

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



معرفی میکروسکوپ های پروبی روبشی

- مهدی کدخدائی - کارشناسی ارشد - مهندسی فناوری نانو - دانشگاه شیراز دانشکده فنی و مهندسی گروه مهندسی مواد
- محمد هادی مقیم - دکتری تخصصی - مهندسی مواد - دانشگاه شیراز دانشکده فنی و مهندسی گروه مهندسی مواد

میکروسکوپ های پروبی روبشی (SPM) به مجموعه گسترده ای از تکنیک ها گفته می شود که روبش سطح توسط یک پروب با قدرت تفکیک نانویی و حتی آنگسترومی انجام شده و تصاویر توپوگرافی یا نقشه هایی از یک خاصیت ویژه از سطح مواد ارائه می گردد. اختراع میکروسکوپ پروبی روبشی، باعث تاثیر شگرفی بر توسعه فناوری نانو شده، و امکانات جدیدی جهت طراحی سیستم های نانویی ایجاد نموده است. در مجموعه مقالات میکروسکوپ های پروبی روبشی ضمن معرفی هر دستگاه، تاریخچه، نحوه عملکرد، کاربردها، معایب و مزایای هر روش مورد بررسی قرار می گیرد.

مقدمه

امروزه اهمیت شناسایی و بررسی مواد و سیستم ها با استفاده از میکروسکوپ های پروبی روبشی، در فناوری های پیشرفته و تحقیقات، بعنوان یک بخش غیر قابل اجتناب مطرح می باشد. در طی بیست سال اخیر، میکروسکوپهای پروبی روبشی (SPM)، از یک تکنیک ناشناخته به ابزار تحقیقاتی موفق و گسترده جهت بررسی خواص سطحی، مبدل گشته است. در یک نگاه، میکروسکوپ پروبی روبشی عنوان جامعی برای مجموعه گسترده ای از تکنیک هاست، که توسط یک پروب (probe) سوزن (tip)، سطح مواد را با قدرت تفکیکی تا مقیاس نانو و حتی آنگستروم، روبش (scan) می کند و تصاویر توپوگرافی، یا نقشه هایی از یک خاصیت ویژه از سطح مواد ارائه می دهد

تاریخچه

در سال ۱۹۸۱ میلادی، میکروسکوپ تونلی رویشی (STM= scanning tunneling microscope) بعنوان اولین عضو از خانواده میکروسکوپ های پروبی روبشی بوسیله دو تن از محققین سوئیسی بنامهای گرد کارل بینینگ (GerdKarl Binnig) و هاینرک رورر (Heinrich Rohrer)، در آزمایشگاه تحقیقاتی زوریخ IBM،

اختراع شد. با وجود چند اختراع نسبتاً مشابه در زمینه ساخت میکروسکوپهای پروبی روبشی در آن ایام، این دو دانشمند در سال ۱۹۸۶ جایزه نوبل فیزیک را به جهت این اختراع دریافت نمودند.

در همین سال، بینینگ میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) را نیز با همکاری کلوین کوات (Calvin Quate) و کریستف گربر (Christoph Geber) از دانشگاه استنفورد معرفی نمود.

تولیدات تجاری SPM با میکروسکوپ های STM در سال ۱۹۸۷ میلادی و میکروسکوپ های AFM، در ۱۹۸۹ میلادی کلید خورد. به دنبال اختراع STM و سپس AFM، تلاش های بسیاری جهت مطالعه مورفولوژی و ساختار سطوح و فصل مشترک آن ها صورت گرفت و در بازه کوتاهی از زمان، میکروسکوپ نیروی مغناطیسی (MFM)، میکروسکوپ نیروی الکتریکی (EFM)،

میکروسکوپهای نوری میدان نزدیک روبشی (SNOM)، بصورت پیشرفته تر از قبل، و بسیاری دیگر از ابزارهای شناسایی با مبانی مشابه در عملکرد، تحت عنوان کلی میکروسکوپهای پروبی روبشی ساخته و به جهان علم عرضه گردید.

