

مقدمه‌ای بر

نانوفن آوری و کاربردهای آن در صنایع هوافضا

مولفان:

دکتر کرامت ملک زاده فرد

دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر

مهندس محمد باباخان زاده

محقق و پژوهشگر سازمان صنایع هوابی

مهندس مجتبی احمدی

کارشناس ارشد مهندسی پلیمر

سرشناسه : ملک‌زاده‌فرد، کرامت، ۱۳۴۷

عنوان و نام پدیدآور : نانوفناوری و کاربردهای آن در صنایع هوافضا

مولفان : کرامت ملک‌زاده‌فرد، محمد باباخان‌زاده، مجتبی احمدی

مشخصات نشر : تهران، انتشارات پژوهشکده سازمان صنایع هوافضا

مشخصات ظاهری : ۲۰۰ ص

شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۹۳۲۴۲-۱-۷

فهرست نویسی : فیبا

موضوع : هوافضا

موضوع : صنایع هوایی

موضوع : نانوتکنولوژی

شناسه افزوده : باباخان‌زاده، محمد

شناسه افزوده : احمدی، مجتبی

رده بندی کنگره : ۶۲۱/۱۲/۵/۹۷۱۱ HD

رده بندی دیویی : ۳۳۸/۴۷۶۲۹۱

شماره کتابشناسی ملی : ۳۳۹-۲۹۴

نام کتاب: نانوفناوری و کاربردهای آن در صنایع هوافضا

مولفان: کرامت ملک‌زاده‌فرد، محمد باباخان‌زاده، مجتبی احمدی

انتشارات پژوهشکده سازمان صنایع هوایی

ناظر چاپ و ویراستار ادبی: کاظم پری‌پور

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۱۲۰۰۰۰ ریال

چاپ و صحافی: عطا

چاپ اول: ۱۳۹۱

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۳۲۴۲-۱-۷

تهران: کیلومتر ۴ جاده مخصوص کرج - بعد از گمرک هوایی مهرآباد-

تلفن: ۴۴۶۵۹۸۶۷ ص. پ. ۷۶۸ - ۱۳۴۴۵

فهرست

فصل اول - نانوفن آوری.....	۱۵
۱-۱ مقدمه.....	۱۵
۲-۱ تعریف نانوفن آوری.....	۱۵
۳-۱ ورود به دنیای نانو.....	۱۶
۴-۱ نگرشی به دنیای نانو.....	۱۷
۵-۱ ایجاد واحدهای نانوفن آوری.....	۱۸
۶-۱ کاربرد نانو فن آوری در صنایع مختلف.....	۱۸
۶-۱-۱ روان کننده ها.....	۱۸
۶-۱-۲ مواد ساختمان و روکش ها.....	۱۹
۶-۱-۳ فیلتراسیون و تصفیه.....	۱۹
۶-۱-۴ دارورسانی.....	۲۰
۶-۱-۵ صنایع هوافضا و اتوماسیون.....	۲۱
منابع.....	۲۱
فصل دوم - نانوذرات روش های ساخت.....	۲۳
۱-۱ مقدمه.....	۲۳
۱-۲ نانوذرات.....	۲۳
۲-۲ روش های تولید نانوذرات.....	۲۴
۲-۲-۱ راهکارهای از بالا به پائین.....	۲۵
۲-۲-۱-۱ آسیاب مکانیکی.....	۲۶
۲-۲-۱-۲ انفجار الکتریکی.....	۲۸
۲-۲-۱-۳ اچ کردن.....	۲۸
۲-۲-۱-۴ اسپاترینگ.....	۲۹
۲-۲-۱-۵ ذوب لیزری.....	۲۹
۲-۲-۲ راهکارهای از پائین به بالا.....	۳۰
۲-۲-۲-۱ سل-ژل.....	۳۰
۲-۲-۲-۲ قوس الکتریکی.....	۳۱
۲-۲-۲-۳ رسوب بخار شیمیایی.....	۳۲

