

گرافن :

گرافن نام یکی از آلوتروپ های کربن است. در گرافیت (یکی دیگر از آلوتروپ های کربن)، هر کدام از اتم های چهارظرفیتی کربن، با سه پیوند کووالانسی به سه اتم کربن دیگر متصل شده اند و یک شبکه گسترده را تشکیل داده اند. این لایه خود بر روی لایه ای کاملاً مشابه قرار گرفته است و به این ترتیب، چهارمین الکترون ظرفیت نیز یک پیوند شیمیایی داده است، اما این پیوند این الکترون چهارم، از نوع پیوند واندروالسی است که پیوندی ضعیف است. به همین دلیل لایه های گرافیت به راحتی بر روی هم سر می خورند و می توانند در نوک مداد به کار بروند. گرافن ماده ای است که در آن تنها یکی از این لایه های گرافیت وجود دارد و به عبارتی چهارمین الکترون پیوندی کربن، به عنوان الکترون آزاد باقی مانده است.

هر چند نخستین بار در سال ۱۹۴۷ فیلیپ والاس درباره گرافن نوشت و سپس از آن زمان تلاش های زیادی برای ساخت آن صورت گرفته بود اما قضیه ای به نام قضیه مرمین- واگنر در مکانیک آماری و نظریه میدان های کوانتومی وجود داشت که ساخت یک ماده دوبعدی را غیرممکن و چنین ماده ای را غیرپایدار می دانست. اما به هر حال در سال ۲۰۰۴، آندره گایم و کنستانتین نووسلف، از دانشگاه منچستر موفق به ساخت این ماده شده و نشان دادند که قضیه مرمین- واگنر نمی تواند کاملاً درست باشد. جایزه نوبل فیزیک ۲۰۱۰ نیز به خاطر ساخت ماده ای دوبعدی به این دو دانشمند تعلق گرفت.

تاریخچه :

اصطلاح گرافن اولین بار در سال ۱۹۶۲ میلادی توسط Hanns-Peter Boehm معرفی شد. وی کسی بود که قصد داشت از این اصطلاح جهت توصیف فویل کربن تک لایه استفاده کند. بسیاری از دانشمندان تصور می نمودند که صفحه کربن در این ضخامت اندک و برابر با قطر یک اتم کربن، نمی تواند پایدار باشد و سال های بسیاری پس از آن تحقیقات متوقف مانده بود تا جایی که در سال ۲۰۰۴ دو دانشمند به نام های کنستانتین نووسلف و آندره جیم نخستین بار به طرز موفقیت آمیزی صفحات گرافن را با استفاده از نوار چسب جدا کردند. نوار پیوسته مکرراً استفاده شد تا گرافیت را به تکه های نازک تری جدا کند. سپس نوار با تکه های گرافیت مجزا در استون حل شد و بعد از چند فرآیند، تکه های شامل تک لایه روی یک قرص سلیکونی رسوب داده شد. گفتنی است که جهت کنترل مراحل مذکور از یک میکروسکوپ نوری استفاده شده است. این روش به نوار اسکاچ معروف گشته است.

روش مذکور برای جامعه فیزیک یک شگفتی بود و به همین علت جیم و نووسلف و همکارانشان از دانشگاه منچستر جایزه نوبل فیزیک سال ۲۰۱۰ را از آن خود نمودند.

اگرچه گرافنی که از این روش تولید می‌گشت به دلیل مشکلات تولیدی بسیار گران تهیه می‌گردید، ولی امروزه با گذشت زمان و توسعه روش‌های نوین، فرایند لایه برداری ورقه‌های گرافن با روش‌های خیلی ارزانتر تولید می‌گردد.

گرافن قبلاً در سال ۱۹۴۷ توسط والاس مورد مطالعه قرار گرفت. او برای محاسبات در زمینه فیزیک حالت جامد گرافن را مورد بررسی قرار داد و ساختار الکترونیکی آن را پیش‌بینی نمود.

