برای شرکت‌های مصرف کننده فقط از طریق شرکت‌های خارجی با قیمت بسیار بالا و شرایط خرید خاص میسر بوده که فشارهای اقتصادی بالا و در نتیجه منجر به افزایش قیمت محصولات نهایی می‌شد.

شرکت دوام با تجربه و مشاهده نزدیک و در نظر داشتن تمامی استانداردهای زیست محیطی و کیفیت کاری بالا که تمامی آنها از پایه‌های حلال‌های نفتی فاکتور شده و بر پایه آب تولید گردیده است تا کنون توانسته در صنایع چاپ و بسته بندی، چوب (MDF)، صنعت نساجی و کاشی فعالیت‌های تولیدی خود را گسترش دهد.

آقای صراف مدیر عامل این شرکت بیان داشتند که آنها بیشتر تولید کننده چسب‌های پایه آبی و تخصصی است. مواد مصرفی اصلی در تولید چسب‌های این شرکت پلی وینیل الکل است و استون است که این مواد را تولید داخل نداریم. به گفته ایشان تولید چسب‌های رسانای

حرارتی به دلیل کاربردهای خاصی که دارند بازار محدودی دارند و تولید این گونه محصولات در صورت وجود سفارش به صورت مقطعی است.

همچنین این شرکت نوعی چسب به نام نانو تک جهت چسباندن روکش Mdf به Hpl با تکنولوژی نانو تولید کرده است، و بر پایه وینل استات با درصد جامد بالا و مولکول‌های زنجیره‌ای ریز است که درصد جامد این چسب را به حداکثر می‌رساند. از خصوصیات این چسب زمان خشک شدن سریع که همراه با چسبندگی بالا و فیلتر مناسب جهت لمینت روکش‌های Hpl به Mdf با پرس‌های تخت ورول پرس مورد مصرف دارند .این چسب برای تولیدکنندگانی که با سیستم جدید خط تولید بدون وقفه کار می‌کنند ،ساخته شده است.

تعاونی تولیدکنندگان چسب: شرکت تعاونی تولید کنندگان چسب کشور در سال ۱۳۶۲ به ثبت رسیده است و تحت پوشش وزارت تعاون می‌باشد. در حال حاضر این تعاونی از نظر وزارت صنایع به عنوان تنها تشکل قانونی صنعت کشور در نظر گرفته شده و اکثر تولید کنندگان شاخص چسب کشور از اعضای فعال این تعاونی هستند.

به گفته مهندس محمودی، رئیس هیئت مدیریه تعاونی، چسب‌های با کاربردهای رسانایی حرارتی و الکتریکی در کشور تولید نمی‌شود و حدود ۵۰ درصد ظرفیت اسمی کارخانه‌ها فعال است.

جمع بندی:

چسب‌های تولید شده در داخل کشور بیشتر برای کاربردهای عمومی خانگی و یا صنعتی هستند و چسب‌های با کاربردهای خاص توسط تولید کنندگان داخلی تولید نمی‌شود. همچنین به دلیل رکود بازار غالب کارخانه‌ها با ۵۰ درصد ظرفیتشان مشغول به فعالیت هستند. با توجه به این موارد به نظر می‌رسد گرافن در این صنعت استفاده‌ای نداشته باشد و یا برای استفاده از آن نیاز به تحقیق و توسعه جهت تولید محصولاتی است که فرمولاسیون آن با استفاده از گرافن بهبود داده شده باشد.

۴. روانکارها

۱،۴. معرفی روانکارها

اصطکاک و سایش منابع عظیم از دست رفتن انرژی و مواد در فرایندهای مکانیکی هستند. روانکاری تمرکز اصلی تلاش‌های انجام شده برای بهبود بهره‌وری انرژی و دوام مکانیکی است. شرکت‌های تولید روان کننده از طرف خودروسازان و OEMهای صنعتی برای توسعه فرمولاسیون جدید روان کننده‌ها با عملکرد بهتر و مقدار کمتر تحت فشار هستند.

۲،۴. کاربرد گرافن در روانکارها

شرکت‌های تولید کننده خودرو و ماشین‌های صنعتی در حال تولید موتورهای کوچکتر، پیچیده‌تر و سنگین‌تر هستند. OEM[1]ها به دنبال تمام جنبه‌های طراحی و عملکرد قطعات برای بهبود بازده انرژی هستند و در این میان روان کننده‌ها نقش مهمی را ایفا می‌کنند. این روند موجب افزایش تقاضا برای روان کننده‌هایی با فرمولاسیون جدید و عملکرد بالا می‌شود.

[1] Original Equipment Manufacturer

نانو لوله‌های کربنی به عنوان افزودنی برای روان کننده‌ها بررسی شده است، و به دلیل کمبود توجیه‌های تئوری و سنجش تجربی خواص تریبولوژی[1] آن، کاربردش گسترده نشد.

همچنین گرافن، مولیبدیوم دی‌سولفید و تنگستن دی‌سولفید به عنوان افزودنی روان کننده‌ها بررسی شده‌اند. گرافن یک نامزد امیدوارکننده برای استفاده در روغن‌های پایه است. این مواد برای کاربردهای متعددی مانند گریس‌های روان کننده، روغن‌های موتور و سیالات مورد استفاده در فراوری فلزات دارند. نانو پلاکت‌های گرافنی، درون روغن‌های پایه، اصطکاک و سایش سطوح فلز را کاهش می‌دهد. همچنین می‌تواند هم در کاربردهای خیس و هم خشک به کار رود.

جدول ۴۹- کاربرد نانو مواد کربنی در روانکارها

نوع روانکار	خواص	کاربرد
خیس	روان کننده خیس با سمیت کمتر به این دلیل که سیال پایه می‌تواند آب باشد.	روان کننده ماشین‌های متحرک با بل برینگ‌های ضد زنگ، از پنکه‌های رومیزی تا توربین‌های بادی، و همچنین میکروماشین‌ها
خشک	از طریق فرایند غوطه‌ور سازی روی قطعات مکانیکی اعمال می‌شود تا اصطکاک را کاهش، چسبندگی سطح را افزایش، و نیاز به دوباره کاری‌های بیهوده را از بین می‌برد.	زمینه‌های نو ظهور مانند نانو رباتیک

۳،۴. بازار جهانی روانکارها

نانو مواد کربنی با توجه به خواص تریبولوژی‌شان (مربوط به اصطکاک، روانکاری و سایش سطوح در تماس باهم) که نسبت به دیگر مواد افزودنی مورد استفاده در حال حاضر برتری دارد فرصت خوبی برای نوآوری در صنعت روانکاری ارائه می‌دهند. تقاضای جهان روان کننده‌ها در سال ۲۰۱۴ برابر ۴۰ میلیون تن بر آورد شده است و تقاضا به دلیل بهبود کیفیت روان کننده و تمرکز بر اقتصاد سوخت و کاهش CO_2 زیاد است. بازار گریس/روغن روان کننده بیش از ۴۰ میلیارد دلار است.