با معرفی و عرضه انواع میکروسکوپ های پروبی روبشی، بسیاری از تصاویر شگفت آور علمی در جهان منتشر شد که دریچه باز به درون جهان مقیاس نانو گشود. با آگاهی از پتانسیل بالای این روش ها، محققین اقدام به توسعه تحقیقات خود و بدست آوردن بیشتر اطلاعات و آگاهی از مواد، ساختارها و مکانیزم های مطرح در مقیاس نانو نمودند. در جدول ۱، رویدادهای اساسی در روند توسعه و پیشرفت میکروسکوپ های پروبی روبشی به اختصار بیان شده است.

جدول ۱- رویدادهای اساسی در روند توسعه و پیشرفت میکروسکوپیهای پروبی روبشی

سال	نام دستگاه	محقق مطرح	ویژگی
۱۹۸۱	Scanning tunneling microscope	G. Binnig, H. Rohrer	تصاویر با تفکیک پذیری اتمی از سطوح رسانا
۱۹۸۲	Scanning near-field optical microscope	D. W. Pohl	تفکیک پذیری ۵۰ نانومتر در تصاویر نوری
۱۹۸۴	Scanning capacitive microscope	J. R. Matey, J. Blanc	تصاویر با تفکیک پذیری ۵۰۰ نانومتر با تجزیه و تحلیل جانبی از تغییرات ظرفیت الکتریکی
۱۹۸۵	Scanning thermal microscope	C. C. Williams, H. K. Wickramasinghe	تفکیک پذیری ۵۰ نانومتر در تصاویر حرارتی
۱۹۸۶	Atomic-force microscope	G. Binnig, C. F. Quate, Ch. Gerber	تفکیک پذیری اتمی در نمونه های نارسانا و رسانا
۱۹۸۷	Magnetic-force microscope	Y. Martin, H. K. Wickramasinghe	تفکیک پذیری ۱۰۰ نانومتر در تصاویر مغناطیسی
	Frictional force microscope	C. M. Mate, G. M. McClelland, S. Chiang	تصاویر مقیاس اتمی از نیروهای جانبی (اصطکاکی)
	Electric force microscope	Y. Martin, D. W. Abraham, H. K. Wickramasinghe	تشخیص بارهای الکتریکی منفرد روی سطوح نمونه
	Inelastic tunneling STM spectroscopy	D. P. E. Smith, D. Kirk, C. F. Quare	تشخیص طیف های فونونی مولکولها در STM
	Laser driven STM	L. Arnold, W. Krieger, H. Walther	تصویربرداری بوسیله اختلاط غیرخطی امواج نوری در STM
	Ballistic electron emission microscope	W. J. Kaiser	بررسی سدهای شاتکی با تفکیک پذیری نانومتر
۱۹۸۸	Inverse photoemission microscope	J. H. Coombs, J. K. Gimzewski, B. Reihl J. K. Sass, R. R. Schlittler	تشخیص طیف های نشری در مقیاس نانومتر

اندازه گیریهای صوتی با بسامد پایین، با تفکیک پذیری ۱۰ نانومتر	K. Takata, T. Hasegawa, S. Hosaka, S. Hosoki. T. Komoda	Near-field acoustic microscope	۱۹۸۹
تشخیص جریان تونل زنی بدون ولتاژ بایاس	R. Moller A. Esslinger, B. Koslowski	Scanning noise microscope	
به تصویر کشیدن اسپین در یک ماده پارامغناطیس با تفکیک پذیری یک نانومتر	Y. Manassen, R. Hamers, J. Demuth, A. Castellano	Scanning spin - precession microscope	
تصویربرداری در الکترولیت با تفکیک پذیری ۵۰۰ نانومتر	P. Hansma, B. Drake, O. Marti, S. Gould, C. Prater	Scanning ion- conductance microscope	
بررسی وضعیت و تغییرات الکتروشیمیایی	O. E. Husser, D. H. Craston, A. J. Bard	Scanning electrochemical microscope	
تصاویر مقیاس اتمی از تغییرات پتانسیل شیمیایی	C. C. Williams, H. K. Wickramasinghe	Scanning chemical potential microscope	۱۹۹۰
تصاویر فتوولتائیک در مقیاس نانومتر	R. J. Hamers, K. Markert	Photovoltage STM	
اندازه گیری پتانسیل سطح با تفکیک پذیری ۱۰ نانومتر	masinghe N. Nonnenmacher, M. P. O'Boyle, H. K. Wickra	Kelvin probe force microscope	۱۹۹۱
مشخصه یابی نوری با تفکیک پذیری یک نانومتر	F. Zenhausern, M. P. O'Boyle, H. K. Wickramasinghe	Apertureless near- field optical microscope	۱۹۹۴

