

روش‌های اندازه‌گیری در مقیاس نانو

محمود افشاری

رئیس دانشکده فیزیک

حسین نوروزی فروغی

کارشناس ارشد مهندسی کانیک

احسان سلیم‌پورلو

کارشناس ارشد مهندسی مواد

سرشناسه: افشاری، محمود، ۱۳۶۵ -

عنوان و نام پدیدآور: روش‌های اندازه‌گیری در مقیاس نانو/ محمود افشاری، حسین نوروزی، احسان سلحشورراد.

مشخصات نشر: تهران: کتاب شهر علم، ۱۳۹۸.

مشخصات ظاهری: ک، ۱۷۰ ص: مصور، جدول، نمودار.

وضعیت فهرستنویسی: فیپا

یادداشت: کتابنامه

موضوع: مواد نانو ساختار — تجزیه و آزمایش، دستگاه‌های اندازه‌گیری سه‌بعدی

موضوع: Coordinate measuring machines, Nanostructured materials — Analysis

شناسه افزوده: نوروزی فروشانی، حسین، ۱۳۶۱-

شناسه اف: ده: سلحشور راد، احسان، ۱۳۷۱-

رده‌بندی کنگ: TA۴۱۸/۹

رده‌بندی دیویی: ۶۲۰/۵

شماره کتاب: ناسی، سی، ۵۹۲۰۲۱۰



عنوان کتاب: روش‌های اندازه‌گیری در مقیاس نانو
مؤلفین: محمود افشاری، حسین نوروزی، احسان سلحشورراد
ناشر: انتشارات کتاب شهر علم
طرح روی جلد: محسن عطاری
صفحه‌آرایی رایانه‌ای: فرشته اشرفی
ویراستار فنی: احسان سلحشورراد
ویراستار ادبی: نسیم بهشتانی
شمارگان: ۱۰۰۰ جلد
نوبت چاپ: اول
سال چاپ: ۱۳۹۸
قیمت: ۱۹۰,۰۰۰ ریال
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۹۵۵۶۳-۲-۰

کلیه حقوق چاپ برای ناشر محفوظ است.

آدرس: تهران، خیابان انقلاب، خیابان دوازده فروردین، نبش کوچه بهشت آیین، پلاک ۷ طبقه ۲

تلفن: ۰۹۰۳۲۹۵۸۸۳۱ - ۶۶۵۸۳۰۳۰

درباره مؤلفین

آقای محمود افشاری متولد سال ۱۳۶۵ در منطقه قهستان از بخش درمیان از توابع شهرستان بیرجند در استان خراسان جنوبی است. وی تحصیلات خود را تا مقطع کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک در دانشگاه صنعتی امیر کبیر گذرانده است. همزمان با کسوت شریف معلمی در هنرستان شهید دکتر چمران شهرستان قائنات، به تدریس در دانشگاه‌های استان خراسان جنوبی نیز مشغول بوده و در کنار آن با تأسیس شرکت‌های اطللس کوشا در تهران و گروه ماشین سازی افرا در بیرجند در زمینه صنعت، و با تأسیس انتشارات کتاب شهر علم، پخش کتاب بانک کتاب شهر و موسسه‌ی آموزشی سفیران امیرکبیر در تهران، در زمینه فرهنگی نیز فعال بوده است. از سایر فعالیت‌های پژوهشی ایشان می‌توان به چند عنوان اختراع در زمینه ماشین‌آلات صنعتی، سخنرانی در چند کنفرانس تخصصی ملی و بین‌المللی، مشاوره چندین عنوان پروژه مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد، چندین مقاله علمی تخصصی و سه عنوان کتاب در رشته‌ی مهندسی مکانیک و مهندسی مواد اشاره نمود. وی هم‌اکنون دانشجوی دکتری رشته مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران بوده و بر روی فرایندهای ساخت افزایشی لیزری سوپرآلیاژهای پایه نیکل مشغول به تحقیق است.

آقای حسین نوروزی مهندس مکانیک متولد سال ۱۳۶۰ در شهرستان خمینی شهر در استان اصفهان است. ایشان دانش آموخته‌ی مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر است. همزمان با کسوت شریف معلمی در هنرستان شهید دکتر رجایی شهرستان خمینی شهر به تدریس در دانشگاه‌های استان اصفهان نیز مشغول می‌باشد. وی در زمینه شبیه‌سازی‌های نرم‌افزاری، CAD/CAM/CAE، طراحی و ساخت ابزارهای اندازه‌گیری آزمایشگاهی و صنعتی، قالب‌های تزریق پلاستیک‌های، دایکست، برش و خمش دارای سابقه‌ی طولانی است. از سایر فعالیت‌های پژوهشی ایشان می‌توان به سخنرانی در چند کنفرانس تخصصی ملی و بین‌المللی، چند مقاله علمی تخصصی، چند اختراع در زمینه ماشین‌آلات ابزار سازی اشاره نمود.