چالش

توسعه محصولات روان کننده با استفاده از نانو ذرات با مشکلاتی روبه ور است، با این حال، به احتمال زیاد در سال‌های آینده با کاهش قیمت آن‌ها و نیاز به روانکارهای با عملکرد بهتر و سخت گیری در مقررات زیست محیطی استفاده از نانو ذرات جذابیت تجاری بیشتری پیدا می‌کنند.

توسعه دهندگان محصول

در جدول زیر نام شرکت‌های فعال در حوزه توسعه کاربرد و محصولات گرافن در حوزه روانکارها و فعالیت‌های آن‌ها ارائه شده است.

جدول ۵۰- شرکت‌های فعال در حوزه توسعه کاربرد و محصولات گرافن در حوزه روانکارها و فعالیت‌های آن‌ها

شرکت	فعالیت
Graphene Nanochem	روانکارها سری PlatQ™ این شرکت از گرافن برای کاربرد در صنعت نفت استفاده می‌کنند.

[1] tribological

بازار ایران

شرکت نفت پارس: شرکت نفت پارس در سال ۱۳۳۷ تاسیس گردیده است و به عنوان اولین تولید کننده روغن در کشور مطرح گردید. محصولات اصلی شرکت روغن دنده خودرو، انواع روغن موتور بنزینی و دیزلی، روغن صنعتی، گریس ، اکسترکت و روغن دریایی می‌باشد. لازم به ذکر است تاسیسات این شرکت در سال ۹۸ نوسازی شده است و این شرکت با ظرفیت ۱۲۰ هزار تن مدرن‌ترین مجتمع روغن سازی کشور می‌باشد . این شرکت توانسته است در زمینه تولید گریس و اکستراکت خود را به عنوان برترین تولید کننده مطرح کند.

آقای براری مسئول بخش توسعه محصول این شرکت بیان کردند که در ایران غالب تولید کنندگان بِلند کار هستند، به این معنی که روغن پایه و پکیج افزودنی‌ها وارد شده و با یکدیگر با نسبت خاص مخلوط می‌شوند و محصول نهایی بدست می‌آید. پکیج‌های افزودنی مورد استفاده در این کارخانه‌ها وارداتی هستند و با توجه به کاربرد روانکار تولید شده ترکیبات متفاوتی دارند و حتی در بعضی موارد اطلاعات دقیقی از مواد به کار رفته در این افزودنی‌ها نیست. همچنین روغن‌های پایه به کار رفته در این روانکارها شامل چهار گروه می‌شوند که تنها روغن‌های پایه گروه یک و مقدار کمی از روغن‌های گروه دو در ایران تولید می‌شوند و مقدار زیادی از روغن‌های پایه گروه دو و سه و گروه چهار از طزیق واردات تامین می‌شود.

به گفته ایشان تولید مواد افزودنی جدید و استفاده از آنها در محصولات تولیدی در بیشتر شرکت‌ها تنها در حد تحقیقاتی است و برای ورود به بازار نیاز به تست‌هایی دارد که تکنولوژی بالایی دارند و ما در داخل آنها را نداریم.

شرکت نفت ایرانول: شرکت نفت ایرانول (سهامی عام)، پیشرو در تولید انواع روغن‌های پایه، روغن موتور و صنعتی، اسلاک واکس، فورفورال اکستراکت، پترولاتوم، برایت استاک در ایران است. در راستای خصوصی سازی شرکت‌های دولتی، در زمستان ۱۳۸۱ پالایشگاه‌های روغن سازی تهران و آبادان از بدنه شرکت ملی نفت ایران جدا شده و با نام شرکت نفت ایرانول فعالیت خود را آغاز نموده است.

انواع روغن‌های پایه سبک و سنگین، روغن‌های موتوری و صنعتی، اکستراکت جهت مصرف در کارخانجات ساخت دوده صنعتی، لاستیک سازی و ... و اسلاک واکس به عنوان خوراک اولیه کارخانجات پارافیت سازی، پارچه بافی، صنایع پارافینی جامد و مصارف صنعتی از تولیدات شرکت نفت ایرانول جهت مصارف داخلی و صادرات است.

کارشناس بخش پژوهش این شرکت، خانم قربانی، گفتند که تمام مواد افزودنی مصرفی وارداتی هستند و ما در ایران تولید کننده این مواد را نداریم. البته چند نمونه محصول داخلی برایشان آمده است ولی هیچکدام ابتدایی‌ترین تست‌ها را هم پاس نکرده‌اند و به همین دلیل از آنها استفاده نشده است. این شرکت افزودنی‌های خود را از شرکت‌های انگلیسی و امریکایی تامین می‌نماید و روغن پایه گروه یک را خودشان تولید می‌کنند و باقی گروه‌ها را هم وارد می‌نمایند.

در مجموع تحقیق و توسعه‌ای برای تولید افزودنی‌ها صورت نمی‌گیرد و تنها با توجه به سفارش و نیاز مشتری بررسی‌هایی را برای پیدا کردن افزودنی مناسب و ترکیب بهینه آن انجام می‌دهند.

جمع بندی:

با توجه به اینکه تولید افزودنی‌های مورد استفاده در حوزه روانکارها در داخل کشور انجام نمی‌شود و همچنین عدم وجود تست‌های لازم برای تولید ترکیبات جدید در داخل کشور به نظر می‌رسد زیر ساخت‌های لازم برای توسعه کاربردهای گرافن در این حوزه مهیا نیست.

۵. منسوجات

۱،۵. معرفی منسوجات

بازار ابزار الکترونیکی پوشیدنی که با منسوجات یکپارچه شده باشد، در دهه آینده رشد چشم‌گیری خواهد داشت. با این حال، لایه‌های نیمه هادی غیر آلی مانند گالیم نیترید و سیلیکون که برای کانال‌های فعال و دی‌الکتریک‌ها به کار می‌روند به دلیل شکنندگی و عدم انعطاف‌پذیری نامناسب هستند. گرافن و نانو لوله‌های کربنی نامزدهای امیدوار کننده‌ای برای استفاده به عنوان کانال‌های فعال هستند..

