

اصول و فناوری تولید نانوالیاف و سازه‌های نانولیفی

جلد اول : مبانی

تألیف :

دکتر علی اکبر قره آقاجی
دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مهندس رمضانعلی ابوزاده گتایی
دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی اصفهان



مرکز انتشارات
جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان

واحد صنعتی اصفهان

سرشناسه	قره آقاجی، علی اکبر، ۱۳۳۷ -
عنوان و نام پدیدآور	اصول و فناوری تولید نانوالیاف و سازه‌های نانولیفی / تألیف علی اکبر قره آقاجی، رمضانعلی ابوزاده کتابی.
مشخصات نشر	اصفهان : جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی اصفهان، مرکز انتشارات، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری	ج۲.
شابک	دوره: 9-32-5151-978-600-5151-30-5؛ ج۱: 5-30-5151-978-600-5151-31-2؛ ج۲: 2-31-5151-978-600-5151-30-5
وضعیت فهرست نویسی	فیب۱
مذرجات	ج۱: مبانی-ج۲: کاربردها.
موضوع	الیاف نساجی مصنوعی
موضوع	نانوالیاف
شناسه افزوده	ابوزاده کتابی، رمضانعلی، ۱۳۵۸ -
شناسه افزوده	جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی اصفهان، مرکز انتشارات
رده بندی کنگره	۱۳۹۰ الف ۶/ق ۲/ ۱۵۳۸/۵ TS
رده بندی دیویی	۶۷۷/۲
شماره کتابشناسی ملی	۲۲۸۲۷۱۸

نام کتاب	اصول و فناوری تولید نانوالیاف و سازه‌های نانولیفی - جلد اول: مبانی
تألیف	علی اکبر قره آقاجی، رمضانعلی ابوزاده کتابی
ناشر	جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان - مرکز انتشارات
ارزیاب علمی	دکتر مسعود لطیفی
نوبت چاپ	اول
تاریخ نشر	۱۳۹۰
شمارگان	۵۰۰ جلد
تعداد صفحات	۳۶۸ صفحه
چاپ	کنکاش
صحافی	سید
قیمت	۶۷۰۰۰ ریال
«تغییر قیمت کتاب بدون اجازه کتبی ناشر، مجاز نمی‌باشد.»	

* صحت مطالب کتاب به عهده مؤلفین بوده و ناشر مسئولیتی در این موضوع ندارد.	
* حق چاپ برای ناشر محفوظ است.	
* نشانی: اصفهان - دانشگاه صنعتی اصفهان - جهاد دانشگاهی - مرکز انتشارات - ۳۹۱۱-۳۹۱۲۷۱۱	
دورنگار: ۲۹۱۲۵۴۱	فروشگاه: ۲۹۱۲۵۴۱
www.jdiu.ac.ir	www.isba.ir

مراکز پخش: ۱- کتابفروشی جهاد دانشگاهی (اصفهان) - دانشگاه صنعتی اصفهان - تلفن: ۳۹۱۲۵۴۱	
۲- نمایشگاه کتاب جهاد دانشگاهی (تهران) - خیابان انقلاب - بین خیابان فلسطین و چهارراه ولی عصر - جنب مؤسسه نمایشگاه‌های فرهنگی ایران - تلفن: ۶۶۴۸۷۲۶ - ۳- علم‌گستر سپاهان (اصفهان) - خیابان آمانگاه - کرچه فتح‌آباد - پلاک ۹۰ - تلفن: ۲۲۱۹۹۷۸ - ۴- کتابیران - ۶۶۵۶۶۱۰ (۰۲۱)	