جناب آقای احسان سلحشورراد متولد ۱۳۷۰ در شهرستان مشهد است. وی تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی در رشته‌ی متالورژی صنعتی و در مقطع کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی مواد در دانشگاه صنعتی مالک اشتر به پایان رسانده است. همزمان با دوره‌ی تحصیل و پس از آن، با شرکت‌های دانش بنیان در زمینه‌ی پوشش‌های مقاوم در برابر خوردگی با فناوری نانو همکاری داشته و هم‌اکنون در یکی از شرکت‌های تابعه وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح مشغول به خدمت می‌باشد. ایشان صاحب چند مقاله در زمینه‌ی نانو کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی می‌باشند.

فهرست مطالب

پیشگفتار

فصل اول: مقدمه

- ۱-۱- تاریخچه‌ی اندازه‌گیری ۲
- ۲-۱- تعریف اندازه‌گیری ۳
- ۳-۱- اهمیت اندازه‌گیری ۴
- ۴-۱- روشهای اندازه‌گیری ۴
- ۱-۱- روش‌های مستقیم ۴
- ۴-۱- روش‌های غیر مستقیم ۵
- ۵-۱- ابزارهای اندازه‌گیری ۵
- ۶-۱- اهمیت اندازه‌گیری در مقیاس نانو ۶

فصل دوم: دستگاه اندازه‌گیری و اختصا

- ۱-۲- مقدمه ۱۰
- ۲-۲- تاریخچه ۱۱
- ۳-۲- بخش‌های مختلف دستگاه ۱۲
- ۱-۳-۲- سازه مکانیکی ۱۳
- ۲-۳-۲- نرم‌افزار ۱۸
- ۳-۳-۲- پراب‌ها ۲۰
- ۴-۲- کالیبراسیون ۲۳
- ۵-۲- شرایط محیطی ۲۴

فصل سوم: مقدمه‌ای بر فناوری نانو

- ۱-۳- مقدمه ۲۶
- ۲-۳- تعریف نانو تکنولوژی ۲۶
- ۳-۳- تاریخچه فناوری نانو ۲۷
- ۴-۳- روش‌های ساخت نانو مواد ۳۰
- ۱-۴-۳- فراوری مکانیکی ۳۱
- ۲-۴-۳- الکتروریسندگی ۴۶
- ۳-۴-۳- قوس الکتریکی (پلازما) و لیزر ۴۶
- ۴-۴-۳- رسوب‌دهی فاز گاز ۴۸
- ۵-۴-۳- روش پاشش حرارتی ۵۰

۵۱	۳-۴-۶- روش سل - ژل
۵۲	۳-۵- مهمترین کاربردهای نانو تکنولوژی
	فصل چهارم: روش‌های اندازه‌گیری خواص نانومواد
۵۶	۴-۱- تاریخچه
۵۶	۴-۲- اسپکتروسکوپی الکترون اوزه
۶۱	۴-۳- پراش اشعه ایکس
۶۲	۴-۴- آنالیز بر مبنای یون
۶۳	۴-۵- طیف‌سنج رامان
۶۳	۴-۵-۱- اصول کار طیف‌سنج رامان
۶۴	۴-۵-۲- ساختمان دستگاه
۶۵	۴-۵-۳- کاربردها
۶۶	۴-۶- طیف‌سنجی جرمی
۶۶	۴-۷- سیستم بارگذاری
۶۶	۴-۷-۱- اصول کار
۶۸	۴-۷-۲- کاربردها
۶۹	۴-۸- طیف‌سنجی مادون قرمز
۷۰	۴-۹- رزونانس مغناطیسی هسته
۷۰	۴-۱۰- پراکندگی بازگشتی را فور
۷۱	۴-۱۰-۱- اصول فیزیکی
۷۱	۴-۱۰-۲- تجهیزات مورد استفاده در RPS
۷۳	۴-۱۰-۳- مزایا و معایب RBS
۷۴	۴-۱۰-۴- کاربردهای RBS
۷۵	۴-۱۱- طیف‌سنجی تبدیل فوری مادون قرمز
۷۵	۴-۱۱-۱- تئوری
۷۷	۴-۱۱-۲- تجزیه کیفی
۷۷	۴-۱۱-۳- کاربردها
۷۷	۴-۱۲- طیف‌نگاری الکترونی برای آنالیز شیمیایی شامل XPS و UPS
۷۹	۴-۱۲-۱- کاربردها
۸۰	۴-۱۲-۲- نمونه‌ها
۸۰	۴-۱۲-۳- محدودیت‌ها
۸۰	۴-۱۲-۴- مدت زمان آنالیز
۸۰	۴-۱۳- میکروسکوپ الکترونی عبوری