۲،۵. کاربرد گرافن در منسسوجات

منسوجات اصلاح شده با نانو مواد مزایای قابل توجهی نسبت به روش‌های معمول مورد استفاده برای دادن خواص مختلف به منسوجات، که اغلب اثر دائمی ندارند و در اثر شستشو و سایش از بین می‌روند، دارد. از وش‌هایی مانند خود آرایی الکترواستاتیک[1] و لایه نشانی اتمی برای اعمال نانو مواد در منسوجات جهت اصلاح مواد نساجی موجود استفاده می‌شود تا سطوحی با خواص جدید روی منسوجات موجود بدست آید. در فرایند تولید آن‌ها یا در خود الیاف و یا به صورت پوشش روی منسوجات اعمال می‌شوند.

– الیاف پلیمری تقویت شده می‌توانند از راه اختلاط محلول و مذاب مانند روش ریسندگی مذاب یا ریسندگی الکتریکی به دست آیند. نانوکامپوزیت‌های لیفی قابلیت استفاده در پارچه‌های سبک (الیاف هوشمند) و مواد بافته شده و همچنین الیاف نوری را دارا هستند.

پژوهشگران توانسته‌اند یک لیف ساخته شده از توزیع نانولوله کربن در پلی متیل متاکریلات را به کمک دی فنیل سولفید به عنوان یک جاذب قابل اشباع در یک دستگاه لیزری استفاده کنند. غشای ساخته شده از الیاف پلی وینیل استات– گرافن اصلاح شده که به روش الکتروریسی تولید شده، قابلیت خود را به عنوان جاذب قابل اشباع با پهنای نوار وسیع جذب و به عنوان یک ماده نوری کارآمد برای ایجاد پالس‌های فوق کوتاه در لیزرهای لیفی نشان داده شده است.

دونگ و همکاران الیاف پلی ایمید تقویت شده با گرافن را با روش پلیمرشدن درجا تهیه کردند. این پژوهشگران بیان کردند، الیاف حاوی ٪ ۰/۸ وزنی گرافن، استحکام کششی نزدیک به ۱/۶ برابر و افزایش ۲۰۰ درصدی در مدول یانگ در مقایسه با الیاف خالص دارد.

جدول ۵۱– خواص کاربردی در صنعت نساجی که با استفاده از نانو مواد می‌توان ایجاد کرد

خاصیت	نانو ماده مورد استفاده
رسانای الکتریسیته / آنتی استاتیک	نانو لوله‌های کربنی نانو ذرات مس گرافن
ضد میکروب	گرافن نانو نقره نانو کیتوسان نانو ذرات SiO2 نانو ذرات TiO2 نانو ذرات اکسید روی
مانع (برید) گاز	گرافن

[1] electrostatic self-assembly

	نانو کلی
مقاوم به سایش	گرافن نانو لوله‌های کربنی
محافظت از تداخل امواج الکترومغناطیسی	گرافن نانو لوله‌های کربنی

در حال حاضر، پوشش‌ها یا تکمیل‌های رسانا برای منسوجات برای کاربردهایی مانند پوشش‌های رسانای تشک برای میزهای جراحی یا پارچه‌های محافظ در برابر امواج الکترومغناطیسی برای کاربردهای نظامی یا لباس‌های کار به کار می‌روند. معمولا کربن سیاه برای ایجاد رسانایی الکتریکی کافی استفاده می‌شود، اما با مشکلاتی مانند از دست رفتن خواص منسوج روبه ور است. نقص‌های مواد دیگر منجر به توسعه نانو مواد کربنی برای نسل بعدی منسوجات الکتریکی شده است.

گرافن یکی از کاندیداهای اصلی در این زمینه است، و تحقیقات اخیر روی منسوجات زسانا، انعطاف پذیر و با دوام پوشش داده شده با اکسید گرافن متمرکز شده است. Vorbeck Materials جوهرهای رسانای گرافنی برای تولید منسوجات الکترونیکی به کار برده است.

۳،۵. بازار جهانی منسوجات

بخش ابزار الکتریکی پوشیدنی هوشمند، بازاری با رشد بالا در ۱۵–۱۰ سال آینده برای کاربردهای مراقبت‌های بهداشتی، نظامی، منسوجات خودرو و ورزشی خواهد داشت. بازار کلی منسوجات هوشمند در سال ۲۰۱۴ برابر ۴۰۰ میلیون دلار برآورد شده است، و تا سال ۲۰۲۰ رشدی در حدود ۱/۲۵–۱ میلیارد دلار خواهد داشت، و پتانسیل بازاری به ارزش ۲/۵ میلیارد دلار تا سال ۲۰۲۵ را دارد.

بازار ایران

شرکت نانو راد بهان: شرکت نانو راد بهان در سال ۱۳۸۵ با هدف دستیابی به دانش فنی ساخت و به کارگیری انواع نانو ذرات در منسوجات نوین با کاربردهای منحصر به فرد در هزاره سوم تاسیس گردید. مهمترین حوزه فعالیت شرکت نانو راد بهان توسعه دانش فنی تولید البسه هوشمند با به کارگیری تکنیک های نوین در حوزه فناوری نانو می باشد.

آقای محمود صابری مطلق عضو شرکت نانو راد بهان و مدیر اجرایی شبکه پارک‌های علم و فناوری کشورهای اسلامی بیان داشتند که در صنعت نساجی کاربرد نهایی محصول بسیار مهم است و باید دید که آیا ارزش افزوده ایجاد شده قیمت تمام شده محصول را توجیه می‌نماید یا نه. کاربردهای الکتریکی منسوجات را می‌توان به سه زمینه منسوجات رسانا، سلول‌های خورشیدی انعطاف‌پذیر و منسوجات با قابلیت کاربرد در EMI ها بیان کرد. در همه این زمینه‌ها می‌توان از گرافن استفاده نمود ولی مواد جایگزین موجود با قیمتی بسیار پایین‌تر هستند که این خواص را به خوبی ایجاد می‌کنند. در شرکت نانو راد بهان با استفاده از پوشش پارچه با نانو ذرات مس، نیکل، کبالت و با مخلوطی از این مواد با هم منسوجات رسانا با رسانایی‌های متفاوت تولید شده است. همچنین طی قراردادی که با نیروی زمینی داشتند پارچه‌ای با قابلیت دمپ ۹۹/۹۹۹۹ درصد امواج الکترومغناطیس تولید کرده‌اند که قیمت پارچه از متری پنج هزار تومان به ۲۰ هزار تومان رسیده است و ثبات شستشویی و سایشی بسیار مناسبی هم داشته است، در صورتیکه استفاده از گرافن در پوشش قیمت را بسیار بالاتر خواهد برد. همچنین ایشان در پایان نامه دکتریشان از پارچه‌های رسانای پوشش داده شده با نیکل برای تولید سلول‌های خورشیدی انعطاف‌پذیر استفاده نموده‌اند.