۳۳.....	۴-۲-۲-۲ تراکم اتمی یا مولکولی
۳۴.....	۵-۲-۲-۲ استفاده از سیالات فوق بحرانی
۳۴.....	۳-۲ انواع نانو ذرات
۳۴.....	۲-۳-۱ نانولوله‌ها
۳۷.....	۱-۱-۳-۲ فرایند تولید نانولوله‌ها
۴۰.....	۲-۳-۲ نانوپودرها
۴۲.....	۱-۲-۳-۲ روش‌های تولید نانوپودرها
۴۶.....	۳-۲-۲ نوب‌های کربنی چندوجهی یا باکیبال
۴۷.....	منابع
۴۹.....	فصل سوم - نانو ساختارها و کاربرد آن‌ها
۴۹.....	۱-۳ مقدمه
۴۹.....	۲-۳ انواع نانو ساختارها
۴۹.....	۱-۲-۳ نانو کامپوزیت‌ها
۵۰.....	۲-۲-۳ نانوروش‌ها
۵۲.....	۳-۲-۳ مواد نانومتخلخل
۵۲.....	۱-۳-۲-۳ انواع مواد نانومتخلخل
۵۴.....	۴-۲-۳ مهندسی مولکولی
۵۵.....	۵-۲-۳ نانوالکترونیک
۵۶.....	۱-۵-۲-۳ نانو سیم‌ها
۵۸.....	منابع
۶۱.....	فصل چهارم - نانو کامپوزیت‌ها، روش‌های ساخت، کاربرد و خواص
۶۱.....	۱-۴ مقدمه
۶۲.....	۲-۴ مزایا و معایب نانو کامپوزیت‌ها
۶۲.....	۳-۴ نانو کامپوزیت‌های زمینه فلزی
۶۴.....	۱-۳-۴ روش‌های ساخت نانو کامپوزیت‌های زمینه فلزی
۶۵.....	۱-۱-۳-۴ آسیای مکانیکی
۶۷.....	۲-۱-۳-۴ روش رسوب‌دهی نامجتمع فاز مذاب
۶۸.....	۳-۱-۳-۴ روش پرس با سینتر همزمان
۶۸.....	۴-۱-۳-۴ روش ریخته‌گری با امواج اولتراسونیک
۶۹.....	۵-۱-۳-۴ فرآیند حرکت دادن اصطکاکی - اغتشاشی
۷۰.....	۲-۳-۴ فرآوری ثانویه

۴-۴	نانو کامپوزیت‌های فلز-سرامیک	۷۰
۴-۴-۱	نانو کامپوزیت‌های تولید شده به شیوه سل-ژل	۷۳
۴-۴-۱-۱	کامپوزیت‌های کربن - آنروزل سیلیکا	۷۳
۴-۴-۲	کامپوزیت‌های سیلیکون - آنروزل سیلیکا	۷۳
۴-۴-۳	نانو کامپوزیت‌های فلز واسط - آنروزل سیلیکا	۷۳
۴-۵	نانو کامپوزیت‌های سرامیکی توده‌ای	۷۴
۴-۶	نانو کامپوزیت‌های لایه نازک: فیلم‌های دانه‌ای و چندلایه	۸۱
۴-۷	نانو کامپوزیت‌ها برای پوشش‌های سخت	۸۲
۴-۸	نانو کامپوزیت‌های عملکردی کوچک بعدی	۹۰
۴-۹	نانو کامپوزیت‌ها برای کاربرد مغناطیسی	۹۱
۴-۹-۱	نانو کامپوزیت‌های مغناطیسی حاوی ذرات توزیع شده	۹۱
۴-۹-۲	نانو کامپوزیت‌های چندلایه مغناطیسی	۹۴
۴-۱۰	نتایج مورد ملاحظه درباره نانو کامپوزیت‌های سرامیکی نفلزی	۹۴
۹۵	منابع	

فصل پنجم - نانو کامپوزیت‌های پلیمری		
۱-۵	مقدمه	۹۷
۲-۵	انواع نانو کامپوزیت‌های پلیمری	۹۷
۲-۱	نانو کامپوزیت‌های پلیمر-پلیمر	۹۸
۲-۳	روش‌های تهیه نانو کامپوزیت‌های پلیمری	۹۸
۲-۳-۱	روش محلولی	۹۹
۲-۳-۲	پلیمریزاسیون اینترکالیشن درجا	۱۰۰
۲-۳-۳	اینترکالیشن مذاب	۱۰۰
۴-۵	نانو ذرات کربنات کلسیم	۱۰۱
۴-۵-۱	کاربرد نانو کامپوزیت‌های پلیمر-کربنات کلسیم	۱۰۲
۴-۵-۲	نانو کامپوزیت پلیمر-نانو اکسید تیتانیوم	۱۰۴
۴-۵-۳	نانو کامپوزیت‌های پلیمر-رس	۱۰۵
۴-۵-۴	خواص نانو کامپوزیت‌های پلیمر-رس	۱۰۵
۴-۵-۵	انواع پلیمرهای مورد استفاده در سنتز نانو کامپوزیت‌های حاوی خاک رس	۱۰۶
۴-۵-۱	پلیمرهای وینیل	۱۰۶
۴-۵-۲	پلیمرهای استخلافی	۱۰۷
۴-۵-۳	پلی اولفین‌ها	۱۰۷
۴-۵-۴	ماتریس‌های لاستیکی	۱۰۸

