به نام خدا

مهندسی متالورژی و مواد

گرافن :

گرافن نام یکی از آلوتروپ های کربن است.در گرافیت (یکی دیگر از آلوتروپ های کربن)، هر کدام از اتم‌های چهارظرفیتی کربن، با سه پیوند کووالانسی به سه اتم کربن دیگر متصل شده‌اند و یک شبکه گسترده را تشکیل داده‌اند. این لایه خود بر روی لایه‌ای کاملاً مشابه قرار گرفته‌است و به این ترتیب، چهارمین الکترون ظرفیت نیز یک پیوند شیمیایی داده‌است، اما این پیوند این الکترون چهارم، از نوع پیوند واندروالسی است که پیوندی ضعیف است. به همین دلیل لایه‌های گرافیت به راحتی بر روی هم سر می‌خورند و می‌توانند در نوک مداد به کار بروند. گرافن ماده‌ای است که در آن تنها یکی از این لایه‌های گرافیت وجود دارد و به عبارتی چهارمین الکترون پیوندی کربن، به عنوان الکترون آزاد باقی مانده‌است.

هر چند نخستین بار در سال ۱۹۴۷ فیلیپ والاس درباره گرافن نوشت و سپس از آن زمان تلاش‌های زیادی برای ساخت آن صورت گرفته بود اما قضیه‌ای به نام قضیه مرمین- واگنر در مکانیک آماری و نظریه میدان‌های کوانتومی وجود داشت که ساخت یک ماده دوبعدی را غیرممکن و چنین ماده‌ای را غیرپایدار می‌دانست. 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 نمی‌تواند کاملا درست باشد. جایزه نوبل فیزیک ۲۰۱۰ نیز به خاطر ساخت ماده‌ای 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 نووسلوف 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 نووسلوف و همکارانشان از دانشگاه منچستر جایزه نوبل فیزیک سال ۲۰۱۰ را از آن خود نمودند.

www.iran-mavad.com
مرجع مهندسی مواد و متالورژی

اگرجه گرافنی که از این روش تولید می گشت به دلیل مشکلات تولیدی بسیار گران تهیه می گردید، ولی امروزه با گذشت زمان و توسعه روش های نوین، فرایند لایه برداری ورقه های گرافن با روش های خیلی ارزانتر تولید می گردد.

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 پیش بینی نمود.

معرفی :

گرافن ساختار دو بعدی از یک لایه منفرد شبکه لانه زنبوری کربنی می‌باشد. گرافن به علت داشتن خواص فوق العاده در رسانندگی الکتریکی و رسانندگی گرمایی، چگالی بالا و تحرک پذیری حامل های بار، رسانندگی اپتیکی و خواص مکانیکی به ماده‌ای منحصربفرد تبدیل شده است. این سامانه جدید حالت جامد به واسطه این خواص فوق العاده به عنوان کاندید بسیار مناسب برای جایگزینی سیلیکون در نسل بعدی قطعه‌های فوتونیکی 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 ـ کربن در گرافین در حدود ۰,۱۴۲ 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 ی بین صفحه ای ۰,۳۳۵ 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 بلور های نازک گرافیتی، می‌نامند. گرافن خالص تک لایه ازخود خواص شبه فلزی نشان می‌دهد. [۴].

گرافن و کاربردهای آن:

ایده گرافن به‌صورت نظری، برای اولین بار توسط فیلیپ والاس در سال۱۹۴۷ بیان شد. محرک او برای بیان این ایده، تحقیق و فعالیتش روی گرافیت (گرافن سه‌بعدی) بود. البته نام گرافن به‌طور رسمی تا چهل سال بعد، زمانی که به‌عنوان تک‌لایه‌ی تشکیل‌دهنده گرافیت به‌کار رفت، استفاده نشد. در حقیقت گرافن، یک شبکه‌ی لانه‌زنبوری ۲بعدی‌ست که از پیوند کووالانسی اتم‌های کربن به‌وجود آمده است و ضخامتش تنها یک‌اتم کربن است. گرافن پایه و اساس گرافیت است، به‌این علّت که با روی هم قرار گرفتن گرافن‌ها، گرافیت به‌وجود می‌آید. به‌عبارت دیگر یک‌گرافیت از گرافن‌هایی تشکیل شده است که به‌وسیله نیروهای جاذبه