خانم دکتر ملک نیا: عضو هیئت علمی گروه مهندسی نساجی دانشکده فنی و مهندسی واحد تهران جنوب، در زمینه منسوجات رسانا تولید منسوجات رسانا با استفاده از نانو لوله‌های کربنی، نانو ذرات کربنی و نانو فلزات تحقیقات و تولیداتی را انجام داده‌اند ولی به دلیل پوشش‌دهی شیمیایی راحت‌تر و اقتصادی‌تر بودن، استفاده از نانو ذرات فلزی را ارجح دانستند و به همین دلایل به دنبال استفاده گرافن نرفته‌اند.

در بحث منسوجات ضد امواج دو موضوع مهم است که یکی بازتاب امواج و دیگری جذب این امواج است که با توجه به کاربرد منسوج مورد نظر باید دید که کدام خاصیت مورد نیاز است. در بسیاری از کاربردهای پزشکی، هسته‌ای و همچنین محافظت در مقابل بمب‌های الکترومغناطیس خاصیت بازتاب اهمیت بالایی دارد و محصول تولیدی نباید خاصیت جذب داشته باشد و از طرفی در کاربردهای رادار گریز جذب امواج در محدوده فرکانس مورد نظر مهم خواهد بود. در کاربرد اول نانو ذرات فلزی عملکرد خوبی دارند و برای کاربرد دوم ذرات کربنی عملکردی بهتر نسبت به ذرات فلزی دارند. به نظر ایشان با توجه اینکه در ایران نانو الکترونیک پیشرفت خوبی نداشته است کاربرد گرافن هم به همین دلیل فعلا جایگاهی ندارد.

جمع بندی:

کاربردهای اصلی منسوجات رسانا را می‌توان به سه زمینه منسوجات رسانا، سلول‌های خورشیدی انعطاف‌پذیر و منسوجات با قابلیت کاربرد در EMI ها بیان کرد. با توجه به اینکه استفاده از نانو ذرات فلزی برای دست‌یابی به این کاربردها با کیفیت مناسب و قیمت بسیار پایین‌تری پاسخگو بوده است به نظر می‌رسد استفاده از گرافن تنها در برای کاربری‌های خاص که نانو ذرات فلزی قابلیت به کارگیری نداشته باشند توجیه خواهد داشت. از طرف دیگر بازار این گونه منسوجات هم به دلیل کاربرد خاص و محدودشان (بیشتر صنایع نظامی) در ایران بسیار محدود است.

۶. چاپ سه بعدی

۱،۶. معرفی چاپ سه بعدی

چاپ سه بعدی (همچنین به عنوان تولید افزودنی[1] شناخته می‌شود) تکنیک ساخت لایه به لایه یک ساختار سه بعدی پیچیده به هر شکلی از یک فایل دیجیتال است. محبوبیت آن در پنج سال گذشته به دلیل تنوع کارایی، مراحل محدود در فرآیند تولید و تکرارپذیری آن برای طراحی و نمونه‌سازی سریع، افزایش پیدا کرده‌است و به یک بازار چند میلیاردی تبدیل شده‌است.

۲،۶. کاربرد گرافن در چاپ سه بعدی

بازار چاپ سه بعدی به دنبال مواد بهبود یافته با قیمت پایین است. مواد که در حال حاضر استفاده می‌شوند عبارتند از:

- ✓ ترمو پلاستیک‌ها و فوتوپلیمرها: ۲۵۰–۱۷۵ دلار برای هر کیلو
- ✓ فولاد سه بعدی: 100x time cost of commercial grade

هزینه‌های مواد مورد استفاده در چاپ سه بعدی در مقایسه با مواد معمول مورد استفاده بسیار بالاتر است. با این حال، در طول چند سال آینده، پیشرفت در علم مواد موجب گسترش انتخاب در مواد و پایین آمدن هزینه آن می‌شود.

اکرونیتریل ایستایرن بوتادین (ABS)[2] و پلی لاکتیک اسید(PLA)[3] دو نوع از ترموپلاستیک‌ها هستند که در حال حاضر در چاپ سه بعدی استفاده می‌شوند. با این وجود، آن‌ها دارای توانایی‌های فنی محدودی با توجه به ماهیت پلیمرها دارند. افزودن گرافن به پلیمرهای رایج مورد استفاده در چاپگرهای سه بعدی مقاومت مکانیکی، رسانایی گرمایی و حرارتی پلیمرها را بهبود می‌بخشد.

[1] additive manufacturing
[2] Acylonitrile Butadiene Styrene
[3] Poly Lactic Acid

جدول ۵۲- خواص جذاب گرافن در چاپ سه بعدی

خواص	کاربرد
رسانای الکتریسیته	مدارهای چاپی و اتصالات الکتریکی چاپ شده به صورت سه بعدی
رسانای حرارت	کاهش بیش از حد گرم شدن دستگاه‌های الکتریکی
تقویت مکانیکی	پایداری حرارتی بالا رسانایی گرمایی بهبود یافته در مقادیر بالای گرافن (۲۰٪)
مغناطیسی	هسته‌های مغناطیسی پیچیده
شفافیت	پنجره‌ها، لنزها و راهنماهای نوری چاپ شده به صورت سه بعدی
الکتروشیمیایی	باتری‌های چاپ شده به صورت سه بعدی برای تامین انرژی دستگاه‌های چاپ شده به صورت سه بعدی

۳،۶. بازار جهانی چاپ سه بعدی

Credit Suisse پیش بینی کرده‌است که ارزش بازار چاپ سه بعدی تا سال ۲۰۲۰ به ۱۲ میلیارد دلار برسد، این در حالی است که ارزش این بازار در سال ۲۰۱۳ برابر ۳ میلیارد دلار با رشد سالانه ۳۵ درصد از سال ۲۰۱۲ بوده‌است. در حال حاضر به طور گسترده برای نمونه‌سازی سریع در صنایع استفاده می‌شود، و استفاده از آن در بازارهایی مانند مهندسی بافت در حال گسترش است. کاربردهای دیگر آن شامل ساخت قطعات هوا فضا، مدارهای چاپی الکتریکی، دستگاه‌های ذخیره انرژی و حسگرهای خازنی می‌باشد.

نانو موادی مانند گرافن و نانو لوله‌های کربنی نامزدهای مناسبی برای توسعه بازار چاپگرهای سه بعدی هستند. هزینه‌های مواد مورد استفاده در چاپ سه بعدی در حال حاضر، نشان دهنده یک فرصت مناسب برای گرافن در این حوزه است.

