دانشگاه لرستان

دانشکده علوم پایه

گروه شیمی

عنوان پایان نامه

تهیه هیدروژلهای بر پایه گرافن و بررسی کاربردهای آنها

نگارش

علی اکبر شیری غجه بگلو

استاید راهنما

دکتر عباس دادخواه تهرانی

دکتر محسن عادلی

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته شیمی آلی

شهریور ۱۳۹۳

همه امتیازات این پایان نامه به دانشگاه لرستان تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب در مجلات، سمینارها یا سخنرانی ها، باید نام دانشگاه لرستان (استاد یا اساتید راهنمای پایان نامه) و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

خداوندا

دستهایم خالی است و دلم غرق در آرزوها

یا به قدرت بیکرانت دستانم را توانا گردان

یا دلم را از آرزوهای دست نیافتنی خالی کن

کوروش کبیر

تقدیم به

روح مادر عزیزم...

تقدیم و تشکر

کاش می شد اما....

عمر ما آنقدر طولانی نیست که مسیر زندگی را یک بار برای کسب تجربه بپیماییم و بار دیگر برای به کار بردن تجربه ها در زندگی. یا باید دل به دریا زده و با هراس قدم در جاده ی زندگی بگذاری (مسیری که در طول آن نه راهنمایی حضور دارد نه چراغی) و یا ابتدا خود را به چراغ روشن آگاهی مجهز نمایی و سپس با ایمان و اطمینان پا در راه بگذاری.

لازم می دانم سپاس بی پایان خود را نثار کنم به:

اساتید بزرگوارم جناب آقای دکتر **عباس دادخواه تهرانی** و جناب آقای پروفسور **محسن عادلی** که وجودشان دریایی از علم و محبت است و آموختن علم در محضر ایشان از افتخارات بزرگ زندگیم می باشد. و از این دو عزیز به پاس زحمات و راهنمایی ها و محبت هایشان تشکر می کنم و می دانم آنچه مرا آموخته اند جبران کردنی نیست.

از جناب آقای دکتر ابراهیم مهدی پور و جناب آقای دکتر فرحمن حکیم پور که زحمت مطالعه و داوری پایان نامه را قبول نمودند، تشکر می کنم.

سپاسگزارم...

از زحمات بی دریغ پدر بزرگوارم، برادر و خواهران دوست داشتنی ام

از همسر مهربانم؛ یار یکرنگ همیشگی ام که در طول تحصیل همراه و همگام من بوده است

از تمام دوستان و همراهان گرامی آقایان احسان دولتمند، یاسر محمدی، علی بداغی، یحیی تکمر، عباس فغانی، مصیب افضلی، حامد جوادپور، علی کراوند، رحمان کاظمی، مهدی محمدی و خانم ها مریم صمیمی، مهناز نورالهی، مریم سلطانی، پریوش پوراحمدیان، مولود رحیم پور، زینب رفیعی، زهرا بیرانوند، سحر قادرحمت، فائزه حسامی، پریوش ملایی، زهرا افسریان، شیرین دانش نیا، بهشته خدادادی، خدیجه کردعلیوند و تمام عزیزانی که در طول اجرای پروژه یاری ام نمودند، سپاسگزارم و برای ایشان آرزوی موفقیت و کامیابی می نمایم.

علی اکبر شیری

شهریور ۱۳۹۳

فصل اول (مقدمه)