معرفی :

گرافن ساختار دو بعدی از یک لایه منفرد شبکه لانه زنبوری کربنی می‌باشد. گرافن به علت داشتن خواص فوق‌العاده در رسانندگی الکتریکی و رسانندگی گرمایی، چگالی بالا و تحرک پذیری حامل‌های بار، رسانندگی اپتیکی و خواص مکانیکی به ماده‌ای منحصر بفرد تبدیل شده است. این سامانه جدید حالت جامد به واسطه این خواص فوق‌العاده به عنوان کاندید بسیار مناسب برای جایگزینی سیلیکون در نسل بعدی قطعه‌های فوتونیک و الکترونیکی در نظر گرفته شده است و از این رو توجه کم سابقه‌ای را در تحقیقات بنیادی و کاربردی به خود جلب کرده است. طول پیوند کربن - کربن در گرافین در حدود $0,142$ نانومتر است. ساختار زیر بنایی برای ساخت نانو ساختارهای کربنی، تک لایه گرافن است که اگر بر روی هم قرار بگیرند توده سه بعدی گرافیت را تشکیل می‌دهند که بر هم کنش بین این صفحات از نوع واندروالسی با فاصله $0,335$ نانومتر می‌باشد. اگر تک لایه گرافیتی حول محوری لوله شود نانو لوله کربنی شبه یک بعدی واگر به صورت کروی پیچانده شود فلورین شبه صفر بعدی را شکل می‌دهد. لایه‌های گرافنی از ۵ تا ۱۰ لایه را به نام گرافن کم لایه و بین ۲۰ تا ۳۰ لایه را به نام گرافن چند لایه، گرافن ضخیم و یا نانو بلورهای نازک گرافیتی، می‌نامند. گرافن خالص تک لایه از خود خواص شبه فلزی نشان می‌دهد. [۴].

گرافن و کاربردهای آن:

ایده گرافن به صورت نظری، برای اولین بار توسط فیلیپ والاس در سال ۱۹۴۷ بیان شد. محرک او برای بیان این ایده، تحقیق و فعالیتش روی گرافیت (گرافن سه بعدی) بود. البته نام گرافن به طور رسمی تا چهل سال بعد، زمانی که به عنوان تک لایه‌ی تشکیل دهنده گرافیت به کار رفت، استفاده نشد. در حقیقت گرافن، یک شبکه‌ی لانه زنبوری ۲ بعدی است که از پیوند کووالانسی اتم‌های کربن به وجود آمده است و ضخامتش تنها یک اتم کربن است. گرافن پایه و اساس گرافیت است، به این علت که با روی هم قرار گرفتن گرافن‌ها، گرافیت به وجود می‌آید. به عبارت دیگر یک گرافیت از گرافن‌هایی تشکیل شده است که به وسیله نیروهای جاذبه

ضعیف بین مولکولی روی هم قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است که شکل کاملاً قابل مشاهده و آزمایش آن تا سال ۲۰۰۴ کشف نشده بود.

در طول ۶ سال گذشته، دانشمندان کشف کرده‌اند که گرافن ویژگی‌های منحصر به فرد و عجیبی دارد. بعضی‌ها می‌گویند که این ماده می‌تواند زندگی ما را در قرن ۲۱ متحول کند. نه تنها گرافن نازک‌ترین ماده‌ای است که قابلیت شکل‌پذیری مفید و بهره‌برداری از این قابلیتش را دارد، بلکه ۲۰۰ برابر مستحکم‌تر از فولاد است و از لحاظ رسانایی الکتریکی، برتر از هر نوع ماده‌ای است که در دمای اتاق وجود دارد.

➤ در حقیقت یکی از مهم‌ترین کاربردهای گرافن می‌تواند در الکترونیک باشد.

نوبل امسال به دو دانشمند روس به نام‌های کنستانتین نوسلو و آندره گییم رسید که علت این جایزه کار نوی آن‌ها در این مسئله بود که می‌تواند منجر به انقلابی در صنعت الکترونیک و امکان ساخت وسایلی سخت‌تر از فولاد و جرمی کمتر از حد معمول گردد. گییم می‌گوید:

می‌توان این وضعیت را شبیه ۱۰۰ سال پیش دانست، یعنی زمانی که پلیمرها کشف شدند. مدتی زمان برد تا پلیمرها در پلاستیک به کار روند و این‌چنین در زندگی ما پر اهمیت گردند.

