



سنتز، خواص مکانیکی و کاربردهای نانولوله های کربنی

انوشیروان فرشیدیان فر (دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد)

حمید دلیر (دانشجوی دکترا بخش نانوی دانشگاه توکیو)

سارا شایان امین (دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه توکیو)

سرشناسه:	فرشیدیان فر، انوشیروان، ۱۳۲۴ -
عنوان و نام پدیدآور:	سنتز، خواص مکانیکی و کاربردهای نانولوله‌های کربنی / تدوین و گردآوری انوشیروان فرشیدیان فر، حمید دلیر، سارا شایان.
مشخصات نشر:	مشهد: دانشگاه فردوسی (مشهد)، ۱۳۸۷.
مشخصات ظاهری:	۱۴۰ ص. مصور.
فروست:	(دانشگاه فردوسی مشهد؛ شماره ۵۱۳).
شابک:	(ISBN: 978-964-386-179-7).
وضعیت فهرست نویسی:	فیا.
یادداشت:	کتابنامه: ص. ۱۳۱.
یادداشت:	واژه‌نامه.
موضوع:	نانولوله‌های کربنی.
موضوع:	مواد نانو ساختار.
شناسه افزوده:	دلیر، حمید.
شناسه افزوده:	شایان، دلیر.
شناسه افزوده:	دانشگاه فردوسی مشهد
رده بندی کنگره:	TA۴۱۸/۹/ن۲ ق ۴۱۳۸۷
رده بندی دیویی:	۶۲۰/۵
شماره کتابخانه ملی:	۱۲۳۵۰۰۸



دانشگاه گیلان

انتشارات، شماره ۵۱۳

سنتز، خواص مکانیکی و کاربردهای نانولوله‌های کربنی

تدوین و گردآوری

دکتر انوشیروان فرشیدیان فر - مهندس حمید دلیر - مهندس سارا شایان

ویراستار علمی

دکتر علی احمدپور - دکتر سید مجتبی زبرجد

وزیری، ۱۴۰ صفحه، ۱۰۰۰ نسخه، چاپ اول، تابستان ۱۳۸۷

امور فنی و چاپ: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

بها: ۱۰۰۰۰ ریال

فهرست مطالب

۸	پیشگفتار
۱۱	فصل اول : آشنایی با نانولوله های کربنی
۱۱	۱-۱ فلورین
۱۱	۱-۲ نانولوله های کربنی
۱۳	۱-۲-۱ ساختار و عیوب نانولوله های کربنی
۱۵	۱-۲-۲ نانولوله های کربنی تک دیواره و چند دیواره
۲۱	۱-۲-۳ نواحی بریلوین و تقارن نانولوله های کربنی
۲۴	۱-۲-۴ تعیین ساختار اتمی نانولوله های کربنی توسط روشهای آزمایشگاهی
۲۹	۱-۲-۵ تقارن نانولوله های کربنی تک دیواره
۳۰	۱-۲-۵-۱ عملگرهای تقارن
۳۵	۱-۲-۵-۲ اعداد کوانتومی بر پایه تقارن
۴۰	۱-۲-۵-۳ نمایشهای ساده نشدنی
۴۴	۱-۲-۵-۴ عملگرهای تصویر
۵۰	۱-۲-۵-۵ تقارنهای فونون در نانولوله های کربنی
۵۴	۱-۲-۶ خواص خاص نانولوله های کربنی
۵۴	۱-۲-۶-۱ واکنش پذیری شیمیایی
۵۵	۱-۲-۶-۲ هدایت الکتریکی
۵۵	۱-۲-۶-۳ فعالیت های نوری
۵۵	۱-۲-۶-۴ استحکام مکانیکی
۵۶	۱-۳ نتیجه گیری
۵۷	فصل دوم : سنتز نانولوله های کربنی
۵۷	۲-۱ مقدمه
۵۸	۲-۲ ساز و کار رشد
۵۹	۲-۳ روش تخلیه قوس الکتریکی
۶۰	۲-۳-۱ سنتز نانولوله های تک دیواره

