

میکروسکوپی نیروی اتمی

مؤلفان:

صدیقه صادق - علی رضوهیئت علمی پژوهشگاه صنعت نفت

جمال الدین خلیلی (پیرک علم و فناوری کردستان)

مریم خسروی (پژوهشگاه پدیر و پتروشیمی ایران)



۱۳۹۳



شبکه آزمایشگاهی فناوری نانو

سرشناسه : صادق حسینی، صدیقه، ۱۳۴۵ -
 عنوان و نام پدیدآور : میکروسکوپی نیروی اتمی / تألیف صدیقه صادق حسینی، جمال الدین
 افضلی، مریم خسروی
 مشخصات نشر : تهران: گیسوم، ۱۳۹۳
 مشخصات ظاهری : ۵۴۶ ص.
 شابک : 978-600-91527-5-9
 وضعیت فهرست نویسی : فیا
 موضوع : میکروسکوپی نیروی اتمی
 شناسه اثر : افضلی، جمال الدین، ۱۳۶۲ -
 شناسه افزودن : خسروی، مریم، ۱۳۵۸ -
 رده بندی کنگره : ۱۳۹۳ ص ۲ / ن ۲۱۲ QH
 رده بندی دیویی : ۵۰۲
 شماره کتابشناسی ملی : ۲۰۱۳۶۵

تهران، کامرانیه جنوبی، روی رستو، پلاک ۶ تلفن: ۲۲۲۹۵۲۹۹



میکروسکوپی نیروی اتمی

نویسندگان: صدیقه صادق حسینی، جمال الدین افضلی، مریم خسروی

ویراستار ادبی: محمدرضا پورجعفری

نشر: گیسوم

چاپ و صحافی: فاروس

چاپ اول: ۱۳۹۳

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

شابک: ۹-۵-۹۱۵۲۷-۶۰۰-۹۷۸

حق چاپ و نشر محفوظ است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۵	فهرست مطالب
۱۹	پیشگفتار
۲۳	فصل اول: مبانی میکروسکوپی نیروی اتمی
۲۵	۱- مبانی میکروسکوپی نیروی اتمی
۲۵	۱-۱- فناوری نانو
۲۶	۱-۱-۱- تاریخچه
۲۸	۱-۱-۲- تعاریف فناوری نانو
۲۸	۱-۱-۳- تقسیم‌بندی فناوری نانو
۲۹	۱-۱-۴- اهمیت نانو ساختارها
۳۰	۱-۱-۵- ابزار شناسایی میکروسکوپی
۳۲	۲- میکروسکوپ پروبی روبشی
۳۳	۳- میکروسکوپ نیروی اتمی
۴۳	۴-۱- اساس کار میکروسکوپ نیروی اتمی

۴۵	۱-۴-۱- قانون هوک
۴۷	۵-۱- اجزای اصلی میکروسکوپ نیروی اتمی
۴۸	۱-۵-۱- سامانه اندازه گیری
۴۹	۱-۵-۱-۱- نگهدارنده نمونه
۴۹	۱-۵-۱-۱-۱- سل های مایع
۵۱	۱-۵-۱-۲- میکروسکوپ نوری
۵۲	۱-۵-۱-۱- پروپ (تیرک و سوزن)
۵۲	۱-۵-۱-۳-۱- سوزن
۵۸	۱-۵-۱-۳-۱- سوزن
۶۴	۱-۵-۱-۲-۳-۱- سوزن نامحلوله کربنی
۷۲	۱-۵-۱-۳-۳- پروپ الکتریکی
۷۶	۱-۵-۱-۴- روبشگر پیژوالکتریک
۸۱	۱-۵-۱-۵- آشکارساز
۸۱	۱-۵-۱-۵-۱- آشکارسازی نوری: انحراف تریلر
۸۷	۱-۵-۱-۵-۲- آشکارسازی نوری: تداخل سنجی پرتو لیزر
۸۸	۱-۵-۱-۵-۳- آشکارسازی الکتریکی: تونل زنی الکترونی
۸۹	۱-۵-۱-۵-۴- آشکارسازی الکتریکی: ظرفیت خارجی
۹۰	۱-۵-۱-۵-۵- آشکارسازی الکتریکی: تیرک های پیژوالکتریک
۹۱	۱-۵-۱-۶- بدنه
۹۱	۱-۵-۲- سامانه کنترل الکترونیک
۹۲	۱-۵-۲-۱- کنترل دیجیتال
۹۴	۱-۵-۲-۲- عملکرد الکترونیک
۹۶	۱-۵-۲-۳- مدارهای کنترل بازخورد
۹۸	۱-۵-۲-۴- محدودیت های طراحی
۱۰۰	۱-۵-۲-۵- بالا بردن عملکرد روبشگرهای بزرگ
۱۰۰	۱-۵-۳- رایانه
۱۰۱	۱-۵-۳-۱- نمایشگر