انواع میکروسکوپهای پروبی روبشی

خانواده تجهیزات مبتنی بر STM ها و AFM ها که تحت عنوان کلی میکروسکوپهای پروبی روبشی (SPM)، نامیده می شوند، به منظور کاربردهای گسترده ای در حیطه های علمی و صنعتی توسعه یافته اند. این میکروسکوپ ها شامل اول STM، دوم AFM و نیز LFM یا FFM، میکروسکوپ نیروی الکتروستاتیکی روبشی (SEFM)، میکروسکوپ صوتی نیروی روبشی (SFAM) یا میکروسکوپ صوتی نیروی اتمی (AFAM) میکروسکوپ مغناطیسی روبشی (SMM) یا میکروسکوپ نیروی مغناطیسی (MFAM) از، میکروسکوپ نوری میدان نزدیک روبشی (SNOM)، میکروسکوپ حرارتی روبشی (SThM)، میکروسکوپ الکتروشیمیایی روبشی (SECM)، میکروسکوپ پروبی کلونی روبشی (SKPM)، میکروسکوپ پتانسیل شیمیایی روبشی (SCPM)، میکروسکوپ هدایت یونی روبشی (SICM) و میکروسکوپ ظرفیتی روبشی (SCM) و ... هستند.

گاهی به گروهی از تجهیزات و دستگاههایی که نیروها را اندازه میگیرند (همانند AFM، FFM، SEFM، SFAM و SMM، میکروسکوپ نیروی سطحی (یا روبشی)، (SFAM) نیز گفته می شود. برخی نامهای رایج در مطالعه میکروسکوپهای پروبی روبشی در جدول ۲، ذکر شده اند.

جدول ۲- برخی نامهای رایج در مطالعه میکروسکوپیهای پروبی روبشی

نام	مخفف	کامل
میکروسکوپ تونلی روبشی	(STM)	scanning tunneling microscope
میکروسکوپ نیروی اتمی	(AFM)	Atomic force microscope
میکروسکوپ نیروی مغناطیسی	(MFM)	magnetic force microscope
میکروسکوپ نوری میدان نزدیک روبشی	(SNOM)	Scanning near-field optical microscope
میکروسکوپ هدایت یونی روبشی	(SICM)	Scanning ion conductance microscope
میکروسکوپ نیروی اتمی هدایتی	(CAFM)	conductive atomic force microscope
میکروسکوپ نیروی جانبی	(LFM)	lateral force microscope
میکروسکوپ آشکارسازی فاز	(PDM)	phase detection microscope
میکروسکوپ انتشار فوتونی با دریچه روبشی	(PEMSA)	Photo emission microscopy with scanning aperture
میکروسکوپ صوتی میدان نزدیک روبشی	(SNAM)	Scanning near-field acoustic microscope
میکروسکوپ تونلی روبشی با انتشار فوتون برگشتی	(STMiPE)	Scanning tunneling microscope with inverse photo emission
میکروسکوپ تونلی روبشی لیزری	(LSTM)	LASER scanning tunneling microscope
میکروسکوپ حرارتی روبشی	(SThM)	Scanning thermal microscope
میکروسکوپ تونلی روبشی الکتروشیمیایی	(EcSTM)	Electrochemical scanning tunneling microscope
میکروسکوپ نویزی روبشی	(SNM)	Scanning noise microscope
میکروسکوپ ظرفیتی روبشی	(SCM)	Scanning capacitance microscope