بسم الله الرحمن الرحيم

سخن ناشر

جای خرسندی و شکر بسیار است که در آستانه تابش پرتوهای حیات بخش اسلام بر پهنه زمین، خود را در زمانی می یابیم که اندیشه اصلاح نه تنها عبث نیست که پیمودن راههای کمال و رشد در هر بعدی از ابعاد انسانی هموارتر و شدنی تر می نماید. وظیفه آنان که در این دوره و در این سرزمین مقدس زندگی می کنند بس سنگین و دشوار است و بطور خاص مسئولیت دانشگاه و دانشگاهیان در کنار حوزه های مقدس علمیه جایگاهی حساس و تعیین کننده در روند حرکت اجتماع دارد. تلاش پیگیر و همه جانبه برای بریدن بندهای وابستگی، جهاد مقدسی است که باید از دانشگاه و حوزه شروع شود و انتشار کتب علمی از سوی ما کوششی است در راستای آنچه ذکر آن رفت. بدیهی است این کوشش زمانی به نتایج مفید می رسد که بطور مداوم از سوی استادان، دانشگاهیان و اندیشمندان متعهد مورد انتقاد و پیشنهادات سازنده قرار گیرد.

اینک که چاپ اول این کتاب تقدیم دانشگاهیان ارجمند و مشتاق علم می گردد جای دارد از تمامی عزیزانی که در آماده سازی و تدوین آن تلاش نموده و زحمات زیادی را متحمل شده اند تشکر و قدردانی بعمل آید.

مرکز انتشارات جهاد دانشگاهی
واحد صنعتی اصفهان

پیش‌گفتار

نانوفناوری در سال‌های اخیر توانسته است خود را بعنوان یکی از زمینه‌های پژوهشی-کاربردی پیشرفته در سطح دنیا مطرح نماید که در این میان، سازه‌های نانو لیفی جایگاه ویژه‌ای را بخود اختصاص داده است. تحقیقات بنیادی و کاربردی بر نانومواد، امکان تولید و بکارگیری آن را در صنایع مختلف پیشرفته از جمله صنایع نظامی و تصفیه فراهم نموده است و این کاربردها به حوزه پزشکی با امکان بکارگیری در داربست‌ها، تحویل دارو، التیام زخم و... نیز تسری پیدا نموده است. در ایران نیز همگام با این حرکت علمی فراگیر، تحقیقات بر سازه‌های نانو لیفی در دانشگاه‌های مختلف شکل گرفته و در یک گام فراتر، صنایع مبتنی بر نانوسازه‌ها شروع به فعالیت نموده‌اند. درهمین راستا، بدنبال ایجاد توانمندی‌های بالقوه و بالفعل در راستای تحقیقات روی سازه‌های نانولیفی با عنایت فراوان وزارت علوم، تحقیقات و فناوری برای تقویت ساختارهای آموزشی و تحقیقاتی و نظر به رویکرد کلی در رابطه با ایجاد صنایع مختلف نانوفناوری و همچنین پتانسیل بالای کارفرینی توسط دانش آموختگان این رشته برای اولین بار در سطح دنیا، مهندسی ساختارهای نانولیفی با هدف تقویت بنیه‌های آموزشی و تحقیقاتی جوانان علاقمند و توانای این کشور و ایجاد زیرساخت‌های لازم برای صنایع نانوتکنولوژی در آینده و با هدف انجام پژوهش‌های بنیادی و بنیادی- کاربردی راه‌اندازی گردیده است.