۱۰۲	۱-۵-۴- سامانه ضد ارتعاش
۱۰۲	۱-۶-۶- حالت‌های تصویربرداری میکروسکوپ نیروی اتمی
۱۰۴	۱-۶-۱- حالت تماسی
۱۰۵	۱-۶-۱-۱- حالت نیرو ثابت
۱۰۶	۱-۶-۲- حالت ارتفاع ثابت
۱۰۷	۱-۶-۱-۱- مزایای حالت تماسی
۱۰۸	۱-۶-۴- معایب حالت تماسی
۱۰۸	۱-۶-۲- حالت‌های ارتعاش
۱۰۹	۱-۶-۲-۱- حالت غیر تماسی
۱۱۲	۱-۶-۲-۲- حالت شبه تماسی (ضربه زنی)
۱۱۷	۱-۶-۲-۲-۱- ضربه زنی در مایع
۱۱۷	۱-۶-۲-۲-۲- ضربه زنی در مایع
۱۱۸	۱-۶-۲-۳- حالت دامنه ثابت
۱۱۹	۱-۶-۲-۴- تصویربرداری از اختلاف فاز
۱۲۰	۱-۶-۲-۵- تنظیم نوسان تیرک
۱۲۲	۱-۶-۲-۶- اثر فرکانس تحریک
۱۲۵	۱-۶-۲-۷- مزایای حالت‌های ارتعاشی
۱۲۵	۱-۶-۲-۸- معایب حالت‌های ارتعاشی
۱۲۵	۱-۶-۳- حالت انحرافی
۱۲۷	۱-۷-۷- نیروهای میکروسکوپ نیروی اتمی
۱۲۷	۱-۷-۱- نیروهای واندروالس
۱۳۳	۱-۷-۱-۱- نیروهای واندروالس و منحنی‌های نیرو-فاصله
۱۳۷	۱-۷-۲- نیروی الکترواستاتیک
۱۴۷	۱-۷-۳- نیروهای موینگی
۱۵۲	۱-۷-۴- نیروی مغناطیسی
۱۵۴	۱-۷-۵- نیروهای آب‌گریزی

۱۵۴	۱-۷-۶- نیروی لایه دوگانه الکتریکی
۱۵۷	۱-۷-۷- نیروی حلال پوشی
۱۵۸	۱-۷-۸- نیروهای مکانیک تماسی
۱۶۰	۱-۸- انواع میکروسکوپ نیروی اتمی
۱۶۱	۱-۸-۱- میکروسکوپ نیروی شیمیایی
۱۶۳	۱-۸-۱- میکروسکوپ نیروی الکتروستاتیک
۱۶۵	۱-۸-۱- میکروسکوپ نیروی مغناطیسی
۱۶۸	۱-۸-۴- میکروسکوپ نیروی کلونین
۱۷۰	۱-۸-۵- میکروسکوپ نیروی اتمی دمای پایین
۱۷۱	۱-۸-۶- میکروسکوپ نیروی فیزیکی روشی
۱۷۳	۱-۸-۷- میکروسکوپ نیروی سنجی
۱۷۵	۱-۸-۷-۱- حذف سیگنال سطحی از ناهمواری سطح
۱۷۷	۱-۸-۷-۲- تبدیل انحراف تیرک از ناهمواری به نانو متر
۱۷۸	۱-۸-۷-۳- تبدیل انحراف تیرک از ناهمواری به نانویوتن
۱۷۸	۱-۸-۸- میکروسکوپ روبشی هدایت یونی
۱۸۰	۱-۸-۹- میکروسکوپ آکوستیک نیروی اتمی
۱۸۳	۱-۸-۱۰- میکروسکوپ نیروی تشدید مغناطیسی
۱۸۷	۱-۹- مقایسه میکروسکوپ نیروی اتمی با سایر دستگاهها
۱۸۹	۱-۹-۱- مقایسه میکروسکوپ نیروی اتمی با میکروسکوپ تونل نیروی روبشی
۱۹۰	۱-۹-۲- مقایسه میکروسکوپ نیروی اتمی با میکروسکوپ الکترونی روبشی
۱۹۰	۱-۹-۳- مقایسه میکروسکوپ نیروی اتمی با میکروسکوپ الکترونی عبوری
۱۹۱	۱-۹-۴- مقایسه میکروسکوپ نیروی اتمی با میکروسکوپ نوری
۱۹۱	۱-۹-۵- مقایسه AFM با طیف سنجی فتوالکترون اشعه X
۱۹۳	۱-۱۰- مراجع فصل اول
۲۰۱	فصل دوم: تهیه تصاویر با میکروسکوپ نیروی اتمی
۲۰۳	۲- تهیه تصاویر با میکروسکوپ نیروی اتمی