۸۱	۴-۱۴- میکروسکوپ الکترونی روبشی
۸۳	۴-۱۵- میکروسکوپ الکترونی محیطی روبشی
	فصل پنجم: اندازه گیری سه بعدی در مقیاس نانو
۸۶	۵-۱- مقدمه
۸۶	۵-۲- میکروسکوپ نیروی اتمی
۸۶	۵-۲-۱- مقدمه
۸۷	۵-۲-۲- نحوه عملکرد AFM
۹۰	۵-۲-۳- آشکارسازی جهت گیری تیرک
۹۲	۵-۲-۴- هندسه ی تیرک
۹۴	۵-۱-۵- سوزن ها
۹۶	۵-۶- نحوه ی برهمکنش سوزن با سطح
۹۷	۵-۲-۷- مایعات و مایعات AFM
۱۰۳	۵-۲-۸- کاربردها
۱۰۶	۵-۳- میکروسکوپی - ری میدان نانو یک روبشی
۱۰۸	۵-۴- میکروسکوپ روبشی توانی
۱۰۸	۵-۴-۱- مقدمه
۱۰۹	۵-۴-۲- نگاهی اجمالی به اصول کلی عملکرد STM
۱۱۱	۵-۴-۳- روش های مبتنی بر استفاده مستقیم از STM در تعیین مشخصات سطوح
۱۱۶	۵-۵- نانو CMM
۱۱۶	۵-۵-۱- مقدمه
۱۱۸	۵-۵-۲- فاکتورهای مختلف دستگاه
۱۱۹	۵-۵-۳- ویژگی های ماشین نانو CMM
۱۲۹	۵-۵-۴- پیشرفت های صورت گرفته
	تصاویر، نمودارها و جداول
۱۳۶	۱- تصاویر مربوط به فصل دوم
۱۳۷	۲- تصاویر مربوط به فصل چهارم
۱۴۵	۳- تصاویر مربوط به فصل پنجم
۱۵۷	مراجع

پیشگفتار

دیرزمانی، اگر کسی مسئله پرواز در آسمان و یا سفر به خارج از این کره خاکی و گردش به دور آن را مطرح می‌کرد، دیگران حتماً او را خیال‌پرداز و مجنون قلمداد می‌کردند و یا به خاطر اظهار بعضی حقایق، فرد را به توبه در کلیسا وامی‌داشتند! زمانی روایات‌ها و ابرکامپیوترها که چندین محاسبه ریاضی را در چند ثانیه انجام می‌دهند، فقط در داستان‌های تخیلی نویسندگان پیدا می‌شد اما اکنون...

همیشه و در تمامی اعصار، وقتی مطلبی فوق دانش و درک مردم آن زمان مطرح می‌شد، در برابر مخالفت‌ها و انتقادات شدیدی قرار می‌گرفت ولی بعد از طی روزگار، همگان با پیشرفت‌های فوق‌العاده در آن زمینه مواجه می‌شدند و حتی این پیشرفت را موجبات فراهم آمدن آسایش بیشتر خود می‌دیدند و حالا در عصر ما بحث نانوتکنولوژی مطرح شده است، موضوعی که در تمامی ابعاد زندگی بشر و رشته‌های مختلف علمی ارتباط مستقیم و مؤثر خواهد داشت.

نانوتکنولوژی چنانچه برگردیم به نگرش، به فناوری را متحول ساخته که در صورت تحقق و رسیدن به مقصدی که ترسیم شده است، شاید بزرگ‌ترین جهش انسان برای صعود به قله‌های رفیع علم باشد. اکنون جهان متوجه این رویکرد متحول‌کننده شده و متخصصین و دانشمندان در نقاط مختلف این کره خاکی دست به پژوهش و مطالعات وسیعی در این زمینه زده‌اند و طبق گفته برخی از آنان پیشرفت‌های صورت گرفته و روند رو به رشد نانو، بیش از حد انتظار و پیش‌بینی شده است.