۱-۱ نانو تکنولوژی ۲
۱-۲ فولرن ها ۳
۱-۳ نانو لوله های کربنی ۳
۱-۴ گرافیت ۴
۱-۵ گرافن ۴
۱-۶ تعیین خصوصیات ۵
۱-۷ روشهای تولید گرافن و نانو موادی بر پایه گرافن ۵
۱-۷-۱ رشد هم بافته با دفع حرارتی اتم های سیلیس از سطح کاربید سیلیسیم ۶
۱-۷-۲ رسوب دهی شیمیایی بخار بر روی فلزات انتقالی ۶
۱-۷-۳ لایه لایه کردن میکرومکانیکی گرافیت ۷
۱-۷-۴ کاهش گرافن اکساید ۸
۱-۷-۵ باز کردن نانو لوله های کربنی ۹
۱-۸ خواص فیزیکی و شیمیایی گرافن و نانومواد بر پایه گرافن ۱۱
۱-۹ اصلاح سطح گرافن و نانومواد بر پایه گرافن ۱۱
۱-۹-۱ اتصال کووالانسی ۱۲
۱-۹-۲ اتصال غیرکووالانسی ۱۴
۱-۱۰ گرافیت اکساید ۱۶
۱-۱۰-۱ کاربرد های گرافیت اکسید ۱۷
۱-۱۱ گرافن اکساید ۱۸
۱-۱۲ هیدروژل‌ها: مرور کلی ۲۰
۱-۱۳ دسته بندی هیدروژل‌ها ۲۱
۱-۱۳-۱ شبکه ای شدن فیزیکی ۲۳
۱-۱۳-۲ شبکه‌ای شدن شیمیایی ۲۴
۱-۱۳-۳ شبکه‌ای شدن پلیمر در مجاورت ریزمولکول‌های شبکه‌ای کننده ۲۴
۱-۱۳-۴ شبکه‌ای شدن دو پلیمر ۲۴
۱-۱۴ مزایای هیدروژل‌ها ۲۵
۱-۱۵ جذب آب هیدروژل ۲۶
۱-۱۶ بارگذاری دارو در هیدروژل ۲۶
۱-۱۷ برهمکنش دارو-هیدروژل ۲۶
۱-۱۷-۱ برهمکنش فیزیکی ۲۷
۱-۱۷-۲ برهمکنش شیمیایی ۲۸
۱-۱۸ هیدروژل‌های گرافنی ۲۸

۱-۱۸-۱ هیدروژل‌های حساس به PH برپایه گرافن اکساید ۲۹
۱-۱۸-۲ هیدروژل‌های گرافنی برای حذف رنگدانه از آب ۳۰
۱-۱۸-۳ هیدروژلهای سوپرامولکولی برپایه گرافن اکساید ۳۱
۱-۱۸-۴ هیدروژلهای برپایه گرافن اکساید با برهمکنش میهمان-میزبان ۳۱
۱-۱۹ پلی کاپرولاکتون ۳۲
۱-۱۹-۱ خواص فیزیکی و شیمیایی پلی‌کاپرولاکتون‌ها ۳۳
۱-۱۹-۲ کاربرد پلی‌کاپرولاکتون‌ها ۳۴

فصل دوم (تجربی)

۲-۱ مواد و دستگاه‌ها ۳۶
۲-۱-۱ مواد ۳۶
۲-۱-۲ دستگاه‌های مورد استفاده ۳۷
۲-۲ تهیه گرافن اکساید عامل‌دار شده با پلیمر کاپرولاکتون-تری‌آزین ۳۷
۲-۲-۱ تهیه گرافن اکساید ۳۷
۲-۲-۲ تهیه پلیمر کاپرولاکتون تری‌آزین ۳۸
۲-۲-۳ عامل‌دار کردن گرافن اکساید با پلیمر کاپرولاکتون-تری‌آزین با استفاده از NaOH ۳۹
۲-۲-۴ عامل‌دار کردن گرافن اکساید با پلیمر کاپرولاکتون-تری‌آزین با استفاده از تری اتیل آمین (Et_3N) ۳۹
۲-۳ تهیه هیدروژل برپایه گرافن اکساید ۴۰
۲-۳-۱ تهیه هیدروژل برپایه گرافن اکساید با استفاده از سدیم هیدروکسید ۴۰
۲-۳-۲ تهیه هیدروژل برپایه گرافن اکساید با استفاده از فنول فتالئین ۴۱
۲-۴ خشک کردن هیدروژلهای تهیه شده ۴۲

فصل سوم (بحث و نتیجه گیری)

۳-۱ سنتز گرافن اکساید عاملدار شده با پلیمر کاپرولاکتون-تری‌آزین ۴۴
۳-۱-۱ شناسایی گرافن اکساید عامل‌دار شده با پلیمر کاپرولاکتون، با استفاده از روش‌های مختلف ۴۵
۳-۱-۱-۱ بررسی پلیمر کاپرولاکتون-تری‌آزین در دمای ۲۵ °C با استفاده از طیف سنجی FT-IR ۴۵
۳-۱-۱-۲ بررسی تشکیل پلیمر کاپرولاکتون-تری‌آزین با استفاده از طیف سنجی UV-Vis ۴۷
۳-۱-۱-۳ شناسایی گرافن اکساید عامل‌دار شده با پلیمر کاپرولاکتون-تری‌آزین با استفاده از طیف‌سنجی FT-IR ۴۸
۳-۱-۱-۴ بررسی گرافن اکساید عامل‌دار شده با پلیمر کاپرولاکتون-تری‌آزین با استفاده از آنالیز عنصری CHN ۵۰
۳-۲ تهیه هیدروژل‌های برپایه گرافن اکساید ۵۰
۳-۲-۱ سنتز هیدروژل‌های برپایه گرافن اکساید با استفاده از سدیم هیدروکسید ۵۱
۳-۲-۱-۱ بررسی هیدروژل‌های تهیه شده برپایه گرافن اکساید با استفاده از NaOH از طریق طیف سنجی FT-IR ۵۲
۳-۲-۱-۲ بررسی هیدروژل‌های تهیه شده بر پایه گرافن اکساید با استفاده از NaOH از طریق طیف‌سنجی UV-Vis ۵۳