۶۱	۲-۳-۱-۱ گاز ساکن
۶۱	۲-۳-۱-۲ کنترل پلاسمای نوری
۶۲	۲-۳-۱-۳ کاتالیزور
۶۲	۲-۳-۱-۴ بهبود مقاومت اکسیداسیون
۶۳	۲-۳-۱-۵ سنتز فضای باز توسط مشعل قوس الکتریکی جوش دهنده
۶۴	۲-۳-۲ سنتز نانولوله های چند دیواره
۶۵	۲-۳-۲-۱ سنتز در نیتروژن مایع
۶۵	۲-۳-۲-۲ سنتز در میدان مغناطیسی
۶۶	۲-۳-۲-۳ روش تخلیه قوس الکتریکی پلاسمای دوار
۶۷	۲-۴ روش تابش لیزر
۶۸	۲-۴-۱ نانولوله های کربنی تک دیواره در مقایسه با نانولوله های کربنی چند دیواره
۷۰	۲-۴-۲ تولید انبوه نانولوله های کربنی تک دیواره
۷۱	۲-۴-۳ پالس های فوق العاده سریع از یک لیزر الکترون آزاد
۷۲	۲-۴-۴ موج پیوسته لیزر - پودر
۷۲	۲-۵ روش رسوب بخار شیمیایی
۷۳	۲-۵-۱ رسوب دهی بخار شیمیایی در محیط پلازما
۷۵	۲-۵-۲ رسوب دهی بخار شیمیایی حرارتی
۷۶	۲-۵-۳ رسوب دهی بخار شیمیایی با استفاده از الکل بعنوان کاتالیزور ((ACCVD
۷۶	۲-۵-۴ رسوب دهی بخار شیمیایی با رشد در فاز بخار
۷۷	۲-۵-۵ رسوب دهی بخار شیمیایی حمایت شده با آبروژلی
۷۸	۲-۵-۶ رسوب دهی بخار شیمیایی به کمک لیزر
۷۹	۲-۶ سنتز شعله ای

فصل سوم : تخلص ۸۱

۸۱	۳-۱ مقدمه
۸۲	۳-۲ روشها
۸۲	۳-۲-۱ اکسیداسیون
۸۳	۳-۲-۲ اسید شویی
۸۳	۳-۲-۳ آنیل کاری

۸۴	۴-۲-۳ ماورا صوت
۸۴	۴-۲-۵ میکرو فیلتراسیون
۸۵	۴-۲-۶ برش
۸۶	۴-۲-۷ عامل دار کردن
۸۶	۴-۳-۸ کروماتوگرافی
۸۷	۳-۳ نتیجه گیری

فصل چهارم: خواص مکانیکی نانولوله های کربنی

۸۹	۴-۱ مقدمه
۹۰	۴-۲ مدل های مکانیکی پیوسته نانولوله های کربنی
۹۶	۴-۲-۱ محاسبات پایه، پیوند مستحکم و ضرایب نیرو
۹۹	۴-۳ ارتباط فرکانس های فونون و فشار
۱۰۶	۴-۴ کنترل مایکرو مکانیکی
۱۰۹	۴-۵ نتیجه گیری

فصل پنجم: کاربردهای بالقوه نانولوله های کربنی

۱۱۱	۵-۱ ذخیره انرژی
۱۱۱	۵-۱-۱ ذخیره هیدروژن
۱۱۲	۵-۱-۲ ذخیره الکترو شیمیایی لیتیم
۱۱۲	۵-۱-۳ خازن های الکترو شیمیایی
۱۱۳	۵-۲ الکترونیک مولکولی با نانولوله های کربنی
۱۱۳	۵-۲-۱ ابزار های منتشر کننده میدان
۱۱۴	۵-۲-۲ ترانزیستورها
۱۱۴	۵-۳ نانو جستجوگر ها و نانو حسگر ها
۱۱۷	۵-۳-۱ آماده سازی کارتریج نانولوله
۱۱۸	۵-۳-۲ کنترل نانولوله ها با استفاده از SEM
۱۲۰	۵-۳-۳ ساخت جستجوگر های نانولوله
۱۲۱	۵-۳-۴ خواص جستجوگر های نانولوله
۱۲۱	۵-۳-۴-۱ سختی جستجوگر های نانولوله

پیشگفتار ۵

۱۲۲ ۵-۳-۵ تصویربرداری به کمک جستجوگرهای نانولوله

۱۲۳ ۵-۳-۶ تابش لیزر نانولوله ها

۱۲۴ ۵-۳-۷ تیز کردن جستجوگرهای نانولوله

۱۲۷ ۵-۳-۸ نیروی لغزشی مورد نیاز برای بیرون کشیدن لایه داخلی

۱۲۹ ۵-۴ مواد مرکب

۱۳۰ ۵-۵ قالبها

۱۳۱ فهرست منابع و مآخذ

۱۳۵ واژگان

پیشگفتار

از زمان کشف نانولوله های کربنی^۱ توسط سومیو ایجیما Iijima در مؤسسه NEC در سال ۱۹۹۱ میلادی محققان توجه خاصی به این ترکیبات جدید کربن داشته اند که عمدتاً مربوط به یافتن خصوصیات آنها و همچنین کاربردهای بالقوه آنها در آینده بوده است. جالب ترین خصوصیات این ترکیبات جدید مربوط به ویژگیهای الکترونیکی، مکانیکی، نوری و شیمیایی آنها می باشد که افقهای جدیدی را به سوی کاربردهای آینده آنها می گشاید چنان که برای مصارف تجاری، نیازمند تولید مقادیر انبوه نانولوله های تخلیص شده می باشیم.