مطمئناً با بودجه‌های کلان تخصیص داده شده به تحقیقات گسترده در آینده‌ای کاملاً نزدیک، انسان خواهد توانست در چیدمان اتم به اتم مواد به‌سوی حالت کند و وسایل و تجهیزات موردنیاز خود را با هر اندازه و کیفیت و شکلی تولید کند. همان‌طوری که بسیاری از مباحث علمی از درون فعالیت‌ها و پژوهش‌های نظامی به دنیای علم راه پیدا کرده است و یا اینکه دانش هسته‌ای سرانجام در مبحث نظامی مورد سوءاستفاده قرار گرفته است، دانش نانو نیز از این مستثنی نخواهد بود و سرانجام در زمینه‌های نظامی به پیشرفت‌های قابل‌ملاحظه‌ای خواهد رسید که در آن وقت، دانش هسته‌ای یکی از زیرشاخه‌های نانو به شمار خواهد آمد، با توجه به اهمیت این مسئله مسلم خواهد بود که دانش نانو به مراتب استفاده‌های سوء بسیار هولناک‌تر و تهدیدآمیزتر صورت خواهد گرفت.

به گفته کارشناسان، این فناوری نوین در آینده‌ای نزدیک با تأثیر و بسیاری از بخش‌های اقتصادی، وضع موجود را به کلی دگرگون خواهد کرد با کمک این فناوری تولید اشیاء با خصوصیات جدید از جمله قدرت درک و گویش توسط ذره‌هایی که اندازه هرکدام از آنها یک‌میلیون از میلی‌متر بیشتر نیست امکان‌پذیر می‌شود با کمک این فناوری آنچه در گذشته‌های نزدیک غیرممکن بود، تحقق پیدا خواهد کرد.

از این رو، این اثر که یکی از هزاران کتابی است که در زمینه‌ی فناوری نانو به رشته‌ی تحریر درآمده است، به منظور آشنایی هرچه بیشتر نسل جدید و بخصوص نوجوانان و دانش‌آموزان با این فناوری شگفت‌انگیز گردآوری شده و با تلفیق آن با دانش مکانیک و اهمیت دقت اندازه‌گیری در این رشته، اختصاصاً به مباحث مربوط به اندازه‌گیری و اندازه برداری در مقیاس نانو پرداخته است. بخش عمده‌ی کتاب از پایان‌نامه‌ی مقطع کارشناسی جناب آقای محمود افشاری که در سال ۱۳۸۷ در دانشگاه زابل انجام شده است، استخراج گردیده است. همچنین تجربیات چندین ساله‌ی مؤلفین در امر برگزاری دوره‌های آشنایی با فناوری نانو برای دانش‌آموزان نیز در بهبود کیفیت اثر حاضر مؤثر بوده است.

در فصل اول و دوم کتاب، سعی شد است پس از ذکر مقدمه‌ای در باب اهمیت اندازه‌گیری در زندگی بشر، اصول اندازه‌گیری سه‌بعدی در فضای ماکرو و نیز تجهیزات مورد نیاز آن بخصوص دستگاه اندازه‌گیری مختصات (CMM)، مورد بررسی اجمالی قرار گیرد. در فصل سوم مقدمه‌ای بر فناوری نانو و روش‌های ساخت نانو مواد مورد بحث قرار گرفته و در فصل چهارم اختصاصاً روش‌ها و ابزارهای اندازه‌گیری ابعاد در مقیاس نانو معرفی شده‌اند. در فصل پایانی نیز ایده‌ی ساخت دستگاه اندازه‌گیری مختصات در مقیاس نو (Nano CMM) و پیشرفت‌های صورت گرفته در این زمینه آورده شده است. از آنجاکه هیچ اثری خالی از ایرادت فنی، محتوایی، ادبی، نگارشی نیست، مؤلفین ضمن پوزش از همه‌ی خوانندگان محترم این اثر، از عزیزان صاحب‌نظر تقاضا نمودند تا نقطه خلل و اصلاحات پیشنهادی خود را برای آن‌ها ارسال نمایند.

در پایان نگارندگان بر خود لازم می‌داند مراتب تقدیر و تشکر خود را از همه‌ی عزیزانی که در امر نگارش این اثر به نحوی مؤثر بوده‌اند، تقدیر و تشکر نمایند. از جمله از جناب آقای دکتر سجاده‌پور سجادی ریاست محترم پژوهشکده‌ی برق و الکترونیک دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران، جناب آقای دکتر رضا شجاع رضوی رئیس مجتمع مواد و فناوری‌های ساخت دستگاه صنعتی مالک اشتر و مهندس محسن عطاری که راهنمایی‌های فنی و دقیق این عزیزان چراغ راه بود. است همچنین از سرکار خانم مهندس فرشته اشرفی و سرکار خانم دکتر نسیمه سبحانی که تشویق و همراهی این عزیزان عامل اصلی پدید آمدن این اثر گردید، تقدیر و تشکر می‌گردد.

سرپرست گروه مؤلفین

M.afshari@aut.ac.ir

تهران - پاییز ۱۳۹۸