۵-۴-۵	ماتریس‌های پلی الکتروولیت	۱۰۹
۶-۴-۵	ماتریس‌های پلی‌استایرن / پلی متیل متاکریلات	۱۱۰
۷-۴-۵	پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر	۱۱۱
۶-۴-۵	خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌های پلیمری اپوکسی-رس	۱۱۱
۷-۴-۵	شبیه‌سازی رفتار مکانیکی در ترکیبات پایه اپوکسی	۱۱۴
۵-۵	خواص نانوکامپوزیت‌های زمینه پلیمری	۱۱۷
۱-۵-۵	سایش و مقاومت در برابر خوردگی	۱۱۷
۲-۵-۵	نفوذپذیری	۱۱۸
۳-۵-۵	پایداری ابعادی	۱۱۹
۴-۵-۵	پایداری حرارتی و شعله‌پذیری	۱۲۱
۵-۵-۵	خواص الکتریکی و نوری	۱۲۲
۱-۵-۵-۵	مقاومت، نفوذ، استحکام شکست	۱۲۳
۱۲۶	منابع	
فصل ششم - فن آوری نانو در صنایع هوایی		
۱-۶	مقدمه	۱۲۷
۲-۶	کاربردهای نانومواد و نانو پوشش‌ها در صنعت هوافضا	۱۲۸
۱-۲-۶	بدنه و اجزا هواپیما	۱۲۸
۲-۲-۶	بال‌ها	۱۳۰
۳-۲-۶	پوشش‌ها و رنگ‌ها	۱۳۲
۴-۲-۶	موتور و اجزا موتور هواپیما	۱۳۹
۵-۲-۶	تجهیزات و ترفینات داخلی هواپیما	۱۳۹
۳-۶	نانومواد در صنعت هوایی	۱۴۱
۱-۳-۶	تولید قطعات نانو ساختار بالک با استفاده از تغییر شکل پلاستیک شدید SPD	۱۴۱
۲-۳-۶	فرایند فشار تحت کانال زاویه‌ای بامقطع یکسان (ECAP)	۱۴۵
۳-۳-۶	کاربرد قطعات تولید شده با استفاده از فرایند SPD در صنایع هوایی	۱۴۷
۴-۳-۶	خواص ویژه نانو ساختارهای تولید شده با استفاده از فرایندهای SPD	۱۴۸
۵-۳-۶	فلزات نانو ساختار در صنایع هوایی	۱۴۹
۶-۳-۶	تحقیقات انجام شده در زمینه کاربرد فرایند حرکت دادن اصطکاکی- اغتشاشی در صنایع هوایی	۱۵۰
۴-۶	پوشش‌های نانو در صنعت هوایی	۱۵۱
۱-۴-۶	روش پاشش حرارتی اکسیژن-سوخت برای ایجاد پوشش‌های نانو در صنعت هوایی	۱۵۱
۲-۴-۶	ساختار پودر	۱۵۲

