

با تاکید بر نانولوله‌های کربنی و کاربردهای صنعتی

- دکتور صدیقہ صادق حسینی (غزوہ بینا) علمی پژوهشگاہ صنعت نفت)

- دکترو مريم دارايي (دکتري مهندسي شيمي)





1991

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲۳	پیش‌گفتار نویسنده
۲۵	پیش‌گفتار داورین
۲۷	فصل اول: کربن و آلوتروپ‌های آن
۲۹	۱- کربن و آلوتروپ‌های آن
۳۰	۱-۱- شیمی کربن
۳۳	۱-۲- آلوتروپ‌های کربن
۳۴	۱-۲-۱- کربن فعال
۳۷	۱-۲-۱-۱- طبقه‌بندی کربن فعال
۳۸	۱-۲-۱-۲- غربال مولکولی کربنی
۴۰	۱-۲-۱-۳- فولرن
۴۶	۱-۲-۱-۴- نانویاف کربنی
۵۳	۱-۲-۱-۵- کربن آمورف
۵۳	۱-۲-۱-۶- کربن متخلخل
۵۴	۱-۲-۱-۶-۱- ساختار کربن‌های متخلخل
۵۴	۱-۲-۱-۷- کربن سیاه
۵۷	۱-۲-۱-۸- الماس
۶۲	۱-۲-۱-۹- نانویاف الماس
۶۴	۱-۲-۱-۱۰- نانویاف کربنی
۶۷	۱-۲-۱-۱۱- گرافن
۷۱	۱-۲-۱-۱۱-۱- گرافان
۷۱	۱-۲-۱-۱۲- گرافیت

صفحه	عنوان
۷۴	۱-۱۲-۳-۱- گرافیت پیرولیتی با جهت‌دهی بالا
۷۶	۱-۱۲-۲-۲- ساختار ترکیبات بین لایه‌ای گرافیت
۷۸	۱-۱۲-۳-۳- تهیه ترکیبات بین لایه‌ای گرافیت
۸۲	۱-۱۳-۲-۱- نانومخروط‌های کربنی
۸۴	۱-۱۴-۲-۱- نانوشیپوره
۸۶	۱-۱۵-۲-۱- نانومتوازی‌السطوح‌های کربنی
۸۷	۱-۱۶-۲-۱- کک
۸۸	۱-۱۶-۲-۱- انواع کک نفتی
۹۰	۱-۱۷-۲-۱- کربن پیرولیتی (پیروکربن)
۹۳	۱-۱۸-۲-۱- کربن مایع
۹۳	۱-۱۹-۲-۱- کربن شعله‌ای
۹۵	۱-۲۰-۲-۱- باکی تیوب مشقات
۹۶	۱-۲۱-۲-۱- نقاط کوانتومی کربنی
۹۹	۱-۲۱-۲-۱- کنترل اندازه نقاط کوانتومی کربنی
۱۰۰	۱-۲۲-۲-۱- نانوکپسول‌ها
۱۰۱	۱-۲۲-۲-۱- نانوکپسول‌های طبیعی و مصنوعی
۱۰۱	۱-۲۲-۲-۱- نانوکپسول‌های کربنی
۱۰۲	۱-۲۳-۲-۱- گرافین
۱۰۴	۱-۲۴-۲-۱- کاربین
۱۰۴	۱-۲۵-۲-۱- گرافیدین
۱۰۴	۱-۲۶-۲-۱- میکرودرخت‌های کربنی
۱۰۵	۱-۲۷-۲-۱- میکروساختارهای کره‌های کربنی مخروطی
۱۰۶	۱-۲۸-۲-۱- نانولوله کربنی
۱۰۷	۱-۲۸-۲-۱- ساختار مختلف نانولوله کربن
۱۰۷	۱-۲۸-۲-۱- ساختار زیگزاگ
۱۰۸	۱-۲۸-۲-۱- ساختار صندلی‌مانند
۱۰۸	۱-۲۸-۲-۱- ساختار نامتقارن
۱۰۸	۱-۲۸-۲-۱- انواع نانولوله کربنی