چالش

چالش اصلی در توسعه فیلمان‌های چاپ سه بعدی، توسعه مواد کاربردی است در حالیکه قابلیت چاپشان حفظ شود. چاپگرهای سه بعدی موجود برای کار با فیلمان‌هایی با مواد ترموپلاستیک طراحی شده است. هنگامی که مقدار CNT افزایش پیدا کند (برای مثال برای افزایش رسانایی)، دانسیته فیلمان چاپ کردن را سخت می‌کند. افزودن گرافن به ترموپلاستیک‌ها، خواص ذاتی فیلمان‌های چاپ سه بعدی را تغییر می‌دهد، و قابلیت چاپ شدن سه بعدی را کاهش می‌دهد.

توسعه دهندگان محصول

در جدول زیر نام شرکت‌های فعال در حوزه توسعه کاربرد و محصولات گرافن در حوزه چاپ سه بعدی و فعالیت‌های آن‌ها ارائه شده است.

جدول ۵۳- شرکت‌های فعال در حوزه توسعه کاربرد و محصولات گرافن در حوزه چاپ سه بعدی و فعالیت‌های آن‌ها

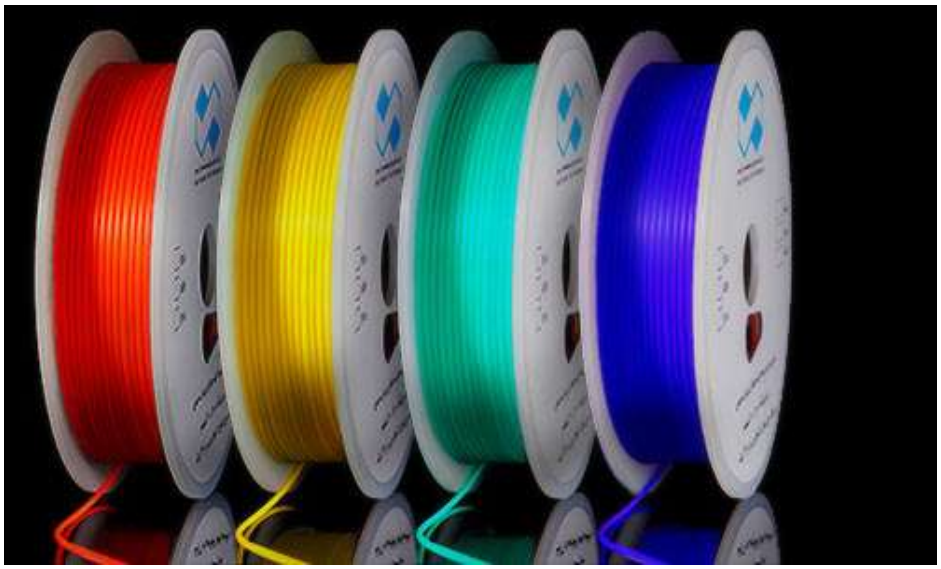
شرکت	فعالیت
3D Graphtech Industries	این شرکت با همکاری CSIRO در استرلیا تحقیقاتی روی کاربردهای جوهرهای گرافن و گرافیت در چاپ ۳بعدی انجام می‌دهد.
Cambridge Nanosystems	این شرکت پلیمرهای گرافنی برای کاربرد در چاپ ۳ بعدی تولید می‌کند.
Haydale	این شرکت با همکاری WCPC جوهرهای رسانای گرافنی تولید خود را برای کاربرد در چاپ ۳ بعدی توسعه می‌دهد.
Grafoid	این شرکت یک توافق با Altamat Inc. برای ساخت یک دستگاه atomization برای تولید MesoGraf™ برای چاپ ۳ بعدی انجام داده است.

Graohene 3D Lab, Inc.	این شرکت به دنبال توسعه باتری‌های قابل چاپ است و با شرکت‌های متعددی در حال همکاری است..
Graphene Technologies	این شرکت با همکاری Stratasys مواد بهبود یافته برای چاپ ۳ بعدی را توسعه می‌دهند.

فیلامنت پرینتر سه بعدی

فیلامنت[1] همان مواد اولیه پرینترهای سه بعدی است. بسته‌های فیلامنت به شکل رشته‌های ماکارونی شکلی است که دور یک قرقره پیچیده شده و به آن رول گفته می‌شود. فیلامنت در جنس‌های مختلفی به بازار عرضه می‌شود که دو نوع فیلامنت ABS و فیلامنت PLA بیشتر متداول هستند.

انتخاب فیلامنت مرغوب تاثیر زیادی در کیفیت چاپ دارد. علاوه بر کیفیت چاپ، فیلامنت نامرغوب در برخی موارد، با گیر کردن در دستگاه، موجب خرابی آن می‌شود. یک فیلامنت پرینتر سه بعدی مرغوب باید دارای قطر یکسان در تمامی طول آن باشد و در اصطلاح تلورانس ضخامت آن بنحوی باشد که در دستگاه گیر نکند. همچنین نباید در داخل فیلامنت، حباب‌های هوا و ناخالصی وجود داشته باشد. این امر باعث می‌شود تا کیفیت قطعه چاپ شده به نحو چشمگیری کاهش یابد.



تصویر ۶۰- نمونه‌ای از فیلامنت‌های مورد استفاده در پرینترهای سه بعدی

PLA یک ترموپلاستیک زیست تخریب پذیر است که از منابع تجدیدپذیری مانند آرد ذرت، نیشکر و نشاسته گرفته می‌شود. برای همین فیلامنت‌های PLA از جمله مواد مصرفی پرینترهای سه بعدی است که در مقایسه با بقیه پلاستیک‌ها مانند ABS که از مشتقات نفتی گرفته می‌شود، دوستدار محیط زیست است.

از کاربردهای PLA می‌توان به پزشکی اشاره کرد. اتصالات ایمپلنت‌های جراحی مانند پین‌ها ولوله‌ها نیز از PLA ساخته می‌شود که ظرف شش ماه تا دو سال در بدن انسان تجزیه می‌شوند. همچنین PLA در بسته بندی مواد غذایی نیز استفاده می‌شود. در ساخت لوازم یکبار مصرف

[1] filament

(قاشق و چنگال)، لوازم خانگی، مواد بهداشتی و حتی پوشک از PLA استفاده می‌کنند. به همین دلیل PLA به عنوان یک پلاستیک سالم و امن شناخته می‌شود.