Scanning potentiometry microscope	(SPotM)	میکروسکوپ پتانسیومتری روبشی
Scanning spreading resistance microscope	(SSRM)	میکروسکوپ مقاومت گسترده روبشی
scanning tunneling atom probe microscope	(STAP)	میکروسکوپ پروب اتمی تونلی روبشی
friction force microscope	(FFM)	میکروسکوپ نیروی اصطکاکی
Scanning electrostatic force microscope	SEFM	میکروسکوپ نیروی الکترواستاتیکی روبشی
scanning force acoustic microscope	SFAM	میکروسکوپ صوتی نیرویی روبشی
Chemical force microscope	CFM	میکروسکوپ نیرویی شیمیایی
Shear force microscope	ShFM	میکروسکوپ نیروی برشی
atomic force acoustic microscope	AFAM	میکروسکوپ صوتی نیروی اتمی
scanning electrochemical microscope	SEcM	میکروسکوپ الکتروشیمیایی روبشی
scanning Kelvin probe microscope	SKPM	میکروسکوپ پروبی کلونی روبشی
scanning chemical potential microscope	SCPM	میکروسکوپ پتانسیل شیمیایی روبشی
scanning(or surface) force microscope	SFM	میکروسکوپ نیرویی روبشی(یا سطحی)

مقایسه میکروسکوپ های پروبی روبشی با میکروسکوپ های مرسوم

در تکنیک میکروسکوپ های پروبی روبشی، مشابه سایر روشهای آنالیز روبشی (همچون میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM))، سطح نمونه روبش می شود و با اندازه گیری و پردازش سیگنال های بدست آمده از نقاط مختلف سطح روبش شده، تصویر تشکیل می گردد. قدرت تفکیک و بزرگنمایی میکروسکوپ های پروبی روبشی، بهتر از میکروسکوپ های الکترونی متداول است و امکان تهیه تصاویر سه بعدی از اتمها را فراهم می آورد. علاوه بر تهیه تصویر، این تکنیک ها توانایی جابجایی اتمها و قابلیت بررسی طیف وسیعی از مواد سخت، نرم، رسانا، نیمرسانا، نارسانا، مغناطیسی و را دارند .

بر خلاف اغلب میکروسکوپهای الکترونی متداول که به خلاء و آماده سازی نمونه نیاز دارند، میکروسکوپ های پروبی روبشی علاوه بر خلاء، در هوا و یا زیر سطح مایع و با حداقل آماده سازی نمونه (و گاهی بدون نیاز به آماده سازی)، کار می کنند مقایسه میکروسکوپ های نوری، الکترونی و هم کانون با میکروسکوپهای پروبی روبشی در جدول ۳، نشان داده شده است

جدول ۳-مقایسه میکروسکوپ های نوری، الکترونی و هم کانون با میکروسکوپ های پروبی روبشی

میکروسکوپهای پروبی روبشی	هم کانون (Confocal)	میکروسکوپهای الکترونی SEM/TEM	میکروسکوپ نوری	
۱۰ ^۹	۱۰ ^۴	۱۰ ^۷	۱۰ ^۳	بزرگنمایی
۱۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	قیمت محاسبه ای دستگاه بصورت تقریبی (\$)
۳۰	۳۰	۷۰	۴۰۰	قدمت تاریخی (سال)

کاربردهای میکروسکوپهای پروبی روبشی

شناسایی و بررسی مواد با استفاده از میکروسکوپ های پروبی روبشی (SPM= scanning probe microscopy) از جمله تکنیکهای تحقیقاتی قدرتمند و مدرن است که اجازه می دهد که مورفولوژی و خواص موضعی سطوح مختلف با تفکیک پذیری فضایی (spatial resolution) بالا در حد نانومتر، انجام پذیرد

میکروسکوپ پروبی روبشی، ابزاری کلیدی برای ترسیم توپوگرافی (پستی و بلندی های) سطوح و نمایاندن تغییرات خواص فیزیکی و شیمیایی ساختارهایی نظیر ساختارهای مولکولی، در بازه مقیاسی از صدها میکرومتر تا محدوده نانومتر، است. ساده ترین نقشه ای که میکروسکوپ پروبی روبشی ایجاد می کند، همین نقشه توپوگرافی سطح است .

علاوه بر این نقشه های دیگری هم قابل دستیابی است که مناطقی از سطح را که بصورت فیزیکی یا شیمیایی از سایر نقاط متمایز هستند، نشان داده و اطلاعاتی از خواص الکتریکی، مغناطیسی، نوری، مکانیکی و... ارائه می دهند.