۲۰۳	۱-۲- انواع تصویر
۲۰۳	۱-۱-۲- تصویر توپوگرافی
۲۰۴	۲-۱-۲- تصویر نیروی اصطکاک
۲۰۴	۳-۱-۲- تصویر فاز
۲۰۵	۲-۲- زمینه پایه
۲۰۷	۱-۲-۲- میکا
۲۰۸	۲-۲-۲- شیشه
۲۰۸	۳-۲-۲- ترافیت پلی استی سیار منظم
۲۰۹	۴-۲-۲- طلا
۲۰۹	۳-۲- تصویرگیری با لایزر تحت نیروی اتمی
۲۱۰	۱-۳-۲- آماده سازی نمونه
۲۱۴	۱-۱-۳-۲- آماده سازی نمونه های درم
۲۱۶	۲-۱-۳-۲- آماده سازی پلیمرها
۲۱۶	۳-۱-۳-۲- آماده سازی مولکول های زیستی
۲۱۷	۴-۱-۳-۲- آماده سازی DNA
۲۱۸	۵-۱-۳-۲- آماده سازی پروتئین ها
۲۲۰	۶-۱-۳-۲- آماده سازی سلول ها
۲۲۲	۷-۱-۳-۲- آماده سازی باکتری ها
۲۲۴	۸-۱-۳-۲- آماده سازی چربی ها
۲۲۵	۹-۱-۳-۲- آماده سازی نانولوله ها
۲۲۶	۱۰-۱-۳-۲- آماده سازی سایر نمونه های جامد
۲۲۷	۲-۳-۲- استقرار نمونه
۲۲۷	۳-۳-۲- نصب پروب
۲۲۸	۴-۳-۲- تنظیم لیزر روی پروب
۲۲۹	۵-۳-۲- نزدیک کردن پروب به نمونه
۲۳۰	۶-۳-۲- بهینه سازی شرایط روبش
۲۳۱	۷-۳-۲- بزرگ نمایی تصویر حاصل از روبش

۲۳۲	۴-۲- شرایط کار با دستگاه
۲۳۲	۴-۲-۱- نکات ایمنی
۲۳۳	۴-۲-۲- محیط کار
۲۳۳	۴-۲-۵- پردازش و نمایش تصویر، تحلیل داده‌ها
۲۳۴	۴-۲-۱- پردازش تصاویر
۲۳۴	۴-۲-۱-۱- هم‌سطح سازی
۲۳۵	۴-۲-۱-۲- تنظیم هیستوگرام
۲۳۶	۴-۲-۱-۳- فیلتر کردن
۲۳۷	۴-۲-۱-۴- بیاس بزرگ‌نمایی / دوران
۲۳۷	۴-۲-۱-۵- تصحیح خرابی
۲۳۸	۴-۲-۲- نمایش
۲۳۸	۴-۲-۱-۲- دو بعدی / سه بعدی
۲۳۹	۴-۲-۲- جدول رنگ
۲۳۹	۴-۲-۳- سایه روشن
۲۳۹	۴-۲-۴- روشنی / کنتراست
۲۳۹	۴-۲-۳- تحلیل
۲۴۰	۴-۲-۱-۳- خط نیمرخ عرضی
۲۴۰	۴-۲-۲- زبری خط / سطح
۲۴۱	۴-۲-۳- تحلیل ارتفاع
۲۴۲	۴-۲-۴- تحلیل ذره
۲۴۲	۴-۲-۳-۱- شناخت نانوذره
۲۴۳	۴-۲-۳-۲- شمارش / اندازه‌گیری
۲۴۴	۴-۲-۳-۵- تحلیل دانه‌ها
۲۴۵	۴-۲-۳-۶- نمونه‌های فنی
۲۴۵	۴-۲-۶- بررسی اثرهای ناخواسته تصویری در میکروسکوپ نیروی اتمی
۲۴۷	۴-۲-۱-۶- اثرهای ناخواسته ناشی از پروب