امروزه در صنعت پلاستیک ABS کاربردهای زیادی دارد. به طور مثال از کاربردهای آن می‌توان به تولید انواع لوله‌ها (مانند آب و فاضلاب)، قطعات خودرو، مونتاژهای الکترونیکی، محافظهای صنعتی (یکی از خواص ABS جذب ضربه است)، وسایل آشپزخانه، آلات موسیقی، جعبه‌ها و کیف‌های محافظ و اسباب بازی‌ها اشاره کرد.

به طور کلی ABS بسیار با دوام و محکم است، انعطاف پذیری کمی دارد و در برابر گرما مقاوم است. پرینترهای سه بعدی در مرحله اول روی پلاستیک ABS دمایی بین ۲۱۰ تا ۲۵۰ درجه سانتیگراد اعمال می‌کنند سپس پردازش روی آن را روی میز کاری که در پرینترهای سه بعدی تعبیه شده انجام می‌دهند. به این ترتیب متریال پرینت شده نه تاب برمی‌دارد نه می‌شکند.



تصویر ۶۱- نمونه‌ای از پرینتر سه بعدی تولید شده توسط شرکت ماشین‌های هوشمند هزاره سوم (چاپگرهای سه بعدی ایران)

بازار ایران

شرکت ایران فیلامنت: طبق گفته آقای منصوری مدیر عامل ایران فیلامنت، شرکت‌های ایکس پرینتر، زد پرینتر و ایران فیلمنت در اصل یک مجموعه هستند. این شرکت وارد کننده مواد مصرفی برای پرینترهای سه بعدی است و گفتند محصولات ایرانی تولید شده کیفیت بسیار پایینی در مقایسه با نمونه‌های خارجی دارند ولی تفاوت قیمت بسیار کمی دارند و به دلیل حاشیه سود بالایی که در این کار وجود دارد

مصرف کننده ریسک استفاده از مواد با کیفیت پایین را نمی‌کند. همچنین این شرکت در گذشته ۲۰ کیلوگرم فیلامنت رسانا وارد کرده است (که قیمت آن با فیلامنت‌های معمولی ۱۰ هزار تومان تفاوت داشته) ولی رسانایی خوبی نداشته و به گفته مصرف کنندگان برای مدار قابل استفاده نبوده. فیلامنت‌های با کیفیت رسانایی خوب قیمتی در حدود ۵۰ تا ۱۰۰ یورو برای هر کیلو گرم دارند و از نظر ایشان فیلامنت‌های رسانا در صورت وجود محصول با کیفیت و قیمت مناسب از بازار مناسبی برخوردار خواهند بود.

ایشان با بیان اینکه حجم کل این بازار در حدود ۵۰۰ کیلوگرم در ماه است، بازار چاپگرهای سه بعدی را در حال حاضر محدود دانستند ولی بازار رو به رشدی را برای آن متصور هستند. همچنین در حال حاضر پرکاربردترین ماده برای این چاپگرها PLA است که به دلیل راحتی استفاده در چاپ بیشترین استفاده را دارد.

شرکت برنا: به گفته آقای دکتر عبدی، مدیر عامل، این شرکت وارد کننده فیلامنت‌های YS از چین می‌باشد. مشکل اصلی در این چاپگرها قیمت بالای فیلامنت‌های آنها است. فیلامنت‌های تولید شده در داخل ایران خلوص بالایی ندارند که موجب ایجاد مشکلاتی برای دستگاه می‌شود. از طرفی دقت لازم در تولید آنها صورت نمی‌گیرد و قطر فیلامنت در سراسر رول آن یکسان نیست.

این شرکت فیلامنت رسانا هم دارد ولی به گفته ایشان در دو سال گذشته تنها یک مشتری برای آن داشته است. مصرف این مواد بیشتر در صنعت رباتیک و الکترونیک است و از مشکلات بازار این گونه فیلامنت‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ✓ عدم آشنایی با کاربردهای آنها
- ✓ قیمت بالا و کاربردهای خاص و محدودشان
- ✓ مصرف این گونه مواد در تولید محصولات با تکنولوژی بالا و نبود این گونه محصولات در ایران

ایشان بازار فروش خودشان را در ماه حدود ۲۰۰ الی ۳۰۰ کیلو و مقدار مصرف در بازار کل ایران را حدود ماهانه یک تن بیان کردند.

شرکت سیزان: کارشناس فروش شرکت سیزان، آقای پویا، بیان کردند که با همکاری شرکت مان پلیمر فیلامنت‌های مورد استفاده در چاپگرهای سه بعدی را در داخل تولید کرده‌اند. کیفیت نمونه‌های تولیدی این شرکت در حال حاضر با نمونه‌های خارجی برابری می‌کند و در مقایسه با نمونه‌های خارجی قیمت مناسبتری هم دارد. برای مثال قیمت فیلامنت PLA این شرکت برابر ۷۵ هزار تومان برای هر کیلو و قیمت فیلامنت ABS برابر ۴۵ هزار تومان برای هر کیلو است که این قیمت‌ها در فروش به صورت عمده کمتر هم می‌شود. تیم تولیدی این شرکت در مرکز رشد پژوهشگاه پلیمر مستقر است که مسئولیت بخش تحقیق و توسعه آن با آقای دکتر رضا دوست می‌باشد.

شرکت مان پلیمر: به گفته آقای دکتر رضا دوست، مدیر تحقیق و توسعه، شرکت مان پلیمر که در مرکز رشد پژوهشگاه پلیمر مستقر است تولید کننده اصلی این فیلامنت‌ها در ایران است که تحت عنوان برند فیلامان (اختصاصی شرکت سیزان) و برند مجیک فیلامنت (برندی برای فروش خودشان) محصولات تولیدی خود را به بازار عرضه می‌نمایند. در این شرکت پروژه‌های دانشجویی متناسب با بحث تولید تعریف می‌شود و در نهایت از نتیجه آن در تولیداتشان استفاده می‌کنند. در حال حاضر پروژه‌ای برای استفاده از گرافن و نانو لوله‌های کربنی برای تولید فیلامنت‌های رسانا تعریف کرده‌اند و مشغول تحقیقات روی آنها هستند. پیش بینی ایشان از حجم بازار ایران در حدود ماهانه یک تن می‌باشد. همچنین قیمت‌های محصولات تولیدی این شرکت در حد معمول بازار است ولی در صورت لزوم توانایی کاهش قیمت‌ها را هم دارند.