انواع مختلف نانولوله های کربنی را به شیوه های مختلفی می توان تولید نمود. مهم ترین روشهایی که در حال حاضر از آنها استفاده می شود، شامل روشهای تخلیه قوس^۲، تابش لیزر^۳، رسوب دهی بخار شیمیایی^۴ و سنتز شعله ای^۵ می باشد. تخلیص این لوله ها را می توان توسط شیوه های متعددی همچون: اکسیداسیون^۶، استفاده از اسید^۷، آنیل کاری^۸، فیلتر کردن^۹ و... انجام داد. تولید مقادیر انبوه نانولوله های تخلیص شده که دارای صرفه اقتصادی باشند، نیازمند بررسی های بیشتر می باشد.

تحقیقات انجام شده بر روی نانولوله ها نشان می دهد که می توان از آنها در زمینه های ذخیره انرژی، الکترونیک مولکولی^{۱۰}، ابزارهای نانومکانیکی^{۱۱} و مواد مرکب^{۱۲} استفاده نمود. از جمله

-
- 1- Carbon nanotubes
 - 2- Arc discharge method
 - 3- Laser ablation method
 - 4- Chemical vapor deposition
 - 5- Flame synthesis
 - 6- Oxidation
 - 7- Acid treatment
 - 8- Annealing
 - 9- Filtering
 - 10- Energy storage
 - 11- Molecular electronics
 - 12- Nano-mechanic devices
 - 13- Composite materials

علاقه‌های محققان در این زمینه یافتن کاربردهای بیشتر برای این مواد می‌باشد.

در این کتاب ابتدا در مورد ساختار هندسی و عیوب محتمل نانولوله‌ها و ساختمان نواحی بریلوین آنها در مقایسه با گرافیت بحث نموده و سپس مروری بر شیوه‌های تجربی جهت تعیین ساختار اتمی نانولوله‌های کربنی خواهیم داشت. در ادامه خواص تقارن نانولوله‌ها را نشان داده و چگونگی به دست آوردن ساختار کامل نانولوله با پیچندگی^۱ دلخواه را از روی یک اتم کربن منفرد با اعمال عملیات تقارن توضیح می‌دهیم. به علاوه، مقدمه‌ای بر تئوری گروه خطوط^۲ نانولوله‌های کربنی، اعداد کوانتومی، نمایشهای ساده نشدنی^۳ و نمادگذاری آنها را ارائه خواهیم داد. در ادامه چگونگی استفاده از روشهای گرافیکی مربوط به تصویرگرهای گروهی^۴ را جهت استخراج مدهای نرمالیزه شده با تکیه بر خواص تقارن نشان می‌دهیم و تقارنهای فونون^۵ را در نانولوله‌ها توضیح خواهیم داد. سپس در مورد ویژگیهای مکانیکی و به خصوص سنتز و تخلیص، کاربردهای بالقوه آنها نظیر ذخیره انرژی، الکترونیک ملکولی، نانوجستجوگرها و ... بحث خواهیم نمود. از آنجا که نانولوله‌های کربنی را همچنین می‌توان به عنوان انتشار دهنده‌های خوب میدان^۶ و ترانزیستورهای تک مولکولی^۷ به کار برد، مشخصات این وسایل نیز به اختصار توضیح داده خواهد شد.

در تالیف و گردآوری مطالب کتاب از منابع و مراجع جدیدی استفاده شده که در انتهای کتاب آورده شده است. با توجه به جدید بودن این علم، کتاب حاضر می‌تواند مرجع اولیه‌ای برای دانشجویان رشته‌های مکانیک، نانومکانیک، فیزیک، شیمی، مواد و متالورژی و سایر شاخه‌های مهندسی باشد.

به جاست که از همه دست اندرکاران تهیه این کتاب در خود کتاب تشکر نمایم. لذا از همکاران محترم معاونت پژوهشی دانشگاه و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد که کار چاپ و نشر را به عهده داشته‌اند، از آقایان دکتر علی احمدپور و دکتر سید مجتبی زبرجد که با دقت فراوان

-
- 1- Brillouin zone
 - 2- Chirality
 - 3- Line groups
 - 4- Irreducible representations
 - 5- Group projectors
 - 6- Phonon symmetries
 - 7- Good field emitters
 - 8- Single molecule transistors

زحمت ویرایش علمی کتاب را متقبل شده‌اند و آقای حجت قربانپور که ویراستاری ادبی کتاب را انجام داده‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در پایان از کلیه صاحب نظران و خوانندگان گرامی تقاضا دارد، غلط‌هایی را که علی‌رغم کوشش فراوان باز هم ممکن است در کتاب یافت شوند متذکر شوند تا انشاء الله در چاپهای بعدی تصحیح شود.

انوشیروان فرشیدیان فر
دانشیار دانشکده مهندسی
دانشگاه فردوسی مشهد
بهار ۱۳۸۷

حمید دلیر و سارا شایان
دانشگاه توکیو