۳-۲-۱-۳ بررسی هیدروژل‌های تهیه شده برپایه گرافن اکساید با استفاده از NaOH از طریق دیاگرام های XRD ۵۴
۳-۲-۱-۴ بررسی هیدروژل‌های تهیه شده برپایه گرافن اکساید با استفاده از NaOH از طریق طیف‌سنجی رامان ۵۵
۳-۲-۱-۵ بررسی مورفولوژی هیدروژل تهیه شده برپایه گرافن اکساید با استفاده از NaOH از طریق تصاویر SEM ۵۶
۳-۲-۲ سنتز هیدروژل‌های برپایه گرافن اکساید با استفاده از NaOH و فنول فتالئین (PP) ۵۷
۳-۲-۲-۱ بررسی هیدروژل‌های تهیه شده برپایه گرافن اکساید با استفاده از NaOH و PP از طریق طیف سنجی IR ۵۸
۳-۲-۲-۲ بررسی هیدروژل‌های تهیه شده برپایه گرافن‌اکساید بااستفاده از NaOH و PP از طریق طیف‌سنجی رامان ۵۹
۳-۲-۲-۳ بررسی هیدروژل تهیه‌شده بر پایه گرافن‌اکساید با استفاده از NaOH و PP از طریق طیف‌سنجی UV-Vis ۶۰
۳-۲-۳ نتایج حاصل از هیدروژل‌های تهیه شده ۶۱
نتیجه گیری ۶۲

منابع ۶۳

GO	Graphene Oxide
PP	Phenolphthalein
PCl	poly caprolactone
XRD	X-Ray Diffraction
SEM	Scanning Electron Microscope
FT-IR	Furrier Transfer Infrared Spectroscopy
UV-vis	Ultraviolet Visible
CHN	Carbon, Hydrogen, Nitrogen (Elemental) Analysis

نام خانوادگی: شیری غجه بگلو نام: علی اکبر

عنوان پایان نامه:

تهیه هیدروژل‌های برپایه گرافن و بررسی کاربردهای آن‌ها

اساتید راهنما:

عباس دادخواه تهرانی درجه تحصیلی: استادیار رشته: شیمی گرایش: شیمی آلی

محسن عادلی درجه تحصیلی: استاد رشته: شیمی گرایش: شیمی آلی

محل تحصیل(دانشگاه): دانشگاه لرستان دانشکده: علوم پایه گروه آموزشی: شیمی

تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۹۳/۰۶/۳۱ تعداد صفحه: ۸۵

کلید واژه ها:

فارسی: گرافن اکساید، هیدروژل، خود تجمعی، پلی کاپرولاکتون

انگلیسی: Graphene oxide; Hydrogel; Self-assembly; Polycaprolactone

چکیده:

اخیراً هیدروژل‌های برپایه گرافن اکساید به دلیل خواصی از جمله استحکام مکانیکی بالا، هدایت الکتریکی بالا، پایدارای حرارتی و قابلیت جذب، توجه محققان زیادی را به خود جلب کرده‌اند. خود تجمعی ورقه‌های دو بعدی (2D) گرافن به ساختارهای سه بعدی (3D)، روشی مؤثر برای تهیه هیدروژل‌های برپایه گرافن اکساید است. گرافن اکساید می‌تواند با استفاده از پلیمرها و مولکول‌های آلی و معدنی مختلف، به هیدروژل تبدیل شود. این هیدروژل‌ها می‌توانند کاربردهای گوناگونی از جمله حمل دارو، حذف آلاینده‌ها از آب و همچنین در صنایع الکترونیک، داشته باشند. در این پروژه تحقیقاتی تلاش شده است تا هیدروژل‌هایی برپایه گرافن اکساید با استفاده از پلیمر کاپرولاکتون و مواد آلی و مولکول‌های معدنی تهیه شود. محصولات بدست آمده توسط طیف سنجی FT-IR و UV-Vis و XRD و RAMAN و SEM بررسی شد.