ذره‌ای از کاربردهای محتمل گرافن می‌تواند موارد زیر باشد:

- استفاده شدن به جای فیبرهای کربن در کامپوزیت‌ها که نتیجتاً باعث ایجاد هواپیماها و ماهواره‌های سبک‌تر گردد.
- استفاده شدن به جای سیلیکون‌های نیمه‌رسانا در ترانزیستورها.
- جاسازی کردن گرافن در پلاستیک که می‌تواند پلاستیک مذکور را رسانا کند.
- امکان بالابردن دوام باتری‌ها با استفاده از غبار گرافنی.
- کاربرد در الکترونیک نوری.
- ایجاد پلاستیک‌هایی سخت‌تر، مستحکم‌تر و سبک‌تر.
- کاربرد به عنوان پوشش شفاف رسانا برای سلول‌های خورشیدی و نمایشگرها.
- ایجاد توربین‌های بادی کارآمدتر.
- ایجاد ایمپلنت‌های مستحکم‌تر (پزشکی).
- کاربرد در تجهیزات ورزشی.
- ایجاد ابرخازن‌ها.

- کاربرد برای پیشرفت صفحات لمسی.
- کاربرد در LCD ها.
- کاربرد در OLED ها.

اختراع روشی برای تولید ورقه های گرافن با کیفیت بالا:

روش های کنونی منفرد کردن گرافن هر یک مشکلاتی به همراه دارد. معمولترین این روشها تقسیم مکانیکی است (یعنی جدا کردن ورقه ها از یک کریستال بزرگتر)، اما این روش نمیتواند به گونه ای قابل اعتماد نمونه های گرافن به اندازه کافی بزرگ برای کاربرد را تولید کند.

روش دیگر که در آن ساختار اتمی یک زیر لایه بعنوان بذری برای رشد گرافن مورد استفاده قرار میگیرد و به رشد همبافته (epitaxial growth) نیز مشهور است، نمونه ای با ضخامت یکنواخت از لایه های گرافن تولید نمیکند در حالی که پیوند بین لایه عمقی گرافن و زیر لایه ممکن است روی خواص لایه های کربن تاثیر گذار باشد.

گرافن دارای چندین ویژگی است که آنرا برای کاربرد های الکترونیک مطلوب میسازد. یکی از این خواص قابلیت حرکت بسیار بالای حامل های بار در آن است. الکترونها در گرافن نسبتا آزادانه حرکت میکنند. همچنین گرافن به یک تک مولکول گاز میتواند واکنش نشان بدهد و در نتیجه برای ساخت ماده ردیاب در سنسورها از جذابیت زیادی برخوردار است.

فرآیند ابتکاری رشد این گروه در دمای بالا اتفاق می افتد. برای شروع، محققان اتمهای کربن را وادار میکنند تا جذب روتنیم شوند و این کار را با حرارت دادن کل نمونه تا دمای ۱۱۵۰ درجه سلسیوس انجام میدهند. سپس نمونه تا حدود ۸۵۰ درجه سلسیوس سرد میشود و این کار باعث شد مقادیر زیادی از اتمهای جذب شده درون روتنیم، به سطح آن بازگردند. این اتمهای کربن بصورت نقطه نقطه روی سطح تک لایه های جزیره ای لنزمانندی با پهنای حدود ۱۰۰ میکرومتر (یک میلیونیم متر) تشکیل میدهند.

گرافن یکی از مواد کریستالی دو بعدی است که در سال های اخیر شناسایی و تحلیل شده اند. صفحه ای ورقه ای شکل به ضخامت اتم کربن را گرافن تک لایه می نامند. این ماده جدید ویژگی های منحصر به فرد زیادی دارد که این امر باعث می شود آن را برای مطالعات اساسی و کاربردهای آینده به ماده ای جالب مبدل سازد. گرافن به عنوان یکی از آلوتروپ های کربن در یک شبکه شش وجهی (لانه زنبوری) با فاصله پیوند کربن- کربن و ضخامت ۰/۱۴۲ نانومتر صفحات مطرح است.

صفحات گرافن با کنار هم قرار گرفتن اتم های کربن تشکیل می شوند. در یک صفحه گرافن، هر اتم کربن با ۳ اتم کربن دیگر پیوند داده است. این سه پیوند در یک صفحه قرار دارند و زوایای بین آنها با یکدیگر مساوی و برابر با ۱۲۰ درجه می باشد. در این حالت، اتم های کربن در وضعیتی قرار می گیرند که شبکه ای از شش ضلعی های منظم را ایجاد می کنند. البته این ایده آل ترین حالت یک صفحه ی گرافن است. در برخی مواقع، شکل این صفحه به گونه ای تغییر می کند که در آن پنج ضلعی ها و هفت ضلعی هایی نیز ایجاد می شود. در یک صفحه گرافن، هر اتم کربن یک پیوند آزاد در خارج از صفحه دارد. این پیوند مکان مناسبی برای قرار گیری برخی گروه های عاملی و هم چنین اتم های هیدروژن است. پیوند بین اتم های کربن در اینجا کووالانسی بوده و بسیار محکم است. بنابراین گرافن استحکام بسیار زیادی دارد و انتظار می رود که نانو لوله های کربنی پر مصرف و شناخته شده است، از روی هم قرار گرفتن لایه های گرافن و نتشکیل یک ساختار منظم تشکیل می شود. اما همینطور که می دانیم، گرافیت بسیار نرم است.