۱۵۳	۳-۴-۶ خواص پوشش‌های ایجاد شده به روش HVOF
۱۵۵	۴-۴-۶ کاربرد HVOF در ساخت چرخ‌های هواپیما
۱۵۸	۵-۴-۶ پوشش‌های نانو ساختار WC-12Co تولید شده به روش HVOF
۱۶۲	۶-۴-۶ کاربرد HVOF در صنعت هوایی آمریکا
۱۶۵	۷-۴-۶ کاربرد Nano-HVOF در هواپیمای جنگنده
۱۷۰	۵-۶ روش‌های تولید پوشش‌های نانو ساختار با استفاده از فرایندهای پوشش‌دهی شیمیایی
۱۷۰	۱-۵-۶ ایجاد پوشش‌های نانوبار و شسل-ژل
۱۸۰	۲-۵-۶ ایجاد پوشش‌های نانو و رنگ باروش Electrodeposition
۱۸۲	۳-۵-۶ فرایند Electrodeposition در رنگ بدنه هواپیما
۱۸۵	۶-۶ نانومواد در لاسیک هواپیما
۱۸۵	۱-۶-۶ کاربرد نانوذرات SiO_2
۱۸۵	۲-۶-۶ کاربرد نانوذرات ZnO
۱۸۶	۳-۶-۶ کاربرد نانوذرات کربنات کلسیم
۱۸۶	۴-۶-۶ کاربرد ساختارهای نانومتری التماس
۱۸۷	۵-۶-۶ کاربرد نانوذرات رس
۱۸۷	۷-۶ نانوروان کننده‌ها در صنعت هوایی
۱۸۷	۸-۶ کاربرد فن‌آوری نانو در پنجره‌ها
۱۸۸	۹-۶ کاربرد فن‌آوری نانودر پیل‌های سوختی
۱۹۰	۱۰-۶ کاربرد فن‌آوری نانودر پیه‌ها
۱۹۱	۱۱-۶ بمب‌افکن پنهانکار B-2
۱۹۳	۱۲-۶ نانوذرات در کاربردهای فضایی
۱۹۳	۱-۱۲-۶ حفاظت در برابر تشعشعات کیهانی
۱۹۵	۲-۱۲-۶ نانوحسگرها
۱۹۶	۳-۱۲-۶ نانولوله‌های کربنی
۱۹۷	۴-۱۲-۶ بدنه فضاپیما
۱۹۸	۵-۱۲-۶ نانوماهواره‌ها
۱۹۸	۱۳-۶ کاربرد نانو فن‌آوری در هوا فضا و امنیت ملی
۲۰۰	منابع

پیشگفتار

طبیعت رقابت‌گرایی انسان همیشه در حال جوشش است. به طوری که اگر نگاهی مثبت به آن داشته باشیم نتیجه‌اش پیشرفت و حرکت روبه جلو برای تمدن بشری خواهد بود. امروزه در تمام زمینه‌های صنعتی و علمی و علوم مواد پیشرفته از قبیل ماکرو و نانو، MEMS¹ و NEMS²ها چنین رقابت‌هایی دیده می‌شود که البته دنیای بی نظیر صنعت هوافضا هم از آن مستثنی نیست. صنعت هوافضا امروزه توجه خود را به سامانه‌های چالاک تر و یا سامانه‌های خودکار معطوف ساخته است. وسایل نقلیه هوافضایی، وسیله‌های اکتشافی و نانوپرنده‌ها، نمونه‌هایی هستند که به چنین سامانه‌هایی نیاز دارند. به عنوان مثال، جادادن سامانه‌های الکترومغناطیسی برای ماهواره‌هایی که در اطراف زمین در حال گردش هستند و یا سازه‌های نانوکامپوزیتی در صنعت هوانا، از نتایج به کارگیری این فن‌آوری‌ها می‌باشد. توجه محققان و دانشمندان به منظور بهره‌گیری از خواص مواد پیشرفته باعث شده که کشورهای توسعه یافته و یا در حال توسعه بودجه‌های عظیمی را به این منظور اختصاص دهند.

نانو فن‌آوری از جمله علوم نوین و پیشرفته قرن اخیر می‌باشد که توانسته است در تمام عرصه‌های صنعتی به ویژه علوم هوافضا وارد شود و آن را در تمام ابعاد سازه‌ای، الکترونیکی، پوشش‌ها، نانوانتن‌ها و متحول سازد. در واقع نانو فن‌آوری موتور پیش‌برنده انقلاب صنعتی قرن اخیر می‌باشد و هیچ صنعت و تولیدی نیست که در آینده تحت تاثیر این فن‌آوری قرار نگیرد.