۲۴۹	۲-۶-۱-۱- بزرگ‌تر ظاهر شدن مشخصه روی سطح
۲۵۲	۲-۶-۱-۲- کوچک‌تر ظاهر شدن مشخصه روی سطح
۲۵۶	۲-۶-۱-۳- تکرار الگوهای عجیب و غیر معمول در تصویر (آلودگی سوزن)
۲۵۹	۲-۶-۱-۴- نقایص و ایرادهای شکل گرفته عجیب و غیرواقعی در تصویر
۲۶۰	۲-۶-۱-۵- زاویه بین پروب و نمونه
۲۶۲	۲-۶-۱-۶- در دیواره جانبی پروب در تصویربرداری
۲۶۴	۲-۶-۱-۷- تصویرگیری از طرح روی سطح (خالی شده از زیر)
۲۶۵	۲-۶-۱-۸- در دسترس اطلاعات یا عدم دسترسی منطقه‌ای
۲۶۶	۲-۶-۲- اثرهای خواسته تصویر ناشی از روبشگرها
۲۶۶	۲-۶-۲-۱- کالیبراسیون نقطه‌ای بودن محوره‌های X و Y
۲۶۹	۲-۶-۲-۲- کالیبراسیون نقطه‌ای بودن محور Z
۲۷۰	۲-۶-۲-۳- حرکت قوسی روبشگرها
۲۷۱	۲-۶-۲-۴- حلقه پسماند (جهش لبه‌ها و راستای محور Z)
۲۷۳	۲-۶-۲-۵- خزش روبشگرها
۲۷۵	۲-۶-۲-۶- اندازه‌گیری زاویه Z
۲۷۶	۲-۶-۲-۷- اندازه‌گیری زاویه X-Y
۲۷۷	۲-۶-۲-۸- انحراف حرارتی
۲۷۸	۲-۶-۲-۹- محدوده دینامیک
۲۷۸	۲-۶-۳- اثرهای ناخواسته ناشی از پردازش تصویر
۲۷۹	۲-۶-۳-۱- تصحیح شیب
۲۸۰	۲-۶-۳-۲- استفاده از فیلترها
۲۸۱	۲-۶-۳-۴- اثرهای ناخواسته ناشی از ارتعاش
۲۸۱	۲-۶-۳-۱- ارتعاش‌های طبقاتی
۲۸۲	۲-۶-۳-۲- ارتعاش‌های صوتی
۲۸۳	۲-۶-۳-۵- اثرهای ناخواسته ناشی از منابع دیگر
۲۸۳	۲-۶-۳-۱- اثرهای ناخواسته ناشی از مدار بازخورد یا تنظیم پارامترهای دیگر

۲۸۵	۲-۵-۶-۲- اثرهای ناخواسته ناشی از عیوب الکترونیکی
۲۸۵	۲-۵-۶-۳- اثرهای ناخواسته ناشی از تداخل‌های نور لیزر
۲۸۶	۲-۵-۶-۴- آلودگی سطحی یا نشت خلاء
۲۸۷	۲-۵-۶-۵- انحراف نمونه
۲۸۸	۲-۵-۶-۶- شناسایی اثرهای ناخواسته
۲۹۱	۲-۷- مراجع فصل دوم
۲۹۳	فصل سوم: کاربردهای میکروسکوپ نیروی اتمی
۲۹۵	۳- کاربردهای میکروسکوپ نیروی اتمی
۲۹۶	۳-۱- کاربرد AFM در فیزیک و علم مواد
۲۹۶	۳-۱-۱- اندازه‌گیری نیروی سطح مواد
۲۹۹	۳-۱-۲- اندازه‌گیری ساختار لایه‌های پلیمری
۳۰۰	۳-۱-۳- تصویرگیری با توان میکرونی از ساختار بلوری
۳۰۰	۳-۱-۴- اندازه‌گیری نیروی اصطکاک
۳۰۱	۳-۱-۵- تصویرگیری فاز برای تشخیص طیف‌های روی سطح
۳۰۱	۳-۲- کاربرد در فناوری‌نانو
۳۰۱	۳-۲-۱- اندازه‌گیری نانو ذرات
۳۰۲	۳-۲-۲- اندازه‌گیری مکانیکی نانولوله‌ها
۳۰۳	۳-۲-۳- ساخت نانو قطعات
۳۰۳	۳-۲-۴- برهم‌کنش نانو ذرات و DNA
۳۰۴	۳-۲-۵- اندازه‌گیری الکتریکی نانو ساختارها
۳۰۶	۳-۳- کاربرد در علوم زیستی
۳۰۶	۳-۳-۱- تصویرگیری از مولکول‌های زیستی
۳۰۷	۳-۳-۲- اندازه‌گیری سلول باکتری
۳۰۸	۳-۳-۳- تصویرگیری از غشای چربی
۳۰۹	۳-۳-۴- تصویرگیری از سلول پستانداران
۳۱۰	۳-۳-۵- طیف‌سنجی نیرو در علوم زیستی