از آنجائیکه میکروسکوپ های پروبی روبشی، امکان تحقیق و دستکاری سطوح تا مقیاس اتمی را فراهم می آورند، عموماً با علوم و فناوریهای مربوط به مقیاس نانو بشدت گره خورده اند و در نتیجه برای ایجاد الگوهای نانومتری روی سطوح، یا مشخص کردن نانو مکانیزم های مصنوعات کمپلکس و آرایه های طبیعی بکار می روند. بنابراین گزینه مطلوبی در جهت ساخت و بررسی و بهبود نانومواد و نانوایزرها محسوب می شوند.

به موازات کشف مکانیزم ها و برهمکنش های پیچیده در خلقت اجزاء ریز مواد، میکروسکوپیهای پروبی روبشی، بطور فزاینده ای در بسیاری از زمینه ها کاربرد پیدا کردند. به علاوه مشتقات گوناگونی از این روش ها جهت کاربردهای ویژه، توسعه یافتند

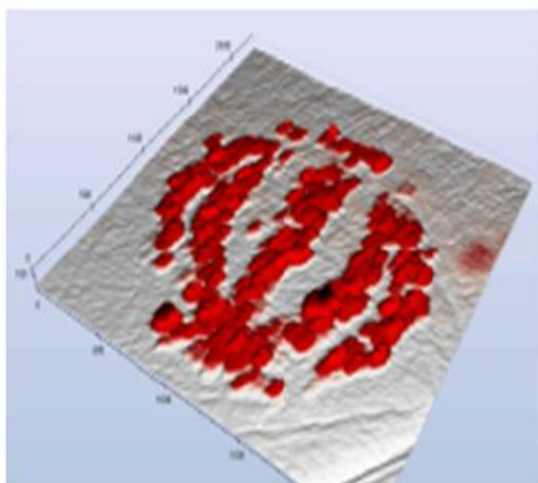
حوزه کاربرد این میکروسکوپ محدوده های میکروسکوپ های نوری و الکترونی را نیز شامل می شود و در مطالعه خواص سطحی نمونه ها از سطح اتمی تا میکرومتری و نانومتری نیز استفاده می گردد. از جمله کاربردهای ویژه میکروسکوپ های SPM می توان بررسی خواص فیزیکی، هدایت الکتریکی، توزیع بار الکتریکی - استاتیکی،

تمرکز تنش، میدان های مغناطیسی، مدول الاستیسیته، ریزسختی سنجی و ... را نام برد .

در حال حاضر، بویژه در تحقیقات انجام شده در زمینه فیزیک سطح و فناوری های لایه نازک، استفاده روزافزون تکنیکهای (SPM)، به خوبی قابل مشاهده است. به علاوه، بررسی مواد با استفاده از میکروسکوپیهای پروبی روبشی، زیربنای توسعه روشهای نوینی در فناوری نانو گردیده است که از آن جمله می توان به فناوری تولید ساختارهای دقیق و پیچیده در مقیاس نانومتری اشاره کرد.

میکروسکوپ پروبی روبشی در محدوده جانبی (در جهت X و Y، تصویربرداری از چند صد میکرومتر تا چند ده پیکومتر را پوشش می دهد و می تواند نقشه سطوح مواد جامد را با قدرت تفکیک اتمی تهیه کند که نه تنها ساختار سطوح کریستالی کامل، بلکه توزیع عیوب نقطه ای، ناخالصی های جذب شده در سطح و عیوب ساختاری را آشکار می سازد .

امروزه میکروسکوپ های پروبی روبشی، بدلیل توانمندی در انجام آزمایشات موضعی که با تک اتمها یا تک مولکولها قابل انجام است، به ابزار ضروری کار در حوزه نانو تبدیل شده اند. اندازه گیری نیروی پیوندهای شیمیایی یگانه یا طیف نوری تک مولکولها، مثالهایی از اینگونه کاربردها هستند. بعلاوه، میتوان از پروب موضعی جهت انجام نانولیتوگرافی، نوشتن در مقیاس نانو(شکل ۱)، جابجایی اتمها یا مولکولها و در نتیجه ایجاد ساختارهای مصنوعی در مقیاس اتمی استفاده نمود.