1- Micro Electronic Machine Systems

2- Nano Electronic Machine Systems

به زودی فن‌آوری نانو باعث رفع بسیاری از مشکلات صنعت هوافضا خواهد شد. ساخت موادی مستحکم و مقاوم، سبک، دارای عمر طولانی و در عین حال با قیمت کمتر، نسبت به محصولات مشابه کمک بسیاری به این صنعت خواهد کرد و کاربردهای جدید بسیاری در عرصه هوافضا به ارمغان خواهد آورد. با به‌کارگیری این فن‌آوری وسیله‌های حمل و نقل فضایی، ماهواره‌ها، کاوشگرها، لباس‌های فضانوردان، تلسکوپ‌های فضایی و حتی هواپیماهای نظامی و جاسوسی دچار تحول عظیمی خواهند شد، همچنین ساخت ماهواره‌ها و فضاپیماهایی سبک، قوی و مقاوم در برابر پرتوهای زیان‌بار فضایی با فن‌آوری نانو امکان‌پذیر می‌شود. بر همین اساس است که بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه سرمایه‌گذاری‌های زیادی در زمینه کاربرد فن‌آوری نانو در حوزه هوافضا انجام داده‌اند. ناسا که بزرگ‌ترین و مجهزترین مرکز تحقیقاتی هوافضا و پژوهشی در جهان است اکثر پروژه‌های خود را معطوف به نانو تکنولوژی نموده است زیرا زیرساخت‌های پیشرفته، کلید اعتماد جهت علوم جدید و مأموریت‌های اکتشافی می‌باشند. سنسورها، منابع تغذیه، مخابرات، سیستم‌های رو به جلو با ابعاد مادون کوچک با جرم بسیار پایین و مصرف پایین در این زمینه‌ها به شدت مورد نیازند. انقلاب‌هایی که در علوم و فن‌آوری مواد انجام می‌گیرد اجازه می‌دهد پیکربندی مجدد، استقلال و تفکر در فضاپیماهای جدید ایجاد شود. نانو فن‌آوری می‌تواند طیف گسترده‌ای از ساخت قطعات و سیستم‌هایی را ارائه کند که به وسیله آن انسان می‌تواند معماری جدیدی را در فضاپیماهای خود ارائه کرده و کهکشان‌های جدید و فضا را در تسخیر خود در آورد.

بنا بر آنچه گفته شد، چندین سال است که تلاش برای پرورش ایده‌هایی که امکان بهره‌مندی هر چه بیشتر از نانو فن‌آوری را فراهم کند در کل جهان آغاز شده است. با توجه به اینکه کشور عزیزمان ایران در زمینه‌های مختلف صنعت از جمله صنایع هوایی، روز به روز در حال شکوفایی و پیشرفت است، و از طرفی لازمه اجرایی شدن طرح‌های پیشرفته صنعتی اشراف کامل مهندسان هواپیمایی بر علم مواد است، مولفان این کتاب بر آن شدند که کتاب حاضر را با عنوان "مقدمه‌ای بر نانو فن‌آوری و کاربردهای آن در صنایع هوایی" تألیف و در اختیار دانش‌پژوهان و مهندسان صنایع هوایی قرار دهند. در این مجموعه سعی شده است تا دسته‌ای از نانو مواد مورد توجه صنایع هوافضا که در طول عمر کوتاه نانو فن‌آوری تولید، فراوری و ساخته شده‌اند، معرفی شوند. در فصول اولیه این کتاب، تعاریف،

روش‌های تولید، خواص و کاربردهای مهندسی نانومواد مانند پودرها، نانولوله‌های کربنی و مواد نانوساختاری مانند نانو متخلخل‌ها و نانوکامپوزیت‌های فلزی و سرامیکی به طور مختصر بررسی شده‌اند. با توجه به استفاده گسترده از مواد کامپوزیتی با زمینه پلیمری در کاربردهای هوافضایی نوین، فصل پنجم کتاب حاضر به این دسته از نانوکامپوزیت‌ها اختصاص داده شده است و در فصل آخر به اهمیت و نوع کاربرد نانوفن‌آوری در صنایع هوافضا و برخی تجربیات در این زمینه اشاره شده است.

امید است این کتاب خدمت کوچکی به جامعه علمی و صنعتی میهن اسلامی و مخصوصاً خانواده بزرگ صنایع هوایی باشد.

با توجه به اینکه مطالب این کتاب خالی از اشکال نیست، امید است اشکالات نگارشی و علمی که بر این مجموعه وارد هستند، قابل چشم پوشی باشند. همچنین از شما خوانندگان محترم خواهشمندیم که ما را از پیشنهادهای خود که ما را در اصلاح و تکمیل مطالب این کتاب خواهد بود محروم نگردانید. لذا از تمامی دانشجویان و اساتیدی که این کتاب را مورد مطالعه و استفاده قرار میدهند، خواهشمندیم که نظرات خود را از طریق ناشر و یا پست الکترونیکی به آدرس kmalekzadeh@gmail.com با ما در میان بگذارند.

در پایان لازم می‌دانیم از تمامی کسانی که ما را در تهیه این کتاب یاری دادند، تشکر و قدردانی نماییم. امیدواریم اجر معنوی این کار شامل همه عزیزانی باشد که ما را با راهنمایی‌ها و کمک‌های خویش مرهون عنایت خود نمودند.

کرامت ملک‌زاده‌فرد - محمد باباخان‌زاده - محبتی احمدی