این کتاب با هدف فراهم نمودن اطلاعات پایه و تخصصی روی مبانی و فناوری تولید الیاف و سازه‌های نانو گردآوری و تالیف گردیده است. هرچند نگارش این کتاب با آرایشی جهت پوشش دادن بخشی از دروس دوره کارشناسی ارشد مهندسی ساختارهای نانولیفی و دروس کارشناسی مرتبط با سازه‌های نانولیفی در نظر گرفته شده است ولی مخاطبان زیادی را در مقاطع تحصیلی مختلف اعم از کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در رشته‌های مختلف مهندسی می‌تواند داشته باشد. در نوشتار کتاب سعی شده است که زمینه‌های مختلف مرتبط گنجانیده شود تا علاوه بر دانشجویان، علاقمندان در حوزه‌های دیگر از قبیل صنایع نظامی، محیط زیست، تصفیه و... نیز بتوانند از مطالب کتاب بهره‌مند شوند. به امید اینکه این تلاش علمی بتواند گامی مؤثر در جهت برآورده نمودن نیازهای علمی در سطح جامعه و دانشگاه در زمینه الیاف و سازه‌های نانولیفی باشد. نوشتار این کتاب از همکاری‌های ارزنده آقایان دکتر سیدعبدالکریم حسینی، دکتر مسعود لطیفی، دکتر سید هریر بهرامی، دکتر محمد امانی تهران و خانم‌ها مهندس (سارا سرکشیک، هما همایونی، زهرا اسلامیان، آزاده امیرنصر، زری ریحانی، فاطمه عطایی، آرزو رجبی مهر، مریم قریشی، افسانه ولی‌پوری، مهسا محیطی اصلی، افهام قندهاری، مونا مهربان، محبوبه ملکی و عادلہ قلی‌پور) بهره‌مند شده است که اسامی این همکاران به تفکیک در فصول مختلف آمده است. همچنین نویسندگان کتاب وظیفه خود می‌دانند که از مساعدت‌های بی‌شائبه جناب آقای مهندس محمدمباقر عطایی ریاست محترم جهاددانشگاهی واحد صنعتی اصفهان جهت قبول چاپ این اثر کمال تشکر را داشته باشند.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱	فصل اول : نانوفناوری
۱-۱-۱	مقدمه
۲-۱	کاربردهای نانوفناوری و تاریخچه آن
۳-۱	نانو الیاف، خواص و کاربردهای آن
۱-۳-۱	کاربردهای نانو الیاف
۱۲	مراجع
۱۵	فصل دوم : الکتروویسی
۱-۲-۱	مقدمه
۲-۲-۱	الکتروویسی
۱-۲-۲	تاریخچه الکتروویسی
۲-۲-۲	تجهیزات الکتروویسی
۳-۲-۲	فرآیند الکتروویسی
۴-۲-۲	ناپایداری های فرآیند الکتروویسی
۵-۲-۲	مسیر حرکت جت
۶-۲-۲	خصوصیات و ب های تولید شده به روش الکتروویسی
۳-۲	عوامل تاثیرگذار بر الکتروویسی
۱-۳-۲	تاثیر غلظت محلول
۲-۳-۲	تاثیر وزن مولکولی
۳-۳-۲	تاثیر گرانشی
۴-۳-۲	تاثیر کشش سطحی
۵-۳-۲	تاثیر فراریت حلال
۶-۳-۲	تاثیر ولتاژ اعمالی
۷-۳-۲	تاثیر فاصله ریسندگی
۸-۳-۲	تاثیر نرخ تغذیه
۹-۳-۲	تاثیر هدایت الکتریکی محلول
۱۰-۳-۲	تاثیر جریان الکتریکی

۴۵.....	۲-۳-۱۱-تأثیر شرایط محیطی.....
۴۶.....	۲-۳-۱۲-تأثیر همزمان عوامل مختلف.....
۴۹.....	۲-۴-۱-انواع تکنیک‌های جمع‌آوری نانوالیاف آرایش یافته.....
۴۹.....	۲-۴-۱-جمع‌کننده سیلندری با سرعت بالا.....
۵۰.....	۲-۴-۲-میدان الکتریکی با الکترومغناطیس.....
۵۱.....	۲-۴-۳-چرخ نازک با لبه تیز.....
۵۲.....	۲-۴-۴-جمع‌کننده قابی.....
۵۳.....	۲-۴-۵-جمع‌کننده‌های دیگر.....
۵۳.....	۲-۵-الکتروریسی پلی وینیل الکل (PVA).....
۵۴.....	۲-۵-۱-عوامل تأثیرگذار بر الکتروریسی PVA.....
۷۶.....	۲-۶-الکتروریسی نایلون.....
۷۷.....	۲-۶-۱-عوامل تأثیرگذار بر الکتروریسی نایلون.....
۸۳.....	۲-۶-۲-تغییر شکل کششی نایلون.....
۸۶.....	۲-۶-۳-خواص انتقالی و ب‌های تولید شده از نایلون.....
۹۲.....	مراجع.....
۹۹.....	فصل سوم : مدل سازی و بررسی روابط حاکم بر الکتروریسی.....
۹۹.....	۳-۱-مقدمه.....
۱۰۱.....	۳-۲-مدل الکترو هیدرو دینامیک.....
۱۰۲.....	۳-۲-۱-مراحل اصلی الکتروریسی.....
۱۰۶.....	۳-۲-۲-تخمین شکل مخروط.....
۱۱۲.....	۳-۲-۳-ناپایداری جت.....
۱۲۲.....	۳-۲-۴-مسیر جت.....
۱۲۲.....	۳-۲-۵-تأثیر تبخیر حلال و جامد شدن در فرایند الکتروریسی.....
۱۲۸.....	مراجع.....
۱۳۱.....	فصل چهارم : نانو الیاف توخالی و نانو الیاف دوجزیی.....
۱۳۲.....	۴-۱-روش‌های تولید نانو الیاف توخالی.....
۱۳۳.....	۴-۲-الکتروریسی هم محور برای تولید نانوالیاف توخالی.....
۱۳۸.....	۴-۳-کاربردهای نانوالیاف توخالی.....