صفحه	عنوان
۱۰۹	۱-۲-۲۸-۱- نانولوله کربنی تک دیواره
۱۰۹	۱-۲-۲۸-۲- نانولوله کربنی دودیواره
۱۰۹	۱-۲-۲۸-۳- نانولوله کربنی چنددیواره
۱۱۰	۱-۲-۲۸-۳- بردار کاپرال
۱۱۲	۱-۲-۲۸-۴- نانولوله فلزی و نیمه هادی
۱۱۳	۱-۲-۲۸-۵- نانولوله کربنی فتجانی
۱۱۴	۱-۲-۲۸-۶- نانولوله کربنی با اتصال Y شکل
۱۱۵	۱-۲-۲۸-۷- نانولوله کربنی ماریچی
۱۱۶	۱-۲-۲۸-۸- نیمه های کربنی
۱۱۷	۱-۲-۲۹- نقص های موجود در نانولوله کربنی
۱۱۹	۱-۲-۲۹- نقص ساختاری در نانولوله کربنی
۱۱۹	۱-۲-۲۹- نقص ناشی از برخورد پیوند
۱۱۹	۱-۲-۲۹-۳- نقص ناشی از حضور عامل دیتکت کننده
۱۲۰	۱-۲-۲۹-۴- نقص ناشی از کربن های غیر sp^2
۱۲۰	۱-۲-۳۰- خواص نانولوله های کربنی
۱۲۱	۱-۲-۳۰-۱- خواص مکانیکی
۱۲۳	۱-۲-۳۰-۲- خواص الکتریکی
۱۲۵	۱-۲-۳۰-۲- خواص نوری
۱۲۷	۱-۲-۳۰-۴- خواص گرمایی
۱۲۹	۱-۲-۳۰-۵- خواص شیمیایی
۱۲۹	۱-۲-۳۰-۶- خواص مغناطیسی
۱۳۰	۱-۳- مراجع فصل اول
۱۴۱	فصل دوم: روش های تولید نانولوله کربنی
۱۴۳	۱-۲- روش های تولید نانولوله های کربنی
۱۴۴	۱-۱-۲- تخلیه قوس الکتریکی
۱۴۴	۱-۱-۱-۲- تخلیه قوس الکتریکی در محیط گازی
۱۴۶	۱-۱-۱-۲- تخلیه قوس الکتریکی در محیط مایع
۱۴۷	۱-۱-۲- تبخیر لیزری

۱۴۹	۳-۱-۲- انباشت بخار شیمیایی
۱۴۹	۱-۳-۱-۲- رسوبدهی شیمیایی بخار در فاز گاز
۱۵۵	۲-۳-۱-۲- روش رسوبدهی شیمیایی بخار دیواره داغ
۱۵۶	۳-۳-۱-۲- روش رسوبدهی شیمیایی بخار فیلامنت داغ
۱۵۷	۴-۳-۱-۲- روش رسوبدهی شیمیایی بخار به کمک پلاسما
۱۵۸	۵-۳-۱-۲- روش رسوبدهی شیمیایی بخار با کاتالیست شناور
۱۶۱	۴-۱-۲- روش اسپری پیرولیز
۱۶۲	۲-۲- ترکیب های رشد نانولوله های کربنی
۱۶۲	۱-۲-۲- رشد نانولوله های کربنی در روش رسوبدهی شیمیایی بخار گرمایی
۱۶۴	۲-۲-۲- رشد نانولوله های کربنی به روش انباشت بخار هیدروکربنی
۱۶۹	۳-۲- روش های خالص سازی نانولوله های کربنی
۱۶۹	۱-۳-۲- خالص سازی شیمیایی
۱۶۹	۱-۱-۳-۲- اکسیداسیون
۱۷۰	۲-۱-۳-۲- اکسیداسیون شیمیایی
۱۷۰	۳-۱-۳-۲- اکسیداسیون فاز گاز
۱۷۳	۴-۱-۳-۲- اکسیداسیون فاز مایع
۱۷۶	۵-۱-۳-۲- اکسیداسیون الکتروشیمیایی
۱۷۷	۲-۳-۲- خالص سازی فیزیکی
۱۷۷	۱-۲-۳-۲- فیلتراسیون
۱۷۹	۲-۲-۳-۲- سانتریفیوژ
۱۸۰	۳-۲-۳-۲- پخت دما بالا
۱۸۱	۳-۳-۲- ترکیب خالص سازی و جداسازی
۱۸۳	۴-۲- عامل دار کردن نانولوله های کربنی
۱۸۴	۱-۴-۲- عامل دار کردن غیرکوالانسی
۱۸۵	۱-۱-۴-۲- جذب سورفکتانت ها روی نانولوله های کربنی
۱۸۶	۲-۱-۴-۲- پیچش پلیمرها دور نانولوله های کربنی
۱۸۷	۳-۱-۴-۲- عامل دار کردن سطح داخلی نانولوله های کربنی
۱۸۷	۴-۱-۴-۲- عامل دار کردن با ازن