آنچه لایه های گرافن را روی یکدیگر نگه می دارد، پیوندهای واندروالس بین آن هاست. این پیوند بسیار ضعیف است. بنابراین لایه های گرافن به راحتی می توانند روی هم بلغزند و به همین دلیل است که گرافیت (نوک مداد سیاه) نرم میباشد.

خواص گرافن :

گرافن به دلیل ساختار خود، در زمینه های زیادی ویژگی های بسیار منحصر به فردی را نشان می دهد. ثابت شده است که گرافن قوی ترین ماده ای می باشد که تا کنون اندازه گیری شده است. فرانک و همکاران دانشگاهی وی از دانشکده پومونا و دانشگاه کرنل، ثابت فنر ورقه گرافن معلق را اندازه گرفته اند. ثابت فنر ورقه های گرافنی لایه ای با ضخامت بین ۲ و ۸ نانومتر در محدوده بین ۱ تا ۵ نیوتن بر متر قرار دارد که این محدوده بر اساس مقیاس گذاری ابعاد قطعه به دست آمده است و مدول یانگ اندازه گیری شده در حدود ۰/۵ تراپاسکال گزارش شده است. برخی از خصوصیات دیگر گرافن که تاکنون تعیین شده است بدین صورت بیان میگردد:

چگالی :

سلول واحد شش وجهی گرافن دو اتم کربن دارد و سطح مقطعی برابر ۰/۰۵۲ نانومتر مربع دارد. بر اساس محاسبات چگالی آن ۰/۷۷ میلیگرم بر متر مربع است. تختخواب توری شکلی را تصور کنید که مساحت آن یک متر مربع است و ۷۷/۰ میلی گرم وزن دارد.

شفافیت نوری :

گرافن تقریباً شفاف است. فقط ۲/۳٪ از شدت نور را مستقل از طول موج در دامنه اپتیکی جذب می کند. این عدد بیانگر آن است که گرافن معلق هیچ رنگی ندارد.

مقاومت مکانیکی :

مقاومت شکست گرافن ۴۲ نیوتن بر متر مربع است. برای یک فیلم نازک فرضی از فولاد با ضخامت مشابه گرافن، (ضخامت لایه ای ۳۵/۳ آنگستروم از گرافیت) مقاومت شکست در حدود ۴۲/۰ - ۰۸۴/۰ نیوتن بر متر مربع خواهد بود و نشانگر آن است که استحکام گرافن ۱۰۰ برابر فولاد است.

رسانایی الکتریکی :

مقاومت ورقه دو بعدی گرافن که مقاومت بر واحد سطح نیز گفته می شود، ۳۱ اهم است. رسانایی الکتریکی گرافن در مقایسه با مس کمتر می باشد و هادی بهتری خواهد بود.

رسانایی گرمایی :

رسانایی گرمایی گرافن تقریباً ۵۰۰۰ وات بر متر درجه کلوین اندازه گرفته شده است. رسانایی گرمایی مس در دمای اتاق ۴۰۱ وات بر متر درجه کلوین است. یعنی گرافن ۱۰ برابر بهتر از مس گرما را منتقل می کند.

پژوهشگران آمریکایی و چینی موفق شدند گرافن را به صورتی مهندسی کنند که هدایت الکتریکی آن افزایش یابد. با این کار دامنه کاربرد گرافن گسترش می یابد. یکی از موارد استفاده از این گرافن مهندسی شده، به کارگیری آن در سیستم های خنک کننده در قطعات الکترونیکی است.