جمع‌بندی:

چاپگرهای سه بعدی حدود چهار سال است که وارد بازار ایران شده است و هنوز بازار آن به طور کامل رشد نیافته است. با این وجود به دلیل حاشیه سود بالای این کار شرکت‌های متعددی در زمینه واردات و تولید دستگاه‌ها و مواد مصرفی این چاپگرهای سه بعدی فعالیت می‌کنند. با بررسی‌های انجام شده به نظر می‌رسد بیشتر تولید کنندگان یا وارد کنندگان دستگاه به طور مستقل نسبت به واردات فیلامنت‌های

مصرفی این دستگاه‌ها هم اقدام می‌کنند و تنها شرکت مان پلیمر در تولید فیلامنت‌ها موفق بوده‌است و نمونه‌های تولیدی این شرکت وارد بازار شده‌اند. طبق برآوردهای انجام شده میزان مصرف ماهانه این فی‌لامنت‌ها در ماه حدود یک تن است و بازار فیلامنت‌های با کاربردهای خاص (مانند رسانایی) بسیار محدود است و قیمت اجناس با کیفیت خوب هم بسیار بالا است. از طرفی در صورتی که با استفاده از گرافن محصولی با قیمت و کیفیت مناسب تولید شود، می‌توان با ارائه کاربردهای مناسب برای آن بازار خوبی را برای این فیلامنت‌های رسانا در نظر گرفت.

فصل یازدهم
جمع‌بندی و پیشنهادات توسعه بازار

- ✓ تحلیل بازار گرافن در ایران
  - توان تولی‌د
  - وضعی‌ت بازار
  - روی‌کرد استراتژی‌ک
- ✓ تحلیل محرک‌ها، محدودیت‌ها، فرصت‌ها و چالش‌های بازار گرافن در ایران و جهان
- ✓ تحلیل رفتار مصرف‌کننده (معیارهای تاثیرگذار بر جایگزینی و مصرف گرافن در صنایع مختلف)
- ✓ تحلیل جذابیت‌های بازار گرافن
- ✓ اولویت‌بندی بازارهای هدف
- ✓ پیشنهادات توسعه بازار گرافن در ایران

منابع و مآخذ

منابع لاتین

1.

منابع فارسی

فهرست جداول

جدول ۱- خواص گرافن ۱۱
جدول ۲- خواص گرافن در مقایسه با سایر مواد کربنی ۱۲
جدول ۳- کاربردهای گرافن در صنایع مختلف ۱۴
جدول ۴- روش‌های تولید گرافن ۱۵
جدول ۵- روش‌های تولید گرافن شرکت‌های مطرح ۱۷
جدول ۶- خلاصه مجموعه داده‌های جهانی پتنت در حوزه گرافن ۳۳
جدول ۷- گرافن در صنایع الکترونیک و فتونیک ۷۵
جدول ۸- مقایسه خواص گرافن و سایر مواد در فیلم‌های شفاف رسانا ۸۰
جدول ۹- شرکت‌های فعال در حوزه توسعه فیلم‌های رسانای شفاف ۸۱
جدول ۱۰- مقایسه خواص انواع جوهرهای رسانا ۸۷
جدول ۱۱- شرکت‌های فعال در حوزه توسعه جوهرهای رسانا ۸۷
جدول ۱۲- شرکت‌های فعال در حوزه توسعه ترانزیستورها و مدارهای مجتمع گرافنی ۹۳
جدول ۱۳- ویژگی‌های مرتبط با کاربرد گرافن در حسگرها ۹۶
جدول ۱۴- مقایسه ELISA و حسگرهای زیستی گرافنی ۹۸
جدول ۱۵-کاربردهای گرافن در بازار حسگرها ۱۰۰
جدول ۱۶- شرکت‌های فعال در حوزه توسعه حسگرها ۱۰۱
جدول ۱۷- انواع حافظه‌های نسل جدید ۱۰۳
جدول ۱۸- شرکت‌های فعال در زمینه توسعه حافظه‌های بر پایه گرافن ۱۰۵
جدول ۱۹- خواص گرافن مرتبط با کاربرد آن در مدولاتورهای نوری ۱۰۶
جدول ۲۰- کاربرد گرافن در بازار کامپوزیت‌های پلیمری، مرحله تجاری‌سازی و اندازه بازار ۱۱۴
جدول ۲۱- خواص جذاب گرافن در کامپوزیت‌ها و کاربردهای مورد هدف هر یک ۱۱۵
جدول ۲۲- اندازه بازار کامپوزیت‌های حاوی نانو مواد کربنی ۱۱۹
جدول ۲۳- شرکت‌های فعال در حوزه توسعه کامپوزیت‌های پلیمری مبتنی بر گرافن ۱۱۹
جدول ۲۴- گرافن در کاربردهای بازار انرژی، مرحله تجاری شدن و حجم بازار ۱۲۲
جدول ۲۵- مزایا و معایب گرافن در مقایسه با دیگر مواد در ابرخازن‌ها ۱۳۵
جدول ۲۶- شرکت‌های فعال در حوزه توسعه محصولات و کاربردهای گرافن در صنعت انرژی ۱۶۸
جدول ۲۷- خواص گرافن مرتبط با کاربرد آن در پزشکی و سلامت ۱۷۱
جدول ۲۸- گرافن در بازار بهداشت و سلامت ۱۷۵
جدول ۲۹- شرکت‌های فعال در حوزه پزشکی و سلامت ۱۷۵

فهرست تصاویر

تصویر ۱- گرافن مادر ساختارهای کربنی (نانولوله‌های کربنی، فولرن و گرافیت) ۱۳
تصویر ۲- روش‌های معمول تولید گرافن. هر روش بر اساس شاخص‌های کیفیت گرافن (G)، جنبه هزینه (C؛ مقدار کم مربوط می‌شود به هزینه تولید بالا)، قابلیت تولید زیاد (S)، خلوص (P) و بازده (Y) فرایند تولید کلی ارزیابی شده‌اند. ۱۶
تصویر ۳- طرح کلی از یک دستگاه CVD ۲۰
تصویر ۴- (a) مراحل تهیه GO از گرافیت طی فرآیند اکسایش و سپس کاهش. (b) مراحل تهیه گرافن به روش رسوب نشانی بخار شیمیایی(II) و سولووترمال(III) ۲۱
تصویر ۵- برهمکنش‌های احتمالی مواد گرافنی با سلول‌ها و ارگان‌های زنده ۲۷
تصویر ۶- جدول زمانی برای مطالعه تاثیر مواد گرافنی بر سلامت و محیط زیست ۲۸
تصویر ۷- نقشه دورنمای پتنت گرافن با توجه به فعالیت‌های شرکت سامسونگ در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ ..... ۴۱
تصویر ۸- نقشه دورنمای پتنت گرافن شرکت Ocean's King Lighting توجه به فعالیت شرکت در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ ..... ۴۲
تصویر ۹- نقشه دورنمای پتنت گرافن KAISR توجه به فعالیت شرکت در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ ..... ۴۲