شکل ۱- نمونه ای از امکان جابجایی اتمها جهت ایجاد تصویر با استفاده از میکروسکوپ تونلی روبشی

از موضوعات اولیه چالش برانگیز در بکارگیری SPM ها به منظور مطالعه پدیده های موضعی الکتروستاتیکی و الکترومکانیکی، مشخصه یابی و آنالیز کمی سیگنال های بدست آمده است. در حقیقت یک تصویر SPM معمولی، با بیان اطلاعات و مشخصاتی نظیر اختلاف پتانسیل،

فعالیت الکتروشیمیایی سطح، تصویر نحوه توزیع ظرفیت الکتریکی و یا پتانسیل در ترانزیستورها، امکان مطالعه خواص سطحی را بصورت کمی فراهم می آورند

بکارگیری تکنیکهای SPM، از همان ابتدا بر روی توانایی بالای آنها در تصویردهی مطلوب از نمونه ها متمرکز شد و بر مبنای همین توانایی در سالهای اخیر، تحقیقات و مطالعات فیزیکی و شیمیایی برهمکنشهای موجود بین سوزن و سطح نمونه و همچنین آنالیزهای کمی تریبولوژیکی، الکترونیکی، مغناطیسی، بیولوژیکی و شیمیایی سطوح بر پایه SPM ها، بین محققان محبوبیت فزاینده ای یافته است.

این موضوع به اثبات رسیده است که SPM ها نه تنها امکان تصویربرداری را فراهم می آورند بلکه افزون بر آن، امکان کنترل و اصلاح ساختار موضعی و بکارگیری مواد را در سطوح اتمی و نانو فراهم می آورند.

انعطاف پذیری حالت های کاری میکروسکوپ پروبی روبشی، امکان کسب آمار و پردازشهای پویا را در شرایط محیطی متفاوت، نظیر محیطهای گازی، مایع و خلاء ممکن می سازد .

مزایای فراوانی از میکروسکوپ های پروبی روبشی، نظیر وجود سادگی در حالات مختلف کاری در عین قابلیت کاربرد در انواع مختلفی از نمونه ها، بازه وسیعی از کاربردها را در پیش چشم محققان گشود. کاربردهایی که هر یک موجب رشد علم مواد در جهان نانو مقیاس می شد.

دو دهه اخیر، شاهد رشد شتابان بکارگیری تکنیکهای SPM، در طیف وسیعی از زمینه های علمی، از فیزیک ماده چگال، شیمی و علم مواد گرفته تا زیست شناسی و پزشکی است. بطوریکه اغراق نیست اگر گفته شود، توسعه علم و فناوری نانو در این دو دهه، با بکارگیری تکنیکهای SPM و توسعه سوزنهای نوین، بشدت رونق یافته است.

به موازات توسعه تکنیکهای SPM محیطی مرسوم، پیشرفت قابل توجهی در توسعه سیستمهای فوق خلاء با قدرت تفکیک بالا (UHVSPM)، صورت پذیرفت که در عین افزایش کیفیت تصاویر، با دشواری هایی در آماده سازی نمونه و عملکرد میکروسکوپ نیز همراه هستند.

این تکنیکها به همراه دهها تکنیک مشابه، پدیدار شده اند تا توانایی دسترسی و دستیابی به خواص موضعی الکتریکی، مغناطیسی، شیمیایی، مکانیکی، نوری و حرارتی مواد و انجام مطالعات بروی پدیده هایی نظیر زبری، چسبندگی، اصطکاک، سایش، سختی و میزان نیروهای پیوندی را در مقیاس نانومتری تأمین نمایند

برخی از اجزاء مهم در میکروسکوپ های پروبی روبشی

میکروسکوپ های پروبی روبشی از اجزا متفاوتی تشکیل شده است، که شامل موارد زیر می باشد:

حسگر: (sensor)

بمنظور بررسی یک خاصیت سطحی ویژه، انواع گوناگونی از حسگرها را می توان برای یک پروب استفاده نمود که به تبع آن، ممکن است تجهیزات الکترونیکی خاصی نیز جهت تجهیز دستگاه نیاز باشد. در اینجا باید خاصیت اندازه گیری شده را به یک سیگنال الکتریکی تبدیل کرد، آنگاه امکان تبدیل این خواص بصورت اطلاعات الکترونیکی برای کنترل و پردازش آنها، در میکروسکوپهای پروبی روبشی فراهم می شود.