۳۱۱	۴-۳- کاربردهای صنعتی
۳۱۱	۳-۴-۱- کاربرد در صنایع تولیدی
۳۱۳	۳-۴-۲- کاربرد در فناوری‌های پیشرفته
۳۱۴	۳-۴-۱- کاربرد در صنعت نیمه هادی‌ها
۳۱۵	۳-۴-۲- کاربرد در ذخیره اطلاعات
۳۱۵	۳-۴-۱- کاربرد در سامانه‌های میکروالکترومکانیکی
۳۱۶	۳-۴-۲- کاربرد در محصولات نوری
۳۱۷	۳-۵- نانولیتوگرافی
۳۱۸	۳-۵-۱- روش‌های اصلی نانولیتوگرافی با SPM
۳۱۸	۳-۵-۱-۱- روش مکانیکی
۳۱۹	۳-۵-۱-۲- روش الکتریکی
۳۲۰	۳-۵-۲- انواع لیتوگرافی با SPM
۳۲۱	۳-۵-۱-۲- جابه‌جایی اتم‌ها
۳۲۱	۳-۵-۲-۲- ایجاد طرح روی سطح به روش سیم‌برو
۳۲۳	۳-۵-۲-۳- ایجاد طرح روی سطح به روش ترمومکانیک
۳۲۳	۳-۵-۲-۴- ایجاد طرح روی سطح به روش اکسیداسیون موضعی
۳۲۷	۳-۵-۲-۱- نانولیتوگرافی روی لایه مقاوم
۳۳۱	۳-۵-۲-۲- ایجاد طرح‌های نانومتری روی تک لایه‌های خودآ
۳۳۳	۳-۵-۲-۳- نانولیتوگرافی لایه حساس به نور
۳۳۳	۳-۵-۲-۵- نانولیتوگرافی شیمیایی موضعی
۳۳۵	۳-۵-۲-۶- نانولیتوگرافی قلم آغشته
۳۴۲	۳-۵-۲-۷- نانولیتوگرافی با قلم دارای روزنه
۳۴۲	۳-۵-۲-۸- نانولیتوگرافی پیوندزنی با نیروی بالا
۳۴۵	۳-۵-۳- روش‌های اساسی روبش سطح در نانولیتوگرافی
۳۴۶	۳-۵-۴- عوامل مؤثر در نانولیتوگرافی
۳۴۶	۳-۵-۱- تأثیر دوز الکترون

۳۴۷	۳-۵-۴-۲- تأثیر جریان نشر و ولتاژ بین سوزن و سطح پایه
۳۴۸	۳-۵-۴-۳- اثر نیروی نرمال و سرعت روبش سوزن
۳۵۱	۳-۵-۴-۴- اثر تعداد دور خراش بر عمق شیار
۳۵۲	۳-۵-۴-۵- نوع پایه و ولتاژ اکسیداسیون
۳۵۴	۳-۵-۴-۶- عوامل مؤثر بر نانولیتوگرافی قلم آغشته
۳۵۴	۳-۵-۵- حاسبات نیرو در نانولیتوگرافی
۳۵۶	۳-۵-۵- مطالعه تجربی نانولیتوگرافی با میکروسکوپ نیروی اتمی
۳۶۰	۳-۵-۶- مدل سازی نیرو بر اساس منحنی نیرو
۳۶۳	۳-۵-۶-۱- ترسیم منحنی نیرو با سوزن تماسی
۳۶۴	۳-۵-۶-۲- ترسیم منحنی نیرو با سوزن غیرتماسی
۳۶۶	۳-۵-۶-۳- ترسیم منحنی نیرو با سوزن الماسه
۳۶۷	۳-۵-۶-۲- نانولیتوگرافی بر روی سطح متفاوت
۳۶۷	۳-۵-۶-۱- نانولیتوگرافی روی پایه پلی سیلیسیم
۳۶۸	۳-۵-۶-۲- نانولیتوگرافی روی پایه پلی سیلیسیم
۳۷۴	۳-۵-۶-۲- نانولیتوگرافی روی پایه HCPG
۳۷۷	۳-۵-۶-۴- نانولیتوگرافی روی سطح پلی میل الکترودیت
۳۷۷	۳-۵-۶-۴-۱- نانولیتوگرافی لایه پلیمری PMMA روی شیشه‌ای
۳۸۰	۳-۵-۶-۴-۲- نانولیتوگرافی لایه پلیمری PMMA روی پایه پلی سیلیسیم
۳۹۰	۳-۶- بررسی پارامترهای زبری
۳۹۲	۳-۶-۱- اصطلاحات و تعاریف
۳۹۲	۳-۶-۱-۱- نیمرخ عرضی سطح
۳۹۳	۳-۶-۱-۲- خط میانی
۳۹۴	۳-۶-۱-۳- طول نمونه برداری
۳۹۴	۳-۶-۱-۴- اجزای نیمرخ عرضی
۳۹۴	۳-۶-۱-۵- پهنای اجزای نیمرخ عرضی
۳۹۵	۳-۶-۲- انواع پارامتر زبری