۱۸۷	۲-۴-۱-۵-عامل دار کردن با روش پلاسما
۱۸۸	۲-۴-۲-عامل دار کردن کوالانسی
۱۹۱	۲-۴-۱-۲-واکنش جفت شدن کوالانسی از طریق انتهای اکسید شده نانولوله
۱۹۱	۲-۴-۲-۲-فلوئوردار کردن دیواره خارجی نانولوله های کربنی
۱۹۲	۲-۴-۲-۳-باز کردن انتهای نانولوله ها
۱۹۵	۲-۴-۲-۴-عامل دار کردن نانولوله کربنی به کمک بخار اسید
۱۹۵	۲-۴-۲-۵-دوب کردن نانولوله های کربنی
۱۹۶	۲-۵-آنالیزهای باید. تننده حاصل از عامل دار شدن نانولوله های کربنی
۱۹۹	۲-۶-مراجع فصل دوم
۲۰۷	فصل سوم: شناسایی روش های کربنی
۲۰۹	۳-۱-پراش پرتو ایکس (XRD)
۲۱۳	۳-۲-میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
۲۱۶	۳-۳-میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)
۲۱۸	۳-۴-آنالیز رامان
۲۲۰	۳-۵-آنالیز وزن سنجی حرارتی (TGA)
۲۲۳	۳-۶-میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)
۲۲۶	۳-۷-میکروسکوپ تونل زنی روبشی (STM)
۲۲۸	۳-۸-طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR)
۲۳۱	۳-۹-مراجع فصل سوم
۲۳۵	فصل چهارم: کاربردهای نانولوله های کربنی
۲۳۷	۴-کاربردهای نانولوله کربنی
۲۳۷	۴-۱-پروپ STM
۲۳۸	۴-۲-ذخیره گازها
۲۴۰	۴-۳-جذب
۲۴۱	۴-۴-حسگرها
۲۴۲	۴-۵-کامپوزیت
۲۴۴	۴-۶-صنعت الکترونیک
۲۴۵	۴-۷-تهیه الیاف از نانولوله های کربنی

صفحه	عنوان
۲۴۶	۴-۸- کاربردهای پزشکی
۲۴۶	۴-۸-۱- بافت‌های استخوان
۲۴۶	۴-۹- کاربردهای مکانیکی نانولوله‌های کربنی
۲۴۸	۴-۱۰- ترانزیستورها
۲۴۹	۴-۱۱- پوشش
۲۴۹	۴-۱۲- ذخیره انرژی
۲۵۲	۴-۱۳- دینج نور
۲۵۲	۴-۱۴- حسگرهای شیمیایی
۲۵۳	۴-۲- مراجع فصل چهارم
۲۵۷	فصل پنجم: کاربردهای صنعتی
۲۵۹	۵- کاربردهای صنعتی
۲۵۹	۵-۱- نانوسیالات
۲۶۲	۵-۱-۱- پایداری نانو سیالات
۲۶۲	۵-۱-۱-۱- استفاده از مواد فعال سطحی و پاک‌کننده‌ساز
۲۶۳	۵-۱-۱-۲- ارتعاشات اولتراسونیک
۲۶۳	۵-۱-۱-۳- کنترل اسیدیته (pH) نانو سیالات
۲۶۵	۵-۱-۲- روش‌های ساخت نانوسیال
۲۶۵	۵-۱-۲-۱- روش‌های دوماجره‌ای تولید نانوسیالات
۲۶۶	۵-۱-۲-۲- روش‌های تک مرحله‌ای ساخت نانوسیالات
۲۶۷	۵-۱-۳- عوامل مؤثر در افزایش هدایت حرارتی نانوسیالات
۲۶۸	۵-۱-۳-۱- غلظت
۲۶۸	۵-۱-۳-۲- اندازه ذرات
۲۶۸	۵-۱-۳-۳- شکل ذرات
۲۶۹	۵-۱-۳-۴- دما
۲۶۹	۵-۱-۳-۵- جنس نانوذرات
۲۷۰	۵-۱-۳-۶- اثر سیال پایه
۲۷۱	۵-۱-۳-۷- اثر سطح مشترک
۲۷۸	۵-۲- کاربرد نانوسیالات در گل حفاری