روبشگر: (scanner)

قسمت روبشگر دستگاه از قسمت های روبشگر پیزو، مجموعه انبرک (cantilever) و سوزن، سیستم آشکارساز لیزری حساس به موقعیت انبرک و سوزن و در مواردی یک تقویت کننده تشکیل شده است. روبشگر توسط یک سه پایه از جنس آلایژ فلزی مخصوص با حداقل انبساط و انقباض حرارتی بروی یک پایه یا میز نصب می شود. این پایه به لاستیک های جاذب انرژی (Rubber vibration dampers)، مجهز است. وقتی که پایه بر روی میز و در محلی غیرقابل ارتعاش قرار گیرد، می تواند اندازه گیری های تکرارپذیر در جهات

X ، Y و Z با جزئیات بسیار دقیق را انجام دهد [۴، ۵]. روبشگر بطور فیزیکی، حسگر را نگه می دارد و امکان حرکت روبشی را در طول روبش سطح نمونه تأمین می کند.

در اغلب موارد، روبشگر می تواند حسگر را در هر سه جهت حرکت دهد. خود روبشگر با اجزاء پیزوالکتریکی ساخته شده است.

پیزوالکتریکها

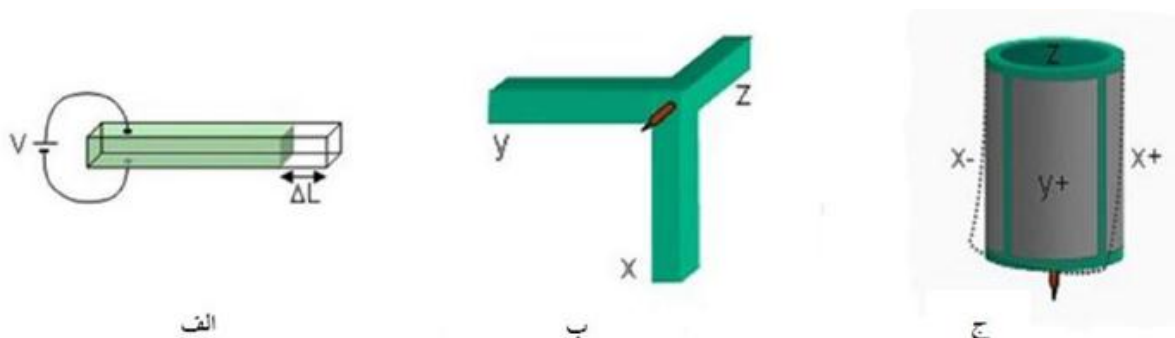
امکان روبش سطح نمونه با قدرت تفکیک بالا، از پارامترهای مهم در میکروسکوپ های پروبی روبشی محسوب می شود که توسط مواد پیزوالکتریک میسر می گردد. این مواد، نوعی سرامیک هستند که در صورت اعمال ولتاژ و متناسب با جهت و میزان آن، تغییر طولی از مرتبه یک آنگستروم می دهند. از این مواد برای جابجاییهای بسیار دقیق استفاده می شود. در میکروسکوپ های پروبی روبشی اولیه، سه میله پیزوالکتریکی عمود برهم، عامل روبشگر (scanner) را تشکیل می دهد، که اعمال ولتاژ به هر یک از این سه میله، باعث تغییر طول آن و در نتیجه انحراف سوزن در راستاهای X ، Y و یا Z ، می شود.

در میکروسکوپ های پروبی روبشی نوین، روبش سطح توسط استوانه پیزوالکتریکی توخالی انجام می شود که بر سطح داخلی آن لایه نازکی از یک فلز رسانای الکتریسیته (مانند نیکل) پوشش داده شده و در سطح خارجی آن چهار نوار فلزی نشانده شده است. سوزن نیز به استوانه متصل گردیده است.