۳۹۵	۳-۶-۲-۱- پارامترهای دامنه
۳۹۶	۳-۶-۲-۱-۱- متوسط ارتفاع نیمرخ عرضی
۳۹۸	۳-۶-۲-۱-۲- انحراف ریشه میانگین مربعات سطح
۳۹۹	۳-۶-۲-۱-۳- حداکثر ارتفاع نیمرخ عرضی
۴۰۱	۳-۶-۲-۴- عدم تقارن نیمرخ عرضی
۴۰۴	۳-۶-۲-۵- کشیدگی نیمرخ عرضی
۴۰۶	۳-۶-۲-۶- پارامترهای فاصله
۴۰۷	۳-۶-۲-۱- طول سرزمین واپاشی تابع خود همبستگی سطح
۴۰۹	۳-۶-۲-۲- چارهای سطح
۴۱۰	۳-۶-۲-۳- نسبت ابعاد سطح
۴۱۱	۳-۶-۲-۴- جهت گیری سطح
۴۱۴	۳-۶-۲-۳- پارامترهای دو گانه
۴۱۴	۳-۶-۲-۱- شیب ریشه میانگین مربعات نیمرخ عرضی
۴۱۶	۳-۶-۲-۲- میانگین حسابی انحنای قله
۴۱۷	۳-۶-۲-۳- نسبت سطح فصل مشترک توسط یافته
۴۱۸	۳-۶-۲-۴- پارامترهای عملکردی
۴۲۱	۳-۶-۲-۱- نیمرخ عرضی هسته مرکزی زبری
۴۲۳	۳-۶-۲-۲- ضریب نیمرخ عرضی هسته مرکزی زبری
۴۲۴	۳-۶-۲-۳- حجم ماده قله‌ها
۴۲۵	۳-۶-۲-۴- حجم فضای خالی دره‌ها
۴۲۶	۳-۶-۲-۵- ضریب حجم فضای خالی دره‌ها
۴۲۶	۳-۶-۲-۶- ضریب تحمل سطح
۴۲۷	۳-۶-۳- بررسی و توصیف پارامترهای زبری در یک نمونه مشخص
۴۳۲	۴-۶-۳- مطالعه تجربی خوردگی و تغییرات زبری سطح برنج با XPS و AFM
۴۳۹	۳-۷- بررسی فرآیند رشد بلور
۴۳۹	۳-۷-۱- تشکیل بلور

۴۴۶	۲-۷-۳- مطالعه پدیده تبلور با AFM
۴۵۱	۱-۲-۷-۳- کنترل دما و محیط آزمایش
۴۵۳	۲-۲-۷-۳- سرعت تصویربرداری
۴۵۴	۳-۲-۷-۳- بهبود توان تفکیک تصاویر
۴۵۵	۳-۱-۳- بررسی رشد بلور ژئولیت
۴۶۲	۱-۳-۳- بررسی تجربی رشد بلور ژئولیت L با AFM
۴۷۱	۸-۱- اندازه گیری نیروی چسبندگی سطح نانو مواد
۴۷۳	۱-۸-۳- آماده سازی پروب
۴۷۴	۲-۸-۳- آماده سازی نمونه
۴۷۵	۳-۸-۳- چگونگی اندازه گیری نیروی چسبندگی
۴۷۹	۴-۸-۳- اندازه گیری نیروی چسبندگی در علوم زیستی
۴۸۰	۵-۸-۳- اندازه گیری نیروی چسبندگی در پلیمرها
۴۸۴	۹-۳- اندازه گیری مدول الاستیسیته مواد نانو ساختار
۴۸۴	۱-۹-۳- تئوری الاستیسیته
۴۸۵	۲-۹-۳- اندازه گیری مدول الاستیسیته
۴۹۱	۱-۲-۹-۳- مدل هرتز
۴۹۵	۲-۲-۹-۳- خواص نمونه
۴۹۷	۳-۲-۹-۳- محدوده مناسب
۴۹۹	۴-۲-۹-۳- انتخاب پروب
۵۰۰	۵-۲-۹-۳- آماده سازی پروب
۵۰۲	۶-۲-۹-۳- آزمون های ایجاد خراش
۵۰۲	۷-۲-۹-۳- پردازش داده ها
۵۰۴	۸-۲-۹-۳- آزمایش سامانه
۵۰۶	۳-۹-۳- اندازه گیری های الاستیسیته و توان تفکیک نهایی در تصاویر AFM
۵۰۶	۱۰-۳- اندازه گیری نیروی اصطکاک
۵۱۱	۱۱-۳- مطالعه رفتار حرارتی مواد در ابعاد نانومتر