صفحه	عنوان
۲۷۸	۵-۲-۱- بهبود دانسیته گل حفاری
۲۷۹	۵-۲-۲- پایدارسازی دیواره چاه
۲۷۹	۵-۲-۳- کاهش ضخامت کیک گل به منظور جلوگیری از چسبندگی لوله حفاری
۲۸۰	۵-۲-۴- کاهش اثرات مخرب زیست محیطی
۲۸۰	۵-۲-۵- بهبود خاصیت روان کنندگی گل
۲۸۳	۵-۲-۶- توسعه گل برای حفاری های عمیق
۲۸۳	۵-۲-۷- سیالات حفاری جدید برای کاربرد در حفاری دما و فشار بالا (HPHT)
۲۸۴	۵-۲-۸- جلوگیری از تخریب سازندهای رسی
۲۸۵	۵-۳- پوشش ها
۲۹۱	۵-۴- کامپوزیت ها
۲۹۸	۵-۵- باتری ها
۳۰۴	۵-۶- سوزن نانولوله کربنی
۳۱۱	۵-۷- چاذب ها
۳۱۹	۵-۸- کاتالیزست ها
۳۲۷	۵-۹- استفاده در پیل های سوختی
۳۲۹	۵-۱۰- بازار نانولوله های کربنی
۳۳۰	۵-۱۰-۱- مالکیت فکری قابل حمایت در فناوری نانو
۳۳۱	۵-۱۱- مراجع فصل پنجم
۳۴۷	واژه نامه

پیش گفتار مولفین

کربن عنصری غیرفلزی و چهار ظرفیتی با عدد اتمی ۶ در میانه جدول تناوبی است که از نظر الکترونگاتیویته حد واسطه فلزات و غیرفلزات می باشد. به دلیل توانایی ایجاد پیوندهای متنوع با عناصر مختلف، کربن یکی از پرکاربردترین عناصر در جدول تناوبی است. تنوع پیوندهای شکل گرفته و آرایش های فضایی حاصل باعث شده است که کربن بدون هیچ محدودیتی در ساخت مولکول های آلی کوچک یا بزرگ و پیچیده یا ساده مشارکت کند.

ترکیبات کربنی، ربنای حیات در زمین هستند و اهمیت اقتصادی فراوانی دارند. تقریباً ده میلیون ترکیب کربنی وجود دارند که حضور هزاران نوع از آنها در فرآیندهای حیاتی و واکنش های بسیار مهم آلی ضروری است. این دسته از اجزاء اصلی ترکیبات هیدروکربنی و یکی از عناصر اصلی ترکیب کربنات کلسیم و منیزیم و آهن، زغال سنگ، نفت و گازهای طبیعی، به خصوص هیدروکربنات ها است. این ترکیبات در فناوری نانو نیز دارای اهمیت و مشخص را به خود اختصاص می دهند که «نانوساختارهای کربنی» خوانده می شوند.

نانوساختارهای کربنی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی منحصر به فردی نشان می دهند و نقشی گسترده در فناوری های نوین و پیشرفته دارند. به دلیل شباهت خاص اتم های کربن، نانوساختارهای کربنی گستره ای وسیع از تنوع و کاربرد را در سیم، به خود اختصاص داده اند. گرافیت، الماس، فولرن، گرافن و نانولوله های کربنی شکل های مختلف کربن هستند ولی از نظر ساختار و خصوصیات، بسیار متفاوت می باشند.