محققان دانشگاه کالیفرنیا، دانشگاه تگزاس و دانشگاه زیامن در چین نشان دادند که خواص گرمایی گرافنی که از نظر ایزوتوپی مهندسی شده، با گرافن معمولی تفاوت بسیاری دارد. نتایج این تحقیق که به رهبری رودنی رادولف انجام شده، در قالب مقاله ای تحت عنوان *Thermal conductivity of isotopically modified graphene* در نشریه *Nature Materials* به چاپ رسیده است.

نتایج این تحقیق موجب می شود تا گرافن یک گام برای استفاده به عنوان عایق حرارت نزدیک تر شود. در نتیجه می توان از گرافن در حوزه های مختلف از الکترونیک گرفته تا پیل های خورشیدی استفاده کرد.

رودنی رادولف می گوید اهمیت یافته های این تحقیق در آن است که می توان خواص هدایت گرمایی گرافن خالص را بهبود داد بدون این که خواص دیگر آن نظیر خواص الکتریکی، نوری و فیزیکی آن تغییر کند

گرافنی که از نظر ایزوتوپی خالص است، می‌تواند در حوزه‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد و از طرفی هزینه تولید را نیز تحت کنترل درآورد. رودنی رادولف می‌افزاید، نتایج آزمایشگاهی مربوط به هدایت گرمایی در گرافن مهندسی شده برای توسعه نظریه هدایت گرمایی در گرافن و دیگر بلورهای دو بعدی، بسیار مهم است.

در این پروژه از روش رامان اپتوگرمایی استفاده شده است، در این روش هدایت گرمایی اندازه‌گیری می‌شود که در توسط بالاندین ارائه شده است. بالاندین و گروه تحقیقاتی‌اش در سال ۲۰۰۸ ثابت کردند که گرافن یک رسانای گرمایی بسیار عالی است. آنها اولین نظریه مربوط به هدایت گرمایی را برای گرافن و بلورهای دو بعدی مرتبط با آن ارائه کردند.

این تحقیق که در نشریه Nature Materials به چاپ رسیده نشان می‌دهد هدایت الکتریکی گرافنی که از نظر ایزوتوپی مهندسی شده، بسیار بیشتر از گرافن طبیعی است. مواد کربنی طبیعی معمولاً از دو نوع ایزوتوپ تشکیل می‌شوند: ایزوتوپ ۱۲ با فراوانی ۹۹ درصد و ایزوتوپ ۱۳ با یک درصد فراوانی. تفاوت میان ایزوتوپ‌ها جرم اتمی آنها است که موجب می‌شود خواص دینامیک شبکه آن اصلاح شده و روی خواص گرمایی نیز تاثیر گذار است. اهمیت این تحقیق به دلیل نیاز مبرم به هدایت گرمایی بالا مشخص می‌شود. زدایش گرمایی یک موضوع بسیار مهم در توسعه صنعت الکترونیک محسوب می‌شود. نیاز به دفع گرما با کوچکتر شدن ادوات الکترونیکی بیشتر می‌شود. این تحقیق می‌تواند برای طراحی نسل جدیدی از ادوات الکترونیکی مفید باشد.

• ساختار اتمی

ساختار اتمی تک لایه ی مجزای گرافین به روش میکروسکوپی عبوردهی الکترونی (Transmission Electron Microscopy) بر روی ورقه هایی از گرافین که در بین دو شبکه آهنی نگه داشته شده اند، مطالعه شده است. طرح های پراش الکترونی ساختار شش ضلعی گرافین را نشان داده اند. علاوه بر این، گرافین از خود اعوجاج هایی را بر روی این ورقه های تخت نشان داده اند، با دامنه ای در حدود یک نانومتر. این اعوجاج ها ممکن است خصلت ذاتی ای برای گرافین به خاطر ناپایداری کریستال های دو بعدی باشد، و یا حتی ممکن است در اثر عوامل خارجی ای ناشی از ناخالصی هایی که در سرتاسر گرافین وجود دارند و کاملاً به توسط تصاویر TEM تهیه شده از گرافین مشاهده شده اند، به وجود آمده باشند. تصاویر فضای حقیقی با دقت اتمی گرفته شده از تک لایه ی مجزای گرافین قرار گرفته بر روی زیر لایه ی SiO₂ به وسیله ی روش میکروسکوپی تونل زنی اسکن کننده (Scanning Tunneling Microscopy) تهیه شده اند. این تصاویر نشان دادند که اعوجاج های تک لایه ی گرافین قرار گرفته بر روی زیر لایه ی SiO₂ به



خاطر ترکیب و تطبیق یافتن تک لایه ی گرافین با زیر لایه ی SiO_2 ایجاد شده اند و یک خصلت ذاتی برای آن نمی باشند.

