

گرافن، ساخت و کاربردها

تألیف:

ون-ریت چوی و جو-ون لی

ترجمه:

دکتر مجتبی مایاری

(عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی مالک اشتر)

عنوان و نام پدیدآور:	گرافن، ساخت و کاربردها/[ویراستار] ون بونگ چوی، جو-ون لی؛ مترجم مجتبی مهیاری.
مشخصات نشر:	تهران: دانشگاه صنعتی مالک اشتر، انتشارات ۱۳۹۸
مشخصات ظاهری:	[۸]، ض، ۵۶۳ ص: مصور(بخشی رنگی)، جدول، نمودار(بخشی رنگی).
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۷۷۳۶-۵۲-۴
وضعیت فهرست‌نویسی:	فیا.
یادداشت:	عنوان اصلی: Graphene synthesis and application., 2012
یادداشت:	واژه‌نامه.
یادداشت:	کتابنامه: ص. ۴۸۱-۵۳۶
موضوع:	گرافن.
شناسه افزوده:	مهیاری، مجتبی، ۱۳۶۵- مترجم
شناسه افزوده:	چوی، ون بونگ، ۱۹۶۳-، ویراستار.
شناسه افزوده:	لی، جو-ون، ۱۹۵۲-، ویراستار.
شناسه افزوده:	دانشگاه صنعتی مالک اشتر. انتشارات ۱۳۹۸
رده‌بندی کنگره:	۱۳۹۸ گ/گ/ ۳۴۱ QD
رده‌بندی دیوئی:	۵۴۰.۷
کتبشناسی ملی:	۴ ۷۶۹۸۴



مجموعه کتابخانه ملی و موزه ملی

عنوان کتاب:	گرافن، ساخت و کاربردها
ترجمه:	مجتبی مهیاری
ناشر:	دانشگاه صنعتی مالک اشتر
طرح روی جلد:	مجتبی مهیاری
لیتوگرافی، چاپ و صحافی:	دانشگاه صنعتی مالک اشتر
صفحه‌آرایی رایانه‌ای:	زهرا جاویدی
ویراستار ادبی:	سپهر مهدی ملایی
شمارگان:	۱۰۰۰ جلد
نوبت چاپ:	اول، پاییز ۱۳۹۸
قیمت:	۱.۴۸۰.۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-7736-52-4

کلیه حقوق چاپ برای ناشر محفوظ است.

نقل مطالب فقط با ذکر مشخصات کامل کتاب و با اشاره به نام ناشر مجاز است.
آدرس: تهران، لویزان، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، معاونت پژوهش و فناوری، مدیریت دانش.
انتشارات. تلفن: ۲۲۹۳۲۸۹۱

فهرست مطالب

پیشگفتار مولف	۱
پیشگفتار مترجم	ج
مقدمه	خ
علائم اختصاری	ش
فصل ۱: تشریح خواص فیزیکی گرافن	۳
چکیده	۳
۱-۱- مقدمه	۳
۱-۲- خواص الکترونیکی اصلی ساختارهای با پایه گرافنی	۴
۱-۲-۱- نانورسوبات گرافن	۸
۱-۳- نتایج و تفسیر	۱۲
۱-۴- خواص ارتعاشی و حرارتی گرافن	۱۶
۱-۵- خواص مکانیکی گرافن	۱۸
۱-۶- خواص انتقالی گرافن در میدان‌های خارجی	۲۰
۱-۷- خواص مغناطیسی گرافن	۲۵
۱-۸- ساخت گرافن	۲۷
۱-۹- گرافن و برخی کاربردهایش	۲۹
۱-۱۰- منابع و مراجع	۳۱
فصل دوم: ساخت گرافن	۴۷
چکیده	۴۷
۱-۲- مقدمه	۴۷
۲-۲- مروری بر روش‌های ساخت گرافن	۵۰
۲-۲-۱- لایه‌برداری مکانیکی	۵۳
۲-۲-۲- لایه‌برداری شیمیایی	۵۶