صفحه	عنوان
۵۱۳	۳-۱۱-۱- میکروسکوپی حرارتی روبشی
۵۱۹	۳-۱۱-۲- کالیراسیون MTA
۵۲۰	۳-۱۱-۳- تشخیص همزمان گاز متصاعد شده از نمونه در MTA
۵۲۳	۳-۱۲- ثبت صدای حشرات زنده
۵۲۵	۳-۱۳- راجع فصل سوم
۵۳۹	واژه‌نامه

www.ketab.ir

پیشگفتار

ماهیت فرارشته‌ای فناوری نانو در توانمندی تولید مواد، ساخت ابزارها و سامانه‌های جدید (مقیاس نانو)، منجر به کاربردهایی وسیع در حوزه‌های مختلف علمی و صنعتی شده است و روش‌های آنالیز سطح به منظور شناسایی، بررسی و تعیین مشخصات سطوح، جایگاهی ویژه یافته‌اند. اگرچه روش‌های زیادی برای شناسایی مشخصات سطوح وجود دارند ولی روش‌های میکروسکوپی با امکان تصویربرداری و بررسی ساختار سطح از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند.

میکروسکوپی الکترونی روبشی^۱، میکروسکوپی الکترونی عبوری^۲ و میکروسکوپی پروبی روبشی^۳ از جمله روش‌های کاربر استفاذه در حوزه فناوری نانو به شمار می‌روند. این روش‌ها، امکان تهیه تصاویر با بزرگنمایی‌های بالاتر از توان میکروسکوپ نوری را میسر نموده‌اند و به کمک آن‌ها می‌توان اطلاعات مستقیم و گوناگونی از سطح به دست آورد و مواردی نظیر نقص‌های بلوری، سطوح ناصاف و برهم‌تابش پرتو الکترونی با اتم‌های نمونه را مورد بررسی و مطالعه قرار داد. امروزه روش‌های فوق به‌عنوان ابزارهایی توانمند جهت بررسی، تکمیل و اثبات درستی نتایج حاصل از تحقیقات و آزمایش‌های انجام شده در حوزه‌های مختلف علمی، پژوهشی و صنعتی به کار می‌روند.

میکروسکوپی پروبی روبشی ابتدا به عنوان ابزاری برای تهیه تصاویر با مقیاس اتمی از سطح نمونه‌ها به کار می‌رفت، ولی امروزه با توجه به تنوع وجود در خانواده SPM، امکان حس کردن و شناسایی خواص متفاوت فیزیکی و شیمیایی سطوح در مقیاس اتمی نیز فراهم شده است. کاربری ساده‌تر نسبت به سایر روش‌های موجود، روش‌های مزین‌ها، امکان آماده‌سازی آسان و کار در محیط‌های هوا، مایع و خلأ، استفاده از نیروهای خفیه و عدم آسیب به نمونه و تنوع حالت‌های کاری، باعث تمایز این روش‌های میکروسکوپی نسبت به سایر روش‌ها شده است.

¹ Scanning Electron Microscopy (SEM)

² Transmittance Electron Microscopy (TEM)

³ Scanning Probe Microscopy (SPM)

توانمندی روش‌های فوق در مطالعه نیروهای مختلف نظیر اصطکاک و چسبندگی به همراه امکان بررسی رفتارهای حرارتی، الکتریکی، مغناطیسی و مکانیکی انواع نمونه‌های هادی، نیمه‌هادی، سخت، نرم و زیستی، همواره مورد توجه دانشمندان علوم مختلف قرار دارد و به عنوان یک محور اساسی در تعریف و اجرای پروژه‌های تحقیقاتی و صنعتی در نظر گرفته می‌شود. دامنه تحقیقات انجام شده در این خصوص بسیار گسترده است که به عنوان مثال می‌توان به مطالعه تغییرات الکتروشیمیایی درجا، جابه‌جایی اتم‌ها و مولکول‌ها، اندازه‌گیری نیروها در علوم دارویی و تأثیر آن‌ها در بدن انسان و دیگر موارد اشاره نمود.