- خواص الکترونیکی

گرافین با سایر مواد متداول سه بعدی متفاوت است. گرافین طبیعی یک نیمه فلز یا یک نیمه رسانا با گاف نواری صفر است. درک ساختار الکترونیکی گرافین اولین قدم برای یافتن ساختار نواری گرافیت است. اولین بار خیلی قبل تر در سال ۱۹۴۷ P. R. Wallace متوجه خطی بودن رابطه ی $E-k$ (انرژی و عدد موج کریستال) در نزدیکی شش گوشه ی منطقه ی بریلوئن شش ضلعی دوبعدی گرافین برای انرژی های پایین - که منجر به جرم مؤثر صفر برای الکترون ها و حفره ها می شود - شد. به خاطر این رابطه ی پاشندگی خطی در انرژی های پایین، الکترون ها و حفره ها در نزدیکی این شش نقطه، که دو تا از آن ها غیر یکسان هستند، همانند ذرات نسبیتی ای که با معادله ی دیراک برای ذرات با اسپین نیم صحیح توصیف می شوند، رفتار می کنند. به همین خاطر به این الکترون ها و حفره ها فرمیون های دیراک و به آن شش نقطه، نقاط دیراک گفته می شود. معادله ای بیان گر رابطه ی $E-k$ ، می باشد که در آن سرعت فرمی $v_F \sim 10^6$ m/s است.

- ترابرد الکترونی

نتایج تجربی از اندازه گیری های ترابرد الکترونی نشان می دهند که گرافین دارای تحرک پذیری الکترونی بسیار بالایی در دمای اتاق می باشد، با مقادیر گزارش شده ای بالاتر از $15,000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$. همچنین تقارن اندازه گیری های تجربی رسانندگی نشان می دهد که تحرک پذیری برای الکترون ها و حفره ها باید یکسان باشد. در بازه ی دمایی بین 10 K تا 100 K ، تحرک پذیری تقریباً به دما وابسته نیست، که بیان کننده ی این امر است که مکانیزم قالب پراکندگی، پراکندگی ناقص است. پراکندگی به توسط فونون های آکوستیک گرافین موجب یک محدودیت ذاتی بر تحرک پذیری در دمای اتاق در حد $200,000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ برای چگالی حامل 10^{12} cm^{-2} می شود. مقاومت متناظر ورقه های گرافین در حد $6-10 \text{ cm} \cdot \Omega$ خواهد بود. این مقاومت از مقاومت نقره، ماده ی شناخته شده به عنوان دارنده ی کمترین مقاومت در دمای اتاق، کمتر است. گرچند برای گرافین قرار گرفته بر روی زیر لایه ی SiO_2 ، پراکندگی ناشی از فونون های اپتیکی زیر لایه در دمای اتاق اثر بزرگ تری است از اثر پراکندگی ناشی از فونون های خود گرافین. این امر تحرک پذیری را به میزان $40,000 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ محدود می کند.

- خواص اپتیکی

خواص اپتیکی منحصر به فرد گرافین، موجب بروز یک شفافیت بالای غیر منتظره برای یک تک لایه ی اتمی با یک مقدار ساده ی شگفت انگیز شده است، یک تک لایه ی گرافین $\approx 2,3\%$ $\pi\alpha$ از نور سفید فرودی بر روی خود را جذب می کند که در آن α ثابت ساختار ریز شبکه می باشد. این امر نتیجه ی ساختار الکترونیکی کم انرژی غیر معمول گرافین تک لایه است که طریقی به ساختار نوار انرژی الکترونی - حفره ای گرافین می دهد تا آن ها در نقاط دیراک به هم برسند، که به طور کیفی از سایر نوارهای انرژی فشرده ی مرتبه ی دو معمول متفاوت است. بر مبنای مدل از ساختار نواری گرافین، فواصل بین اتمی، مقادیر پرش، و فرکانس به هنگام محاسبه ی رسانندگی اپتیکی با استفاده از معادلات فرنل در حد لایه های نازک از بین می رود. این امر به صورت تجربی تأیید شده ولی هنوز مقادیر اندازه گیری شده به اندازه ی کافی برای محاسبه ی ثابت ساختار ریز دقیق نبوده است. می توان گاف نوار انرژی گرافین را از ۰ تا ۰,۲۵ eV (در حدود طول موج پنج میکرومتر) به وسیله ی اعمال ولتاژ در دمای اتاق به یک ترانزیستور اثر میدان دو دروازه ای ساخته شده از یک گرافین دو لایه ای، تنظیم نمود. همچنین نشان داده شده است که پاسخ اپتیکی نانو نوارهای گرافینی نیز در ناحیه ی تراهرتز به وسیله ی اعمال یک میدان مغناطیسی قابل تنظیم است. علاوه بر این نشان داده شده است که سیستم های گرافین - گرافین اکسید از خود رفتار الکتروکرومیک بروز می دهند، که اجازه می دهند هم خواص اپتیکی خطی و هم خواص اپتیکی فوق سریع را تنظیم کرد [۱۶].