۶۰	۲-۳-۲- برخی از روش‌های نوین ساخت گرافن
۶۱	۲-۴-۲- ساخت شیمیایی: گرافن از اکسید گرافن کاهش یافته
۶۹	۲-۵-۲- ساخت شیمیایی مستقیم: شکست حرارتی اتوکسید سدیم
۷۰	۲-۶-۲- باز کردن نانولوله‌ها
۷۳	۲-۷-۲- فرایند رسوب بخار شیمیایی حرارتی
۷۴	۲-۷-۱- رسوب‌دهی بخار شیمیایی حرارتی
۸۴	۲-۷-۲- رسوب‌دهی شیمیایی بخار به کمک پلاسما
۸۶	۲-۲- رشد هم‌بافته گرافن روی سطح SiC
۸۹	۲-۳- مکانیسم رشد گرافن
۹۸	۲-۴- خلاصه
۹۹	۲-۵- چشم‌اندازهای آتی
۱۰۰	۲-۶- منابع و مراجع
۱۰۷	فصل سوم: انتقال کوانتومی در ابررساناها مواد با پایه گرافنی
۱۰۷	چکیده
۱۰۷	۳-۱- مقدمه
۱۰۹	۳-۲- اثرات شبه اسپینی و جایگزیدگی در گرافن بین‌م
۱۱۸	۳-۳- ترانزیستورها با اثر میدان بر پایه گرافن: مقوله‌های کلیدی
۱۱۸	۳-۱-۳- خواص الکتروستاتیکی نانونوارهای گرافن
۱۲۱	۳-۲-۳- مدل انتقال نانونوار گرافن
۱۲۴	۳-۳-۳- ارزیابی مدل
۱۲۹	۳-۴- بهبود عملکرد دستگاه: مهندسی قابلیت جابه‌جایی شکاف
۱۳۳	۳-۶- منابع و مراجع
۱۳۹	فصل چهارم: کاربردهای فوتونیک و الکترونیک برای ابزارهای ...
۱۳۹	چکیده
۱۳۹	۴-۱- مقدمه
۱۴۲	۴-۲- ابزارهای الکترونی با پایه گرافن

۱۴۲.....	۱-۲-۴- مهندسی (ایجاد) شکاف نواری در گرافن.....
۱۴۵.....	۲-۲-۴- مدل سازی تحلیلی SG-FET.....
۱۴۸.....	۳-۲-۴- جدیدترین فناوری مربوط G-FET ها.....
۱۵۱.....	۴-۲-۴- ترانزیستورهای اثر میدان بر پایه گرافن بر سیلیکون.....
۱۵۱.....	۱-۴-۲-۴- فن آوری رشد برآراستی (اپی تکسی) گرافن بر سیلیکون.....
۱۵۳.....	۲-۴-۲-۴- گیت پشت GOS-FETs.....
۱۵۸.....	۳-۴-۲-۴- GOS-FET های با گیت بالا.....
۱۶۰.....	۵-۲-۴- مسائل مربوط فن آوری به فرایند و قطعات G-FET.....
۱۶۰.....	۱-۸-۲-۴- گیت عایق پشتی.....
۱۶۲.....	۲-۵-۲-۴- اتصال اهمی چشمه / درین.....
۱۶۳.....	۱-۵-۲-۴- نسبت وصل / قطع.....
۱۶۳.....	۴-۵-۲-۴- رریقه امل و عملکرد تک قطبی.....
۱۶۴.....	۳-۴-۳-۴- قطعات فتونیک مبتنی بر گرافن.....
۱۶۴.....	۱-۳-۴- آرامش حامل ها در ترکیب در گرافن با پمپ نوری.....
۱۶۶.....	۲-۳-۴- وارونی جمعیت و ادایس نفی در گرافن با پمپ نوری.....
۱۶۶.....	۱-۲-۳-۴- دمای پایین الکترون.....
۱۶۹.....	۲-۲-۳-۴- دمای الکترونی بالا.....
۱۷۲.....	۳-۳-۴- مشاهده گسیل THz تقویت شده القای گرافن با پمپ نوری.....
۱۷۷.....	۴-۴- نتیجه گیری.....
۱۷۸.....	۵-۴- منابع و مراجع.....
۱۸۷.....	فصل پنجم: لایه های نازک گرافن برای شکل های الکترونیکی غیر معمول..
۱۸۷.....	چکیده.....
۱۸۷.....	۱-۵- مقدمه.....
۱۸۹.....	۲-۵- تولید انبوه فیلم های نازک گرافن.....
۱۸۹.....	۱-۲-۵- ساخت و تولید گرافن در مقیاس بالا.....
۱۹۴.....	۲-۲-۵- روش های انتقال گرافن در مقیاس و سطح وسیع.....