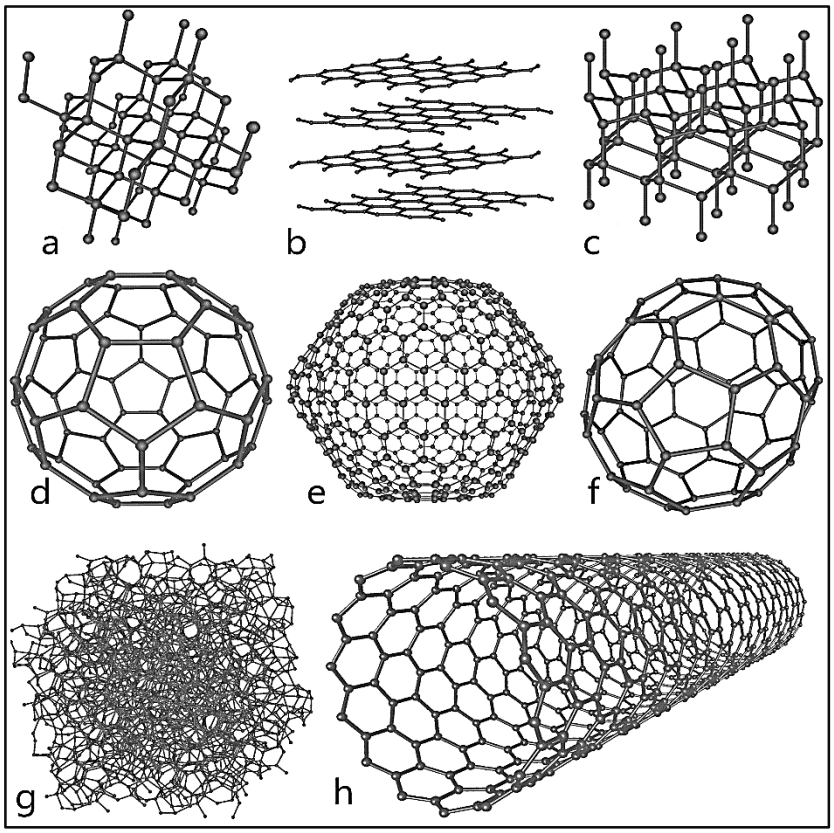
فصل اول

مقدمه

۱ مقدمه

۱-۱ نانو تکنولوژی

نانو تکنولوژی به عنوان یک فناوری کاربردی در دهه های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. این فناوری توانایی کار در سطح اتم کربن و ایجاد ساختارهایی که نظم مولکولی کاملا جدید دارند را فراهم می کند. کربن یکی از مهم‌ترین عنصر جدول تناوبی است که در طبیعت به چند صورت یافت می‌شود. مهم‌ترین آلوتروپ‌های کربن عبارتند از الماس، نانولوله‌های کربنی، فولرن‌ها، کربن‌های بی‌شکل. از دیگر آلوتروپ‌های کربن که امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند، می‌توان به گرافیت[۱] و گرافن[۲] اشاره کرد (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱ آلوتروپ های مختلف کربن a) الماس b) گرافیت c) الماس هگزاگونال d) فولرن e) C_{540} f) C_{70} g) کربن آمورف h) نانو لوله تک دیواره

۱. Graphite

۲. Graphene

۱-۲ فولرن ها

فولرن ها[۱] با کشف مولکول $C_{۶۰}$ سال ۱۹۸۵ توسط یک گروه از شیمیدان های دانشگاه رایس ایالت تگزاس ایالات متحده[۲] شناخته شده اند. فولرن ها مولکول های صفر بعدی از کربن هستند که به سبب خواص جالب، توجه بسیاری از دانشمندان را به خود معطوف کرده اند. پایه فولرن ها صفحات موجود در گرافن می باشد (شکل ۱-۲)؛ بدین صورت که در ساختار اتمی فولرن ها یک سری شش ضلعی و پنج ضلعی منظم وجود دارد که به صورت یک در میان کنار هم قرار گرفته و کره فولرن را تشکیل داده اند.

فولرن ها به دلیل خواص فیزیکی، شیمیایی و خواص نوری خاصشان به صورت وسیع در تولید مکمل های غذایی، محصولات آرایشی، صنایع پوشاک، روان کننده ها، ساخت سلول های خورشیدی و الکترونیک کاربرد فراوان دارند [۱ و ۲].