میکروسکوپ روبشی^۱ اولین نوع از سری میکروسکوپ‌های پروبی روبشی است که در سال ۱۹۸۱ میلادی برای مشاهده و حس نانو ساختارهای روی سطح اختراع شد. STM، اولین دستگاهی بود که تصاویر سه بعدی واقعی با توان تفکیک اتمی از سطوح تولید کرد و به دانشمندان امکان داد که برای اولین بار اتم‌ها و مولکول‌ها را مشاهده کنند و مقیاس تصویراپذیر نانومتر را به نمایش درآورند.

میکروسکوپ نیروی اتمی^۲ نوع دیگری از سری میکروسکوپ‌های پروبی روبشی است که در سال ۱۹۸۶ میلادی به طور مستقل معرفی شد. برای بررسی و مطالعه خواص مکانیکی متفاوت سطح اختراع شد. این میکروسکوپ یکی از ابزارهای تصویربرداری در مقیاس نانو است که بر اساس برهم‌کنش نیروهای بین سوزن و سطح نمونه (کوتاه یا بلند برد، جاذبه یا دافعه)، امکان بررسی خواص و ساختار سطحی مواد در مقیاس نانومتری را فراهم می‌کند. این میکروسکوپ امکان تهیه تصاویر دو بعدی و سه بعدی با تفکیک بالا از سطح نمونه را ممکن می‌سازد و دارای دامنه کاربرد بسیار گسترده در حوزه‌های مختلف علوم و فناوری است.

این کتاب به عنوان یکی از دستاوردهای کارگروه تخصصی SPM در آزمایشگاهی فناوری نانو و با هدف آشنایی با روش میکروسکوپی نیروی اتمی و کاربرد آن در شناسایی نانو مواد، کمک به پژوهشگران برای استفاده بهتر و کاربردی‌تر در پژوهش‌های مرتبط با

^۱ Scanning Tunneling Microscopy (STM)

^۲ Atomic Force Microscopy (AFM)

فناوری نانو و توسعه جریان دانش به رشته تحریر درآمده است، لذا سعی شده است، با بهره‌گیری از مطالعات و تجربیات نویسندگان در این حوزه، اصول این روش و کاربردهای آن به روشنی توضیح داده شوند.

فصل اول این کتاب با عنوان "مبانی میکروسکوپی نیروی اتمی"، ابتدا به معرفی اجمالی فناوری AFM و میکروسکوپ پروبی روبشی می‌پردازد و سپس AFM را که ابزاری استاندارد و قدرتمند برای شناسایی نانو مواد است، توصیف می‌کند.

فصل دوم با عنوان "تهیه تصویر با میکروسکوپ نیروی اتمی"، ضمن معرفی اجمالی انواع تصویر و زیرپیکچرها، روش تهیه تصویر با میکروسکوپ نیروی اتمی، روش‌های پردازش تصویر و تحلیل داده‌ها و روش‌های ناخاسته تصویری را مورد بررسی قرار می‌دهد.

فصل سوم با عنوان "کاربردهای AFM در علوم مختلف"، ضمن معرفی اجمالی انواع کاربردهای میکروسکوپ نیروی اتمی، به توصیف نانولیتوگرافی، مطالعه رشد کریستال، مطالعه زبری، تعیین نیروی چسبندگی، تعیین مدول یانگ و تعیین نیروی اصطکاک با AFM می‌پردازد.

امیدواریم 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 هرگونه کاستی، موجب کمال امتنان خواهد بود.

حمایت‌های ارزشمند آقایان دکتر رضا اسدی فرد ریاست محترم شبکه آزمایشگاهی نانو و مهندس مجتبی نسب کارشناس محترم آن شبکه به همراه تلاش ساختار و ویرایش علمی و ادبی این اثر توسط آقای مهندس علی دیلمقانی، نقشی بسزا در تألیف این کتاب ایفا نمود. لذا از حمایت‌ها و همکاری ارزنده نامبردگان فوق، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نماییم.

صدیقه صادق حسنی

جمال‌الدین افضلی

مریم خسروی