۱۹۸	۳-۵- ترانزیستورهای اثر میدانی.....
۲۰۰	۱-۳-۵- ترانزیستور RF.....
۲۰۵	۲-۳-۵- ترانزیستور انعطاف‌پذیر بر پایه گرافن.....
۲۱۰	۴-۵- الکترودهای شفاف.....
۲۱۳	۱-۴-۵- صفحه‌های لمسی.....
۲۱۷	۲-۴-۵- الکترودهای مورد مصرف برای دستگاه‌های آلی.....
۲۲۴	۵-۵- فیل‌های سد گاز بر پایه گرافن.....
۲۲۸	۶-۵- نتایج.....
۲۲۸	۷-۵- منابع و مراجع.....
۲۳۹	فصل ششم: گرافن در مقیاس نانو: تولید شیمیایی و کاربرد آن ...
۲۳۹	چکیده.....
۲۳۹	۱-۶- مقدمه.....
۲۴۱	۲-۶- ساخت شیمیایی گرافن‌های نوسای.....
۲۴۱	۱-۲-۶- آسن خطی.....
۲۴۲	۱-۱-۲-۶- پنتاسن و مشتقات آن.....
۲۴۳	۲-۱-۲-۶- هگزاسن، هپتاسن و مشتقات آن.....
۲۴۷	۳-۱-۲-۶- اکتاسن و نوناسن.....
۲۴۹	۲-۲-۶- فین و استافین.....
۲۵۱	۳-۲-۶- نانو گرافن‌های متراکم با لبه‌های زیگزاگ.....
۲۵۱	۱-۳-۲-۶- ریلن و مشتقات آن.....
۲۵۷	۲-۳-۲-۶- زترین و مشتقات آن.....
۲۶۰	۳-۳-۲-۶- بیسانتن و ترانسن.....
۲۶۴	۴-۳-۲-۶- پری‌تراسن و پری‌پنتاسن.....
۲۶۷	۵-۳-۲-۶- شبه آسن‌ها.....
۲۷۱	۴-۲-۶- نانوگرافن‌های با لبه‌ی آرمچیری و ویژگی تمام بنزن مانند.....
۲۷۴	۳-۶- کاربردهای مواد.....

۲۷۴.....	۱-۳-۶- رنگ‌های آلی.....
۲۷۵.....	۱-۳-۶- رنگ‌های NIR.....
۲۷۷.....	۲-۳-۶- تصویرسازی زیستی.....
۲۷۹.....	۲-۳-۶- مواد انتقال‌دهنده بار.....
۲۷۹.....	۱-۲-۳-۶- کنترل فاز کریستال مایع (LC).....
۲۸۰.....	۲-۲-۳-۶- ترانزیستورهای اثر میدانی.....
۲۸۳.....	۳-۳-۶- سلول‌های خورشیدی آلی.....
۲۸۳.....	۱-۳-۳-۶- سلول‌های خورشیدی بالک- هرتر و جانکشن (BHJ).....
۲۸۶.....	۲-۳-۳-۶- سلول خورشیدی حساس به رنگ (DSSC).....
۲۸۸.....	۴-۶- نتیجه‌گیری.....
۲۹۱.....	۵-۶- منابع و مراجع.....
۳۰۱.....	فصل هفتم: کامپوزیت‌های ماتریس فلزی و سرامیکی تقویت‌شده... ..
۳۰۱.....	چکیده.....
۳۰۱.....	۱-۷- مقدمه.....
۳۱۶.....	۲-۷- ترکیبات سرامیک-گرافن.....
۳۱۷.....	۱-۲-۷- روش‌های فراآوری.....
۳۱۷.....	۱-۱-۲-۷- کاهش GO (اکسید گرافن) با گرافن پس از.....
۳۲۳.....	۲-۱-۲-۷- مخلوط شیمیایی گرافن با سرامیک.....
۳۲۶.....	۳-۱-۲-۷- مخلوط کردن مکانیکی گرافن با سرامیک.....
۳۲۸.....	۴-۱-۲-۷- ترسیب (رسوب‌گیری) الکتروفورتیک.....
۳۲۸.....	۵-۱-۲-۷- رشد بخار سرامیکی از گرافن در سرامیک.....
۳۳۰.....	۶-۱-۲-۷- تفکات (تغییر شیمیایی در اثر حرارت) تزریق ماو.....
۳۳۰.....	۲-۲-۷- مشخصات و کاربردهای ترکیبات سرامیک-گرافن.....
۳۳۱.....	۱-۲-۲-۷- رسانایی الکتریکی.....
۳۳۲.....	۲-۲-۲-۷- ابرخازن‌ها.....
۳۳۳.....	۳-۲-۲-۷- امیتر (نشرکننده)های میدانی.....