۱-۳ نانو لوله های کربنی

نانو لوله های کربنی در سال ۱۹۹۱ توسط پژوهشگر ژاپنی به نام سومیو ایجیما[۳] کشف شدند. نانو لوله‌ها براساس ساختمان گرافن بنا می‌شوند. گرافن از لایه‌های مجزایی متشکل از اتم‌های کربن تشکیل شده است، که به صورت واحدهایی شش ضلعی که در شش رأس آن اتم کربن قرار دارد آرایش یافته‌اند. نانو لوله ها فولرن هایی هستند باریکتر و بلندتر، که دیواره آن ها از حلقه های شش عضوی و انتهای کلاهک مانند آن ها شبیه به نیمه ای از یک فولرن مسدود می باشد. بنابر این در انتهای خود علاوه بر اجزای شش ضلعی دارای اجزای پنج ضلعی نیز می باشد [۳]. می توان تجسم کرد که در اثر لوله شدن یک صفحه گرافن، نانو لوله تک دیواره (شکل ۱-۲) و از لوله شدن چندین صفحه گرافن که منجر به استوانه های متحدالمرکز می شوند نانو لوله چند دیواره که ساختاری تک بعدی دارد تشکیل می‌شود [۲].

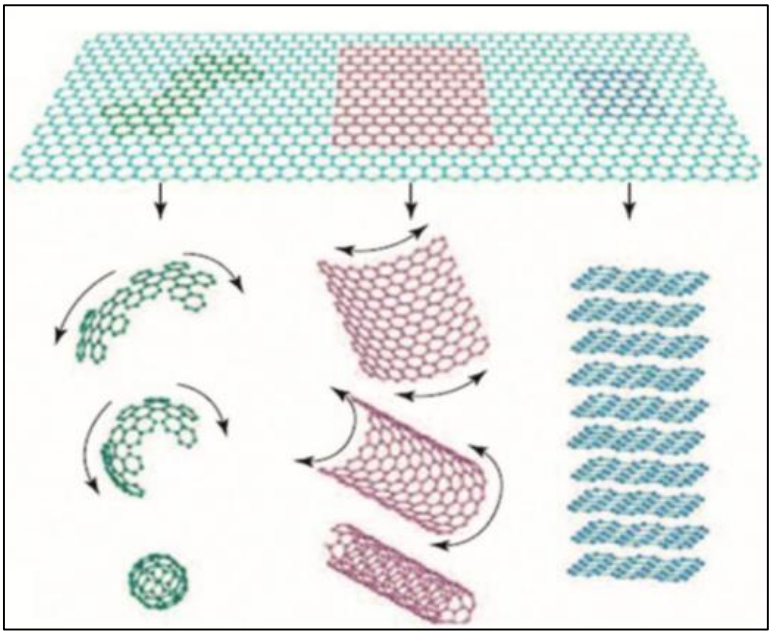
۱. Fullerene

۲. Rice University(Texas،US)

3. Sumio Iijima

۱-۴ گرافیت

گرافیت ساختار سه بعدی از صفحات اتم‌های کربن با هیبریداسیون sp^2 می‌باشد. هر اتم کربن به سه اتم دیگر با زاویه‌ی ۱۲۰ و طول ۱/۴۲ Å پیوند برقرار کرده است. در این ترکیبات برهم‌کنش بین لایه‌ها نیروی‌های ضعیف واندروالسی می‌باشند. این آلوتروپ کربن هم به صورت ذاتی در طبیعت و هم به شکل مصنوعی توسط فرآیندهای تجزیه‌ی حرارتی موجود می‌باشد [۴].

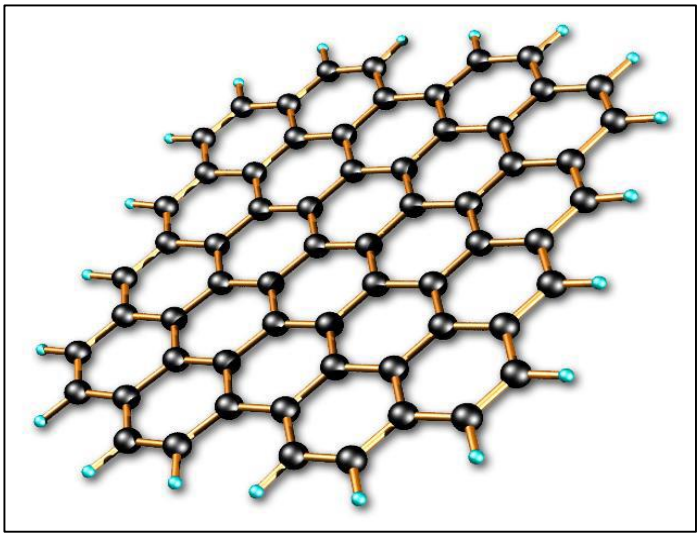


شکل ۱-۲ گرافن ساختار پایه برای مواد کربنی با ابعاد مختلف.