www.iran-mavad.com
مرجع مهندسی مواد و متالورژی

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

در طول۶ سال گذشته، دانشمندان کشف کرده‌اند که گرافن ویژگی‌های منحصربه فرد و عجیبی دارد. بعضی‌ها می‌گویند که این ماده می‌تواند زندگی ما را در قرن۲۱ متحول کند. نه‌تنها گرافن نازک‌ترین ماده‌ای‌ست که قابلیت شکل‌پذیری مفید و بهره‌برداری از این‌قابلیتش را دارد، بلکه ۲۰۰ برابر مستحکم‌تر از فولاد است و از لحاظ رسانایی الکتریکی، برتر از هر نوع ماده‌ای‌ست که در دمای اتاق وجود دارد.

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

نوبل امسال به‌دو دانشمند روس به‌نام‌های کنستانتین نوسلو و آندره گیم رسید که علّت این جایزه کار نوی آن‌ها در این‌مسئله بود که می‌تواند منجر به‌انقلابی در صنعت الکترونیک و امکان ساخت وسایلی سخت‌تر از فولاد و جرمی کمتر از حدّ معمول گردد. گیم می‌گوید:

می‌توان این وضعیت را شبیه۱۰۰ سال پیش دانست، یعنی زمانی که پلیمرها کشف شدند. مدتی زمان برد تا پلیمرها در پلاستیک به‌کار روند و این‌چنین در زندگی ما پر اهمیت گردند.

ذره‌ای از کاربردهای محتمل گرافن می‌تواند موارد زیر باشد:

- استفاده شدن به‌جای فیبرهای کربن در کامپوزیت ها که نتیجتا باعث ایجاد هواپیماها و ماهواره‌های سبک‌تر گردد.
- استفاده شدن به‌جای 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 به‌عنوان 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 سردمیشود و این کار باعث خواهد 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 لنز مانندی 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 نانو متر صفحات مطرح است.

صفحات گرافن با کنار هم قرار گرفتن اتم ها ی 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 با۱۲۰ درجه می باشد. در این حالت، اتم های کربن در وضعیتی قرار می گیرند که شبکه ای از شش ضلعی ها ی 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 آن۰/۷۷ 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.

www.iran-mavad.com
مرجع مهندسی مواد و متالورژی

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 به‌صورتی مهندسی کنند که هدایت الکتریکی آن افزایش یابد. با این کار دامنه کاربرد گرافن گسترش می‌یابد. یکی از موارد استفاده از این گرافن مهندسی شده، به‌کارگیری آن در سیستم‌های 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 مقاله‌ای تحت عنوان Thermal conductivity of isotopically modified graphene در نشریه Nature Materials به چاپ رسیده است.

نتایج این تحقیق موجب می‌شود تا گرافن یک گام برای استفاده به‌عنوان عایق حرارت نزدیک‌تر شود. در نتیجه می‌توان از گرافن در حوزه‌های مختلف از الکترونیک گرفته تا پیل‌های خورشیدی استفاده کرد.

رودنی رادولف می‌گوید اهمیت یافته‌های این تحقیق در آن است که می‌توان خواص هدایت گرمایی گرافن خالص را بهبود داد بدون این که خواص دیگر آن نظیر خواص الکتریکی، نوری و فیزیکی آن تغییر کند

www.iran-mavad.com
مرجع مهندسی مواد و متالورژی

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 معمولا 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 می شود خواص دینامیک شبکه آن اصلاح شده و روی خواص گرمایی نیز تاثیر گذار است. اهمیت این تحقیق به‌دلیل 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 کاملا 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 SiO_2 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 SiO_2 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 ـ که منجر به جرم مؤثر صفر برای الکترون ها و حفره ها می شود ـ 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 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 ۱۰۶ ~ vF 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 ۱۵،۰۰۰ $cm^2V^{-1}s^{-1}$. 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 k۱۰ تا k۱۰۰، تحرک پذیری تقریبا 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 ۲۰۰،۰۰۰ $cm^2V^{-1}s^{-1}$ برای چگالی حامل 10^{12} cm^{-2} می شود. مقاومت متناظر ورقه های گرافین در حد ۶-۱۰ Ω•cm 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 ۴۰،۰۰۰ $cm^2 V^{-1}s^{-1}$ محدود می کند.