روشهای ساخت گرافین:

امروزه روشهای بسیار متنوعی برای ساخت گرافین بکار برده می شود که از متداولترین آنها می توان به روشهای لایه برداری مکانیکی، لایه برداری شیمیایی، سنتز شیمیایی و رسوب بخار شیمیایی (CVD) را نام برد. برخی روشهای دیگری همانند شکافتن نانو لوله های کربنی [۸] و ساخت با امواج ماکروویو [۹] نیز اخیراً بکار برده شده اند. یک نمای کلی از روشهای ساخت گرافین در زیر آمده است:

روش های ساخت گرافین :

➤ از پایین به بالا

۱. رشد برآیایی

۲. شکافت گرمایی

۳. CVD [۱۰]

۴. پلاسما

۵. گرمایی

➤ از بالا به پایین

۱. لایه برداری مکانیکی [۱۱]
۲. چسب نواری
۳. Atomic Force Microscopy Tips
۴. لایه برداری شیمیایی [۱۲]
۵. سنتز شیمیایی [۱۳]
۶. با امواج فرا صوتی
۷. روش شیمیایی

در سال ۱۹۷۵ گروه Lang برای اولین بار گرافیت کم لایه بر روی سطح بلور پلاتین را با استفاده از روش CVD تولید کردند [۱۴]. در سال ۱۹۹۹ گروه Lu با استفاده از AFM، لایه برداری مکانیکی را بر روی یک گرافیت پیرولیتی به منظور تهیه گرافین تک لایه انجام دادند [۱۵]. با این وجود، گرافین تک لایه برای اولین بار در سال ۲۰۰۴ توسط گروه Novoselov تولید و گزارش شد. آن‌ها از چسب نواری برای جدا کردن لایه‌های گرافین از سطح زیرلایه استفاده کردند. این روش توانایی و قابلیت تولید لایه‌های متنوع گرافین را دارد و علاوه بر آن، آسان نیز است. روش لایه برداری مکانیکی توسط 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 تقریباً برابر با ۳۰ لایه گرافین تک لایه است. در روش لایه برداری شیمیایی فلزات قلیایی بین صفحات گرافیت پراکنده شده در محلول، قرار می‌گیرند. به طور مشابه روش سنتز شیمیایی شامل اکسید گرافیت پراکنده در محلول ناشی شده از کاهش هیدروژن است. همانند تولید نانو لوله‌های کربنی توسط روش CTCVD، تولید گرافین توسط این روش یکی از بهترین روش‌ها برای تولید گرافین در ابعاد بزرگ است. در این روش کربنی که بوسیله گرما جدا شده بر روی سطح یک فلز فعال قرار می‌گیرد و در دمای بالا و تحت فشار اتمسفر یا فشار کم، یک شبکه لانه زنبوری تشکیل می‌دهد. از آنجایی که این روش CVD در یک کوره گرمایی انجام می‌گیرد آن را روش CVD گرمایی می‌نامند. هنگامی که روش شامل رشد به کمک پلاسما باشد، روش CVD پلاسمای غنی شده نامیده می‌شود. هر یک از این روش‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارند، به عنوان مثال روش لایه برداری مکانیکی توانایی و قابلیت ساخت گرافین تک لایه تا چند لایه را دارد اما همانندی نمونه‌های بدست آمده بسیار پایین است، همچنین ساخت گرافین در ابعاد بزرگ یکی از چالش‌های پیش روی این روش است. برای تهیه گرافین تک لایه و چند لایه می‌توان از روش چسب نواری استفاده کرد اما تحقیقات گسترده‌ی بیشتری برای توسعه این روش جهت استفاده در قطعه‌های الکترواپتیکی لازم است. روش‌های سنتز شیمیایی از روش‌های دمای پایین هستند که این ویژگی موجب می‌شود ساخت گرافین بر روی انواع زیر لایه‌های با دمای محیط، به ویژه زیرلایه‌های پلیمری آسان‌تر شود، با این حال، همگنی و