۱-۵ گرافن

از زمان کشف گرافن تلاش های زیادی در مورد ساختار، ساخت، عاملدار کردن و کاربرد آن شده است [۱۰-۵]. گرافن یک آلوتروپ دو بعدی از کربن با هیبریداسیون sp^2 و ساختار صفحه‌ای شبکه مانند لانه زنبوری است (شکل ۱-۳). که در سال‌های اخیر به دلیل خواص نوری، فیزیوشیمی، گرمایی، مکانیکی و الکتریکی بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۱۱-۱۳] و از گرافن یک کاندید خوب در بسیاری از جنبه های فناوری مانند نانو الکترونیک، حسگرها، نانوکامپوزیت ها، باتری و غیره می سازد[۱۴]. به عنوان مثال در بررسی‌های الکتروشیمی می‌توان به طور خاص، از آن در ساخت باتری لیتیم و سل‌های خورشیدی

استفاده کرد [۱۵ و ۱۶]. علاوه براین گرافن فعالیت کاتالیتیکی عالی از خود نشان می‌دهد که باعث شده به عنوان حسگرهای الکتروشیمیایی و حسگرهای زیستی مورد توجه قرار گیرد [۱۷-۲۱].



شکل ۱-۳ ساختار سه بعدی گرافن

۱-۶ تعیین خصوصیات

مورفولوژی سطح نمونه‌های گرافنی توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و میکروسکوپ نوری تخمین زده می‌شود. توپوگرافی و اندازه‌ی ضخامت لایه‌های گرافن اکساید به وسیله‌ی میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) انجام می‌شود. گروه‌های عاملی گرافن اکساید با طیف‌سنجی زیرقرمز دور (FT-IR) تعیین می‌گردد. شکل و اندازه‌ی صفحه‌های گرافنی توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) و اندازه‌گیری‌های فلورسانسی با طیف‌سنجی فلورسانس صورت می‌گیرد. طیف جذبی آن نیز به وسیله طیف-سنجی فرابنفش- مرئی (UV-vis) بررسی می‌گردد.

۱-۷ روش‌های تولید گرافن و نانو موادی بر پایه گرافن

در طول چند سال اخیر انواع روش‌ها برای تولید گرافن مورد استفاده قرار گرفته است. این روش‌ها بر حسب این‌که ماده اولیه آن‌ها مولکول‌های حاوی کربن یا گرافیت باشند، به ترتیب تحت عنوان

روش‌های پایین به بالا و بالا به پایین طبقه‌بندی می‌شوند. هزینه، عملکرد، اندازه و کیفیت صفحه‌ها و نیز اصلاح شیمیایی مهم‌ترین نکاتی هستند که در انتخاب روش سنتز گرافن باید به آن‌ها توجه نمود. سوسپانسیون مایع گرافن اکساید همراه با کاهش شیمیایی [۲۲ -۲۵] ، لایه‌برداری فاز مایع [۲۶و۲۷] ، رشد هم‌بافته با دفع حرارتی اتم‌های سیلیس از سطح کاربید سیلیسیم، رشد همبافته با رسوب‌دهی شیمیایی بخار بر روی فلزات انتقالی [۲۸و۲۹]، سنتز حلالی- حرارتی و نانولوله‌های کربنی جدا شده، روش‌هایی هستند، که بیشتر گزارش داده شده‌اند. از بین روش‌های گفته شده، سنتز شیمیایی گرافن از گرافیت روش مناسب-تری بوده چرا که دارای بعضی مزایا مانند: حجم بالای محصول و اصلاح شیمیایی آسان می‌باشد، اگرچه در این روش ممکن است در حین مراحل اکسایش و کاهش به ساختار گرافن آسیب برسد. در این روش ابتدا گرافیت به گرافیت اکساید، اکسید می‌شود سپس توسط ورقه ورقه کردن مکانیکی یا گرمایی به گرافن اکساید تبدیل شده، در پایان گروه‌های آب‌دوست گرافن اکساید با کاهش شیمیایی حذف شده و تولید گرافن می کنند.

۱-۷-۱ رشد هم بافته با دفع حرارتی اتم های سیلیس از سطح کاربید سیلیسیم

دی هر[۱] و همکارانش در انستیتو تکنولوژی جورجیا[۲] پیشگام در روش رشد هم بافته بودند. در نتایج آن ها گرافن از کاهش کاربید سیلیکون در دمای بالا تولید و سیلیکون از جاذب در دمای $^{\circ}C$ ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد در خلا بالا آزاد می‌شود [۳۰-۳۳].