تصویر ۱۰- نقشه دورنمای پتنت گرافن شرکت IBM با توجه به فعالیت شرکت در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ ..... ۴۳
تصویر ۱۱- ساختار فیلم‌های رسانای شفاف ۷۷
تصویر ۱۲- نمایش لوگو پس از اعمال ولتاژ بر روی الکترود گرافن چندلایه‌ای به همراه ارائه شماتیک آن ۷۸
تصویر ۱۳- صفحه ترانزیستو منعطف تولید شده توسط FexEnable ۷۹
تصویر ۱۴- فیلم رسانای شفاف گرافنی تولید شده توسط شرکت 2D Carbon Tech و پروتوتایپ تلفن همراه تولید شده توسط این شرکت ۸۱
تصویر ۱۵- جوهر رسانای محصولات شرکت Vorbeck Materials ۸۴
تصویر ۱۶- جوهر گرافنی محصول شرکت BGT Materials ۸۶
تصویر ۱۷- آنتن چاپ شده گرافنی ۸۶
تصویر ۱۸- ترانزیستور نوع npn (سمت راست). ترانزیستور نوع pnp (سمت چپ) ۸۹
تصویر ۱۹- نمایی از ساختار یک ترانزیستور ۹۰
تصویر ۲۰- ترانزیستور دو قطبی پیوندی یا BJT ۹۱
تصویر ۲۱- نمای شماتیک یک ترانزیستور اثر میدانی گرافنی (تصویر راست) و یک ترانزیستور بر پایه گرافن (تصویر چپ) ۹۲
تصویر ۲۲- مدار مجتمع گرافن در تست‌کننده ویفر ۹۲
تصویر ۲۳- نسل اول تجهیزات تشخیصی مراقبتی بالینی ۹۸
تصویر ۲۴- نمایش شماتیک مکانیزم سوئیچ مقاومتی گرافن اکسید در ساختار لایه‌ای فلز/اکسید گرافن/پلاتین ۱۰۴
تصویر ۲۵- شمای کلی ساختمان یک باتری ۱۲۲
تصویر ۲۶- ساختار اصلی باتری‌های لیتیم-یون ۱۲۳
تصویر ۲۷- مکانیزم شارژ و دشارژ باتری‌های لیتیم یون ۱۲۳
تصویر ۲۸- باتری بهبود یافته با گرافن شرکت Vorbeck Materials ۱۲۷
تصویر ۲۹- مقایسه توان و انرژی باتری (سمت راست) و ابرخازن (سمت چپ) ۱۳۲
تصویر ۳۰- نمایی از ابرخازن و اجزای سازنده آن ۱۳۳
تصویر ۳۱- نمای کلی یک پیل سوختی ۱۴۵
تصویر ۳۲- تاثیر هالوژن‌ها روی نانو صفحات گرافنی. از چپ به راست: نانو صفحات گرافنی اصلاح نشده، اصلاح شده با کلر، برم و ید. ۱۴۷
تصویر ۳۳- روشنایی LED در رنگ‌های مختلف ۱۵۲
تصویر ۳۴- ساختار OLED ۱۵۳
تصویر ۳۵- ساختار آمولد ۱۵۴
تصویر ۳۶- ساختار PMOLED ۱۵۴
تصویر ۳۷- ساختار OLED بر پایه گرافن ۱۵۵
تصویر ۳۸- یک سلول خورشیدی سیلیکونی بلوری ۱۵۹
تصویر ۳۹- سلول خورشیدی با نانوسیم‌ها و الکترودهای گرافنی ۱۶۳
تصویر ۴۰- کاربرد دیود شاتکی گرافن- سیلیکون در سلول‌های خورشیدی ۱۶۴
تصویر ۴۱- میزان تولید ماژول‌های فتوولتائیک در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ ..... ۱۶۵

فهرست نمودارها

نمودار ۱- وضعیت تعداد مقالات منتشر شده در رابطه با گرافن طی سال‌های ۲۰۰۰ تا آگوست ۲۰۱۴ ..... ۳۱
نمودار ۲- توزیع جغرافیایی مقالات علمی حوزه گرافن تا ابتدای سال ۲۰۱۴ ..... ۳۱
نمودار ۳- روند تعداد درخواست‌های ثبت پتنت ۳۳
نمودار ۴- روند ثبت خانواده پتنت‌ها بر اساس اطلاعات ثبت پتنت مادر ۳۴
نمودار ۵- سرعت رشد فعالیت‌های ثبت پتنت در حوزه گرافن در مقایسه با کلیه فناوری‌ها ۳۴
نمودار ۶- سهم اولین کشورهای ثبت پتنت در حوزه گرافن ۳۵
نمودار ۷- مقایسه سهم کشورها به عنوان اولین محل ثبت پتنت طی دو دوره پیش از ۲۰۱۰ و بعد از آن ۳۵
نمودار ۸- سهم کشورهای متقاضی ثبت پتنت ۳۶
نمودار ۹- شاخص تخصص نسبی کشورهای درخواست‌کننده ثبت پتنت ۳۷
نمودار ۱۰- نسبت پتنت‌های ثبت شده در بخش‌های مختلف ۳۸
نمودار ۱۱- برترین درخواست‌کنندگان ثبت خانواده‌های پتنت در جهان در زمینه گرافن ۳۸

نمودار ۱۲- روند ثبت خانواده پتنت توسط ۲۰ سازمان اول در سطح جهان ۳۹
نمودار ۱۳- توزیع جغرافیایی مراکز آکادمیک صاحب پتنت تا جولای ۲۰۱۴ ..... ۴۰
نمودار ۱۴- مقایسه خانواده‌های پتنت ثبت شده در سطح جهان و چین ۴۴
نمودار ۱۵- ۲۰ سازمان اول چینی از نظر مالکیت تعداد خانواده‌های پتنت در حوزه گرافن ۴۴
نمودار ۱۶- مقایسه شفافیت ITO، چهار لایه ارگانیک/ITO و چهار لایه گرافن/چهار لایه ارگانیک/ITO ۸۳
نمودار ۱۷- دسته‌بندی کامپوزیت‌ها بر اساس بستر آنها ۱۱۵
نمودار ۱۸- انواع باتری ۱۲۴
نمودار ۱۹- ارزش بازار باتری‌های مختلف ۱۲۶
نمودار ۲۰- طبقه‌بندی ابرخازن‌ها ..... **Error! Bookmark not defined.**
نمودار ۲۱- درصد استفاده انواع پیل‌های سوختی ۱۴۶