۳۳۴.....	۲-۲-۴- قطب مثبت (آند) باتری Li-Ion
۳۳۶.....	۲-۲-۵- فعالیت فتوکاتالیتیک
۳۳۷.....	۲-۲-۶- سایر کاربردها
۳۳۸.....	۳- ترکیب فلز- گرافن
۳۳۸.....	۳-۱- روش‌های فراوری
۳۳۹.....	۳-۱-۱- کاهش اکسید گرافن (GO) به گرافن پس از ...
۳۴۰.....	۳-۱-۲- مخلوط شیمیایی گرافن با فلزات
۳۴۱.....	۳-۱-۳- مخلوط مکانیکی گرافن با فلزات
۳۴۱.....	۳-۱-۴- ترسیب الکتریکی
۳۴۲.....	۳-۳-۴- خواص و کاربردهای ترکیبات فلز- گرافن
۳۴۲.....	۳-۲-۱- آند برای Li-Ion
۳۴۲.....	۳-۲-۲- ابرخازن
۳۴۳.....	۳-۲-۳- پیل سوختی الکترولیت و متانول
۳۴۴.....	۳-۲-۴- حسگرهای زیست و حسگرهای نمایی محیطی
۳۴۵.....	۴-۷- تأثیرات تقویت گرافن بر خواص مکانیکی
۳۴۷.....	۵-۷- مقایسه گرافن و نانولوله‌های کربن به‌عنوان تقویت‌کننده برای ترکیبات
۳۵۰.....	۶-۷- ساخت ترکیب فلز/سرامیک گرافن در اندازه بزرگ برای ...
۳۵۳.....	۷-۷- خلاصه
۳۵۴.....	۸-۷- منابع و مراجع
۳۶۳.....	فصل هشتم: حسگرهای زیستی و گازی پایه گرافنی
۳۶۳.....	چکیده
۳۶۳.....	۸-۱- مقدمه
۳۶۶.....	۸-۲- الکتروشیمی در گرافن
۳۶۸.....	۸-۳- الکتروشیمی مستقیم آنزیم‌ها در سطح گرافن
۳۷۰.....	۸-۴- حسگرهای زیستی الکتروشیمیایی آنزیمی بر پایه گرافن
۳۷۲.....	۸-۵- حسگرهای زیستی الکتروشیمیایی بر پایه گرافن

۳۷۸.....	۶-۸- حسگرهای زیستی DNA مبتنی بر گرافن.....
۳۸۲.....	۷-۸- گرافن مبتنی بر حسگرهای الکتروشیمیایی برای آشکارسازی
۳۸۳.....	۸-۸- حسگرهای گازی مبتنی بر گرافن.....
۳۹۳.....	۹-۸- گرافن عاملی برای حسگرهای گازی.....
۳۹۸.....	۱۰-۸- نتایج.....
۳۹۹.....	۱۰-۸- منابع و مراجع.....
۴۱۳.....	فصل نهم: نشر میدانی و گرافن: مروری بر وضعیت جاری
۴۱۳.....	چکیده.....
۴۱۳.....	۹- مقدمه.....
۴۱۵.....	۱-۱-۱- بازاریابی نشر میدانی.....
۴۲۰.....	۲-۹- مواد استفاده شده به عنوان نشرکننده های میدانی: در گذشته و حال.....
۴۲۲.....	۳-۹- ساختارهای نشری و نشر بر گرافن در وسایل نشر میدانی.....
۴۲۸.....	۱-۳-۹- نشرکننده های مبتنی بر گرافن: رویکردهای تجربی.....
۴۴۲.....	۲-۳-۹- نشریه های میدانی مبتنی بر گرافن: مطالعات نظری.....
۴۴۴.....	۳-۹- منابع و مراجع.....
۴۵۳.....	فصل دهم: گرافن و مواد مبتنی بر گرافن در سلول خورشیدی.....
۴۵۳.....	چکیده.....
۴۵۳.....	۱۰-۱- مقدمه.....
۴۵۶.....	۲-۱۰- کاربردهای سلول خورشیدی: چرا گرافن؟.....
۴۶۰.....	۳-۱۰- ساختارهای مبتنی بر گرافن در کاربردهای سلول خورشیدی.....
۴۶۱.....	۱-۳-۱۰- مواد مبتنی بر گرافن به عنوان الکترودهای رسانای شفاف در
۴۶۶.....	۲-۳-۱۰- مواد مبتنی بر گرافن به عنوان الکترود در سلول های
۴۷۲.....	۳-۳-۱۰- مواد مبتنی بر گرافن به عنوان الکترود در سلول های
۴۷۷.....	۴-۳-۱۰- مواد مبتنی بر گرافن به عنوان الکترود در دیگر
۴۸۰.....	۴-۱۰- خلاصه.....
۴۸۱.....	۵-۱۰- منابع و مراجع.....