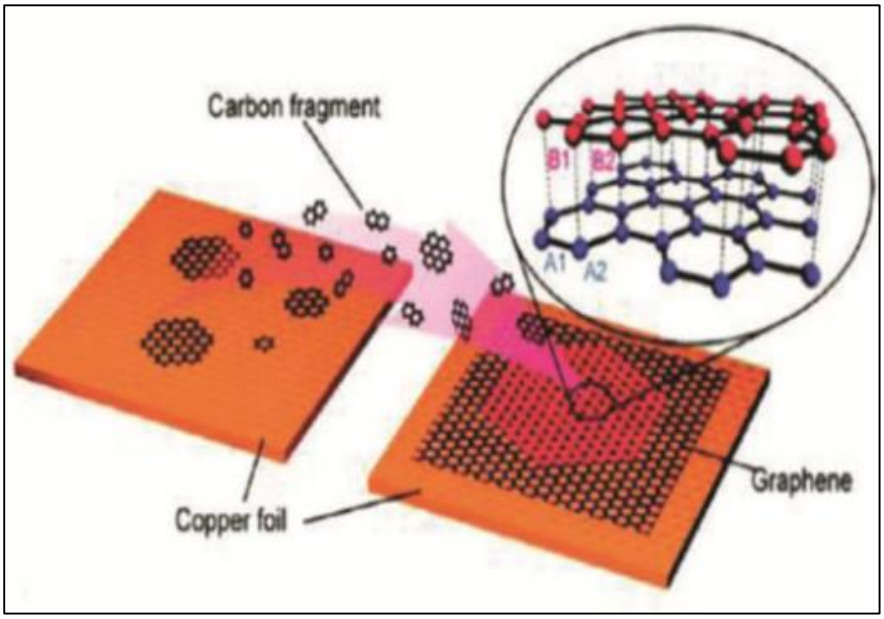
۱-۷-۲ رسوب دهی شیمیایی بخار بر روی فلزات انتقالی

این روش با استفاده از هیدروکربن های مختلف روی کاتالیست های فلزی متفاوت انجام می شود. اغلب از فیلم نیکل با گاز متان برای این روش استفاده می شود که به محض خنک سازی ماده انحلال پذیری کربن فلز انتقالی کاهش می یابد و فیلم نازک کربن در سطح ته نشین می شود.لایه های گرافن می تواند روی زیر لایه های فلزی انتقالی دیگر همچون Cu و هیدروکربن های متفاوتی مانند اتیلن، استیلن و بنزن رشد کند.طبق تحقیقات Cu فیلم گرافن با کیفیت بالا تولید می کند که به علت مکانیزم کاتالیزور

۱. De Heer

۲. Georgia

سطحی آن است(شکل۱-۴). بازده گرافن در این روش بیشتر از ۹۵ درصد در سطح است و اندازه کریستال ها بزرگ تر از ۱۰۰ میکرومتر است. مزیت این روش استفاده از دمای رشد کمتر (۱۰۰۰-۸۰۰) برای تولید فیلم گرافن با کیفیت بالا است [۳۸-۳۴].



شکل ۱-۴ روش CVD برای رشد گرافن.

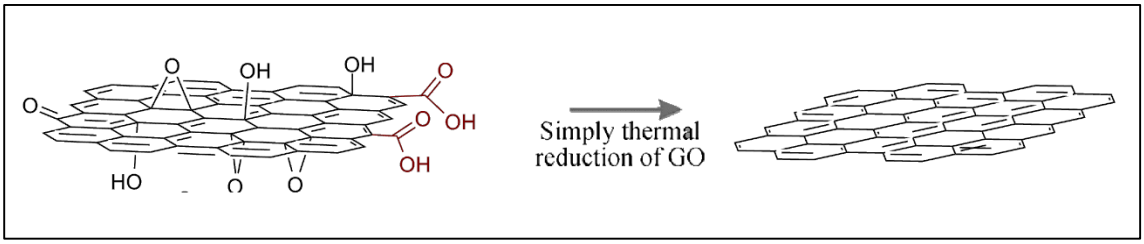
۱-۷-۳ لایه لایه کردن میکرومکانیکی گرافیت