۱۴۳	۴-۴-۴-۴ نانو الیاف دوجزبی
۱۴۴	۴-۴-۱-۴ نانو الیاف پوسته- مغزی
۱۶۰	۴-۴-۲-۴ نانو الیاف دوجزبی پهلوه پهلوه
۱۶۷	۴-۴-۳-۴ نانو الیاف حاوی ریز ذرات
۱۷۲	مراجع
۱۷۷	فصل پنجم: الکتروریسی چندجته و تولید نخ از نانوالیاف
۱۷۸	۵-۱-۱ مقدمه
۱۷۸	۵-۲-۱ تولید لایه‌های بی‌یافت شامل یک نوع نانوالیاف
۱۷۸	۵-۲-۱-۱ الکتروریسی چندجته بوسیله نازل‌های چندگانه
۱۸۷	۵-۲-۲-۱ الکتروریسی چندجته بوسیله کانال‌های میکروجرسانی
۱۸۸	۵-۲-۲-۲ الکتروریسی چندجته بدون استفاده از نازل
۱۹۹	۵-۳-۱ تولید لایه‌های شامل مخلوط چند نوع نانولیف (لایه‌های میزیدی)
۲۰۰	۵-۳-۱-۱ تولید نانوالیاف دوجزبی پهلوه با موین‌های چسبیده به هم
۲۰۲	۵-۳-۲-۱ تولید نانوالیاف دوجزبی غلاف- مغزی با موین‌های هم‌محور
۲۰۴	۵-۳-۳-۱ تولید لایه‌های بی‌یافت مخلوط بوسیله نازل‌های چندگانه
۲۰۸	۵-۴-۱ تولید نخ به کمک الکتروریسی چندجته
۲۰۹	۵-۴-۱-۱ تولید نخ از یک نوع پلیمر
۲۱۴	۵-۴-۲-۱ تولید نخ از دو نوع پلیمر
۲۱۴	۵-۵-۱ شبیه‌سازی عددی در فرایند الکتروریسی چندجته
۲۱۴	۵-۵-۱-۱ مسیر واقعی حرکت جت در فرایند الکتروریسی تک‌جته
۲۱۶	۵-۵-۲-۱ شبیه‌سازی مسیر حرکت جت در فرایند الکتروریسی تک‌جته
۲۱۸	۵-۵-۳-۱ شبیه‌سازی مسیر جت در الکتروریسی چندجته
۲۲۹	۵-۶-۱ آنالیز نحوه استقرار نانوالیاف در فرایند الکتروریسی چندجته
۲۳۱	۵-۷-۱ ولتاژ بحرانی و فاصله بحرانی بین جت‌ها در الکتروریسی چندجته
۲۳۳	۵-۸-۱ کنترل ناپایداری‌های خمشی جت‌ها در الکتروریسی چندجته
۲۳۳	۵-۸-۱-۱ شبیه‌سازی حذف اثر لایه بوسیله دیواره‌های دارای بار الکتریکی
۲۳۵	۵-۸-۲-۱ پیش‌بینی میزان همگرایی و واگرایی جت‌ها نسبت به محور رستندگی
۲۴۰	مراجع