نانولوله های کربنی یکی از نانوساختارهای کربنی پر کاربرد هستند نه در زمینه های بسیاری مورد توجه دانشمندان قرار گرفته اند. نانولوله ها اولین بار در یک فرآیند قفسه سازی مشاهده شدند و پس از مدتی کوتاه، این ترکیبات با استفاده از روش تبخیر لیزری در دانشگاه رایس آمریکا تولید شدند. اما از سال ۱۹۹۸، پیشرفت قابل توجه روش رسوب دهی شیمیایی بخار باعث شد که این روش متداول ترین و با قابلیت ترین روش برای تولید نانولوله های کربنی محسوب شود.

نانولوله های کربنی به دلیل خواص الکترونی ویژه، استحکام مکانیکی فوق العاده، انعطاف پذیری بالا و ابعادشان کاربردهای بسیاری در زمینه های مختلف دارند. نانولوله ها در انواع محصولات تجاری، از باتری های قابل شارژ، قطعات خودرو و اجناس ورزشی گرفته تا بدنه قایق ها و فیلترها، صفحه نمایش مسطح با انتشار میدانی، حسگرهای شیمیایی، دارورسانی و علم نانوالکترونیک، کاربردهای نفت و گاز و محیط زیستی مورد استفاده قرار گرفته اند. به علت اهمیت بالای این ماده، هر روز بر کاربردهای نانولوله های کربنی در بخش های مختلف افزوده می شود.

کتاب پیش رو به عنوان یکی از دستاوردهای پژوهشگاه صنعت نفت و با هدف معرفی انواع ساختارهای کربنی و به خصوص نانولوله‌های کربنی و کاربرد آن در صنعت نفت و گاز نوشته شده است.

فصل اول این کتاب، با عنوان «کربن و آلوتروپ‌های آن»، ابتدا به معرفی اجمالی کلیه ساختارهای کربنی می‌پردازد و سپس نانولوله کربنی و خواص آن، که نانوساختاری پرکاربرد می‌باشد، با جزئیات بیشتر توصیف می‌شود.

فصل دوم این کتاب، با عنوان «روش‌های تولید نانولوله کربنی»، به بررسی انواع روش‌های تولید نانولوله کربنی و عامل دار کردن آن می‌پردازد.

فصل سوم، با عنوان «شناسایی نانوساختارهای کربنی»، به معرفی انواع روش‌های شناسایی نانولوله کربنی می‌پردازد.

فصل چهارم با عنوان «کاربردهای نانولوله‌های کربنی»، به بررسی کاربردهای نانولوله کربنی در بخش‌های مختلف مانند باتری‌های لیتیومی، صنعت الکترونیک، ترانزیستورها، پوشش‌ها، حسگرها، کامپوزیت، ذخیره گاز و غیره می‌پردازد.

فصل پنجم با عنوان «کاربردهای صنعتی نانولوله‌های کربنی»، به بررسی کاربردهای صنعتی نانولوله کربنی در صنعت نفت و گاز مثل کاتالیست‌ها، جاذب‌ها، نانوسیالات، پوشش‌ها و غیره می‌پردازد.

فصول این کتاب نشان می‌دهد که نانوساختارهای کربنی و به خصوص نانولوله‌های کربنی، نگاه ما به دنیای نانو را تغییر داده و ماده‌ای اساسی برای تحقیقات نانوفناوری، در بخش‌های مختلف صنعت می‌باشد.

امید است، مطالعه این کتاب برای پژوهشگران محترم مفید و زمینه‌ساز پژوهش‌های پربار و انتشار مطالب سودمند در این حوزه باشد. انتقاد و راهنمایی دوستان و صاحب‌نظران محترم در رفع هر گونه کاستی موجب کمال امتنان خواهد بود.

دکتر علیرضا رشیدی

دکتر صدیقه صادق حسینی

دکتر مریم دارایی

تابستان ۱۳۹۸