نوسلو[۱] در سال ۲۰۰۴ به طور موفقیت آمیز گرافن تک لایه و چند لایه را از تجزیه گرافیت در دمای بالا توسط شکافتگی میکرومکانیکی گزارش کرد [۳۹]. لایه لایه کردن مکانیکی شامل سه روش ۱- اثر شیمیایی در لایه لایه کردن و پایدار سازی ورقه های گرافن در محلول [۴۵-۴۰]، ۲- روش پایین-بالا برای رشد مستقیم گرافن از روش های بنیادی [۴۹-۴۶]، ۳- رشد کاتالیزی روی یک ماده است [۵۰و۵۱]. به نظرمی رسد گرافن های تولید شده از طریق راه هایی همچون لایه لایه کردن میکرومکانیکی گرافیت، دارای نقایص ساختاری کمتری می باشند، اما بهره تولید پایین تری نسبت به گرافن های ساخته شده از اکسید گرافن داشته و قابلیت کمتری برای عاملدار شدن دارند [۵۲].

۱. Novoselov

۱-۷-۴ کاهش گرافن اکساید

احیای گرافیت اکسید از لحاظ تاریخی اولین روش برای تولید گرافن است. بوهم[۱] درسال ۱۹۶۲ تهیه ورقه های گرافن را با استفاده از احیای گرافیت اکساید تک لایه ای(گرافن اکساید) گزارش کرده است (شکل ۱-۵) [۵۳]. از جمله واکنش های شیمیایی مطلوب برای احیای گرافن اکسید می توان واکنش گرافن اکسید با هیدرازین و یا تجزیه حرارتی آن توسط گاز هیدروژن/آرگون که منجر به ایجاد فیلم های گرافن می شود را نام برد. لازم به ذکر است که کیفیت فیلم های گرافنی تهیه شده از احیای گرافن اکساید در مقایسه با گرافن تهیه شده از روش لایه لایه کردن میکرومکانیکی، پایین تر است. این امر نیز به دلیل احیای ناکامل گرافن اکساید و باقی ماندن بعضی از گروه های عاملی بر روی صفحات گرافن می باشد. تجزیه عنصری گرافن اکساید احیا شده با استفاده از روش احتراق، حضور مقادیر زیادی از اکسیژن را آشکار می کند که نشان می دهد گرافن اکساید احیا شده شبیه گرافن خالص نیست.



شکل ۱-۵ روش سنتز گرافن اکساید به روش شیمیایی

اخیرا احیا و ورقه ای کردن گرافن اکساید توسط تابش امواج ماورای بنفش منجر به ایجاد ورقه های گرافن با مقدار اکسیژن کمترشده است [۵۴و۵۵]. ذکر این نکته نیز لازم است که تولید یک سوسپانسیون آبی از ورقه های گرافن اکساید احیا شده تحت شرایط بازی(PH=۱۰) نیز به وسیله محققان توصیف شده است .گرافن اکساید با استفاده از هیدرازین احیا شده و پس از آن هیدرازین اضافی جدا می شود. باور بر این است که در PH=۱۰ گروههای کربوکسیلیک خنثی به کربوکسیلاتی که دارای بار منفی هستند، تبدیل شده اند بنابراین زمانی که بخش های داخلی ورقه های گرافن اکساید توسط هیدرازین احیا می

۱. Boehm

شوند ، صفحاتی که دارای بار منفی هستند به صورت توده ای در نمی آیند. با فیلتر کردن این سوسپانسیون، مواد کاغذ مانندی حاصل می شود که پس از خشک شدن رسانایی الکتریکی خوبی را از خود نشان می دهند. سنتز شیمیایی گرافن از گرافیت روش مناسبی است، زیرا دارای بعضی مزایا مانند حجم بالای محصول و اصلاح شیمیایی آسان می باشد اگرچه در این روش ممکن است در حین مراحل اکسایش و کاهش به ساختار گرافن آسیب برسد.

۱-۷-۵ باز کردن نانو لوله های کربنی

در این روش نانو لوله های کربنی به مدت یک ساعت در دمای اتاق توسط اسید سولفوریک و پرمنگنات پتاسیم و سپس به مدت یک ساعت در دمای $55-70^{\circ}C$ قرار می گیرد و باعث باز شدن نانو-لوله های کربنی به صورت نانو نوار گرافن اکساید[۱] می شود (شکل۱-۶).

روش دیگر توسط دای[۲] با استفاده از پوشش پلیمر پلی متیل متاکریلات (PMMA) توسعه یافته است که از حک کردن پلاسمای اکسیژن کنترل شده برای ساختن نانو نوار گرافن اکساید به طور مستقیم بالای سطح SiO_2/Si استفاده می شود [۵۶و۵۷].

۱. Graphene Oxide nanoribbon

۲. Dai