- خواص اپتیکی

www.iran-mavad.com
مرجع مهندسی مواد و متالورژی

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 $\pi\alpha \approx 2,3\%$ 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 طرحی به ساختار نوار انرژی الکترونی ـ 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 ـ 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 گرافن:

امروزه روش‌های بسیار متنوعی برای ساخت گرافن بکار برده می‌شود که از متداول‌ترین آنها می‌توان به روش‌های لایه برداری مکانیکی، لایه برداری شیمیایی، سنتزشیمیایی و رسوب بخار شیمیایی (CVD) را نام برد. برخی روش‌های دیگری همانند شکافتن نانو لوله‌های کربنی[۸]و ساخت باامواج ماکروویو[۹]نیز اخیرا بکاربرده شده‌اند. یک نمای کلی از روش‌های ساخت گرافن در زیر آمده است:

روش های ساخت گرافن :

- از پایین به بالا

۱. رشد برآیایی
۲. شکافت گرمایی
۳. CVD[۱۰]
۴. پلاسما
۵. گرمایی

www.iran-mavad.com
مرجع مهندسی مواد و متالورژی

- 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 ۱۹۷۵گروه 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 سال۲۰۰۴ 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 تقریبا برابر با ۳۰ لایه گرافن تک لایه است. در روش لایه برداری شمیایی 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 هیدروزین است. همانند تولید نانو لوله‌های‌کربنی 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. هریک از این روش‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارند، به عنوان مثال روش لایه برداری مکانیکی توانایی و قابلیت ساخت گرافن یک لایه تا چند لایه را دارد اما همانندی نمونه های بدست آمده بسیار پایین است، همچنین ساخت گرافن در ابعاد بزرگ یکی از چالش‌های پیش روی این روش است. برای تهیه گرافن 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 هستندکه این ویژگی موجب می‌شود ساخت گرافن بر روی انواع زیر لایه‌های با دمای محیط، به ویژه زیرلایه‌های پلیمری آسان‌تر شود، با این حال، همگنی و

www.iran-mavad.com
مرجع مهندسی مواد و متالورژی

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 وگرافیت سازی گرمایی بر روی سطح کربید سیلسیوم 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 کاربردهایِ آن

۱. ↑ «نوبل فیزیک برای کاشفان «ماده‌ای جادوئی»». 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 visualtransparency 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

www.iran-mavad.com

مرجع مهندسی مواد و متالورژی

۸. Jiao, L. Y., X. R. Wang, G. Diankov, H. L. Wang, and H. J. Dai. ۲۰۱۰. Facile synthesis of highquality graphene nanoribbons. Nature Nanotechnology ۵ (۵):۳۲۱–۳۲۵ ↑

۹. Xin, G. Q., W. Hwang, N. Kim, S. M. Cho, and H. Chae. ۲۰۱۰. A graphene sheet exfoliated with microwave irradiation and interlinked by carbon nanotubes for high-performance transparent flexible electrodes. (Nanotechnology ۲۱ (۴۰ ↑

۱۰. Reina, A., S. Thiele, X. T. Jia, et al. ۲۰۰۹. Growth of large-area single- and bi-layer graphene by controlled carbon precipitation on polycrystalline Ni surfaces. Nano Research ۲ (۶):۵۰۹–۵۱۶ ↑

۱۱. Novoselov, K. S., A. K. Geim, S. V. Morozov, et al. ۲۰۰۴. Electric field effect in atomically thin carbon films. Science ۳۰۶ (۵۶۹۶):۶۶۶–۶۶۹ ↑

۱۲. Allen, M. J., V. C. Tung, and R. B. Kaner. ۲۰۱۰. Honeycomb carbon: A review of graphene .Chemical Reviews ۱۱۰ (۱):۱۳۲–۱۴۵ ↑

۱۳. Park, S., and R. S. Ruoff. ۲۰۰۹. Chemical methods for the production of graphenes. Nature Nanotechnology ۴ (۴):۲۱۷–۲۲۴ ↑

۱۴. Lang, B. ۱۹۷۵. A LEED study of the deposition of carbon on platinum crystal surfaces. Surface Science ۵۳ (۱):۳۱۷–۳۲۹ ↑

۱۵. Lu, X. K., M. F. Yu, H. Huang, and R. S. Ruoff. ۱۹۹۹. Tailoring graphite with the goal of achieving single sheets. Nanotechnology ۱۰ (۳):۲۶۹–۲۷۲ ↑

۱۶. http://en.wikipedia.org/wiki/Graphene ↑