پیشگفتار مولف

این کتاب با هدف ارائه یک نمای کلی از پیشرفت‌های پژوهشی اخیر در مورد گرافن در زمینه ترکیب، خواص و کاربردهای آن مانند الکترونیک، انتقال حرارت، نشر میدانی، حسگر، کامپوزیت‌ها و انرژی تألیف شده است. پژوهشگرانی از بخش‌های مختلف همچون فیزیک، شیمی، مواد و مهندسی برق، فصل‌های مشترکی را بر مبنای مهارت پژوهشی در این زمینه‌ها آماده کرده‌اند. اگرچه گرافن به واسطه خواص بسیار خوب الکتریکی، اپتیکی و مکانیکی سبب ایجاد پژوهش‌های فراوانی در سال‌های اخیر شده است، اما بسیاری از کاربردهای آن هنوز در آغاز راه است؛ بنابراین، زمان مناسبی برای تألیف کتابی است که بررسی جامعی از نگاه حال حاضر گرافن، به‌ویژه با تمرکز بر ترکیبات و کاربردهای آینده آن ارائه کند.

گرافن، یک تک لایه از اتم‌های کربن با پهنای 0.35 nm در یک شبکه لانه‌زنبوری با واسطه خواصی همچون چگالی بالا، انتقال بالستیک¹، شکوایی²، هدایت حرارتی بالا، رسانندگی اپتیکی و آب‌گریزی فوق‌العاده در مقیاس نانومتر حکم کرده و به رشدی را در پژوهش‌های ۶، ۷ سال اخیر ایجاد کرده است. به نظر می‌رسد که گرافن، ماده‌ای خارق‌العاده در قرن بیست و یکم باشد. اولین رخداد توسط آندره گایم⁴ همکاری‌اش در ارتباط با به‌کارگیری روشی ساده به نام شکاف میکرومکانیکی برای استخراج گرافن،

1- Graphene

2- Field Emission

3- Ballistic Transport

4- A. K.Geim

توجهات جهانی را به خود جلب کرده و در سال ۲۰۱۰ موجب کسب جایزه نوبل فیزیک شد. اگرچه گرافن قبل از آن زمان نیز شناخته شده بود اما تحقیق گایم و همکارانش در سال ۲۰۰۴م. علاقه شدیدی را در این زمینه ایجاد کرد.

از یک سو، گرافن از آلوتروپ خودش یعنی نانولوله‌های کربنی (CNTs)، جذاب‌تر است چرا که از نظر ساخت و کاربرد، شکل دوبعدی گرافن خیلی بهتر از نانولوله‌های یک‌بعدی است و با به کارگیری قابلیت تحرک پذیری بسیار بالای آن ($200,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$) در دمای محیط در مقایسه با $1400 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ برای سیلیکون و $8500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ برای آرسنیت گالیم) می‌توان ترانزیستور مستقل فرکانس بالایی با فرکانس برشی، به بزرگی 300 GHz طراحی کرد. از طرف دیگر، با ظرفیت فعلی (10^4 A/cm^2) و مقاومت پایین گرافن (10^{-4} cm ، $10^{-4} \mu\Omega$ در مس) می‌توان از مشکلات مهاجرت الکتریکی^۱ در اتصالات جلوگیری کرد. منفه گرمایی گرافن، با توجه به هدایت گرمایی بالای آن (5 kW/mK ، 10 برابر مس و آلومینیوم) بسیار امیدوارکننده است. همچنین می‌تواند نامزد سرسختی برای جانشینی ITO به عنوان یک الکترود شفاف باشد (با توجه به ذخایر اندک پوسته زمین از ایندیم یک ضرورت به حساب می‌آید). گرافن می‌تواند بیش از 90 درصد شفافیت و 30 Ohm/sq ضریب مقاومت^۲ منفه داشته باشد که آن را برای کاربردهای الکترود شفاف مناسب می‌سازد. گرافن نرخ سست^۳ و خورد مکانیکی به وزن خارق‌العاده‌ای دارد که بیشتر از هر ماده شناخته‌شده‌ی دیگری است. همچنین دارای بالاترین نرخ سطح به حجم است که از هر دو طرف سطح مورد استفاده فرار می‌گیرد؛ بنابراین حس‌گرهای شیمیایی دارای پایه گرافنی می‌توانند برای شناسایی مواد منفجره در چمدان و ترکیبات آلی فرار با تبدیل واکنش‌های شیمیایی به سیگنال‌های الکتریکی استفاده شوند. همچنین گرافن می‌تواند فناوری‌های باتری را با تغییر اساسی روبه‌رو کند، جایی که می‌تواند به عنوان یک غشا فوق رسانا بین قطب‌های باتری استفاده شود و در نتیجه این باتری می‌تواند انرژی فراوانی را برای مدت زمان کوتاهی ایجاد کند.