فصل ششم : روش های مطالعه نانو ساختارها	۲۴۳
۶-۱- مقدمه	۲۴۴
۶-۲- میکروسکوپ الکترونی روشی (SEM)	۲۴۴
۶-۳- میکروسکوپ الکترونی روشی محیطی (ESEM)	۲۵۰
۶-۴- استفاده از میکروسکوپ الکترونی روشی انتشار میدان	۲۵۳
۶-۵- میکروسکوپ نیروی اتمی	۲۵۴
مراجع	۲۶۲
فصل هفتم : روش های اندازه گیری خواص مکانیکی نانوالیاف و سازه های نانولیفی	۲۶۵
۷-۱- لزوم بررسی خواص مکانیکی نانوالیاف و سازه های نانولیفی	۲۶۶
۷-۲- آزمایش اندازه گیری استحکام کششی و مدول الاستیک	۲۶۸
۷-۲-۱- استفاده از دستگاه استحکام سنج Nano Bin	۲۶۸
۷-۲-۲- استفاده از اهرم میکروسکوپ نیروی اتمی	۲۷۱
۷-۳- اندازه گیری میزان خمش	۲۷۸
۷-۳-۱- آزمایش خمش سه نقطه ای نانو مقیاس	۲۷۸
۷-۳-۲- آزمایش خمش روی نانو تیوب با یک سر ثابت و یک سر متحرک	۲۸۱
۷-۳-۳- سایر روش های آزمایش خمش	۲۸۲
۷-۴- بررسی سختی سطحی نانو الیاف	۲۸۲
۷-۴-۱- روش نفوذ نانو مقیاس الاستیک - پلاستیک	۲۸۵
۷-۴-۲- ملاحظات استفاده از نفوذ گر میکروسکوپ نیروی اتمی	۲۸۷
۷-۵- خصوصیات مکانیکی - حرارتی دینامیکی	۲۸۹
۷-۶- آزمایش فشردگی	۲۹۰
۷-۷- آنالیز وزنی حرارتی	۲۹۱
۷-۸- پرتو گرافی	۲۹۳
۷-۸-۱- آزمایش اسپکتروسکوپی فوتوالکترون با اشعه ی ایکس	۲۹۳
۷-۸-۲- آزمایش تفرق پرتوی ایکس	۲۹۳
۷-۸-۳- آزمایش FTIR برای بررسی ترکیب شیمیایی نمونه	۲۹۴
مراجع	۲۹۷

فصل هشتم: گسیختگی در الیاف و سازه‌های نانولیفی	۲۹۹
۸-۱- گسیختگی تک لیف	۲۹۹
۸-۱-۱- مقدمه	۲۹۹
۸-۱-۲- فرکتوگرافی الیاف	۳۰۰
۸-۲- دسته‌بندی گسیختگی‌ها	۳۰۲
۸-۳- مکانیک گسیختگی	۳۰۴
۸-۴- گسیختگی نانوالیاف	۳۱۲
۸-۵- بررسی گسیختگی کامپوزیت‌های حاوی مواد نانومقیاس	۳۱۷
۸-۵-۱- تقویت کامپوزیت‌ها با مواد نانو مقیاس	۳۱۷
۸-۵-۲- بررسی رفتار گسیختگی کامپوزیت‌های تقویت شده با نانو الیاف	۳۱۹
۸-۶- بررسی رفتار گسیختگی نانو کامپوزیت‌ها	۳۳۲
۸-۶-۱- نانو کامپوزیت‌های اپوکسی-الیاف کربن بعمل آمده در بخار (VGCF)	۳۳۲
۸-۶-۲- نانو کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف چندمقیاسی	۳۳۶
۸-۷- گسیختگی کامپوزیت‌های چندلایه	۳۳۷
۸-۸- گسیختگی فوم‌های گرافیتی با استحکام بالا	۳۴۴
مراجع	۳۴۶
واژه نامه انگلیسی - فارسی	۳۵۱
نمایه	۳۵۵