یکسانی گرافن تولید شده در ابعاد بزرگ، حاصل از این روش مطلوب نیست. از سوی دیگر ساخت گرافن از اکسیدهای گرافن کاهش یافته اغلب به علت نقص در فرایند کاهش موجب ناکاملی درخواص الکترونی گرافن می‌شود. برآرایی گرافن و گرافیت سازی گرمایی بر روی سطح کربید سیلیسیوم از دیگر روش‌های تولید گرافن هستند اما دمای بالای این فرایندها و عدم توانایی انتقال بر روی سایر زیر لایه‌ها از محدودیت‌های این روش‌ها هستند.

منابع

گرافین و کاربردهای آن

۱. ↑ «نوبل فیزیک برای کاشفان «ماده‌ای جادویی»». دویچه وله، ۵ اکتبر ۲۰۱۰. بازبینی‌شده در ۲ نوامبر ۲۰۱۰.
۲. ↑ Nair, R. R., P. Blake, A. N. Grigorenko, et al. ۲۰۰۸. Fine structure constant defines visual transparency of graphene. *Science* ۳۲۰ (۵۸۸۱):۱۳۰۸
۳. ↑ Geim, A. K., and P. Kim. ۲۰۰۸. Carbon wonderland. *Scientific American* ۲۹۸ (۴):۹۰-۹۷. Geim, A. K., and K. S. Novoselov. ۲۰۰۷
۴. ↑ Novoselov, K. S., A. K. Geim, S. V. Morozov, et al. ۲۰۰۵. Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene. *Nature* ۴۳۸ (۷۰۶۵):۱۹۷-۲۰۰
۵. ↑ Novoselov, K. S., D. Jiang, F. Schedin, et al. ۲۰۰۵. Two-dimensional [۴] atomic crystals. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* ۱۰۲ (۳۰):۱۰۴۵۱-۱۰۴۵۳
۶. ↑ Li, X. S., Y. W. Zhu, W. W. Cai, et al. ۲۰۰۹. Transfer of large-area graphene films for highperformance transparent conductive electrodes. *Nano Letters* ۹ (۱۲):۴۳۵۹-۴۳۶۳
۷. ↑ Geim, A. K., and K. S. Novoselov. ۲۰۰۷. The rise of graphene. *Nature - Materials* ۶ (۳):۱۸۳-۱۹۱

Jiao, L. Y., X. R. Wang, G. Diankov, H. L. Wang, and H. J. Dai. 2010. Facile synthesis of highquality graphene nanoribbons. *Nature Nanotechnology* 5 (5):321-325

Xin, G. Q., W. Hwang, N. Kim, S. M. Cho, and H. Chae. 2010. A graphene sheet exfoliated with microwave irradiation and interlinked by carbon nanotubes for high-performance transparent flexible electrodes. (*Nanotechnology* 21 (40

Reina, A., S. Thiele, X. T. Jia, et al. 2009. Growth of large-area single- and bi-layer graphene by controlled carbon precipitation on polycrystalline Ni surfaces. *Nano Research* 2 (6):509-516

Novoselov, K. S., A. K. Geim, S. V. Morozov, et al. 2004. Electric field effect in atomically thin carbon films. *Science* 306 (5696):666-669

Allen, M. J., V. C. Tung, and R. B. Kaner. 2010. Honeycomb carbon: A review of graphene. *Chemical Reviews* 110 (1):132-145

Park, S., and R. S. Ruoff. 2009. Chemical methods for the production of graphenes. *Nature Nanotechnology* 4 (4):217-224

Lang, B. 1975. A LEED study of the deposition of carbon on platinum crystal surfaces. *Surface Science* 53 (1):317-329

Lu, X. K., M. F. Yu, H. Huang, and R. S. Ruoff. 1999. Tailoring graphite with the goal of achieving single sheets. *Nanotechnology* 10 (3):269-272

<http://en.wikipedia.org/wiki/Graphene>