اعمال ولتاژ با جهت و مقدار یکسان به هر چهار الکترود خارجی (نسبت به الکترود داخلی) باعث انبساط و در نتیجه پایین آمدن استوانه و سوزن متصل به آن یا انقباض و بالا رفتن آنها می شود. همچنین اعمال ولتاژ با علامت های مخالف به الکترودهای متقابل (مثلاً X و $-X$)، سبب خم شدن استوانه می گردد که در واقع شامل حرکت در صفحه X و Y و در جهت Z است.

با کنترل نحوه اعمال ولتاژ به پیزوالکتریک توسط نرم افزار دستگاه، می توان سوزن را به دلخواه در هر سه جهت حرکت داد. سیستم الکترونیکی دستگاه، امکان کنترل این حرکت را با دقت ۰٫۱ آنگستروم فراهم می آورد [۴، ۷].

شکل ۲، از نظر ظاهری، قطعات پیزوالکتریکی رایج در میکروسکوپیهای پروبی روبشی را نشان می دهد.



شکل ۲- الف) براساس خاصیت مواد پیزوالکتریک، ولتاژ اعمالی، قطعه پیزو را بلندتر یا کوتاهتر می کند. ب) ترکیب سه قطعه پیزو امکان حرکت پروب را در سه جهت فضایی فراهم می کند. ج) در میکروسکوپیهای پروبی روبشی نوین، از استوانه هندسی توخالی استفاده می شود.

زمانیکه یک ولتاژ مشخص به این اجزاء پیزوالکتریکی اعمال می شود، این اجزاء منبسط و منقبض می گردند. اکثر میکروسکوپیهای پروبی روبشی، ولتاژ خروجی بالایی را برای حرکت روبشگر ایجاد می کنند، که معمولا روبشگر می تواند پروب را فراتر از محدوده چند هزار آنگستروم، با کسری از یک آنگستروم در قدرت تفکیک حرکت دهد.

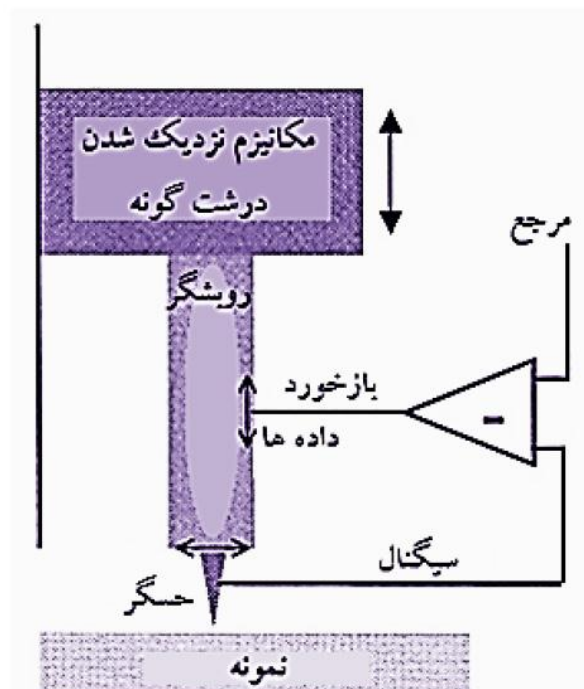
سیستم کنترل بازخوردی: (The feedback control)

اگر سطح نمونه، ناهموار باشد، احتمال برخورد و شکستن پروب دستگاه بسیار زیاد است. در این حالت یک کنترل بازخوردی نیاز است تا فاصله مناسب بین سوزن و نمونه را در طول روبش همواره حفظ کند. برای اطمینان از نزدیکی مقادیر اندازه گیری شده دستگاه با مقدار پیش فرض، همواره مدار کنترل کننده با فرستادن سیگنالهای

الکتریکی، روبشگر را کنترل می کند. برای این منظور، اغلب میکروسکوپ های پروبی روبشی، دارای یک مدار بازخورد استاندارد هستند.

سیستم دستیابی سریع (نزدیک شدن درشت گونه، The coarse approach):

روبشگرهای پیزوالکتریک تنها حرکت های چند هزار آنگسترومی را تأمین می کنند. تمام سیستم های میکروسکوپی پروبی روبشی، برای تأمین حرکت ها و جابجایی های بزرگ، دارای یک سیستم نزدیک شدن و دستیابی سریع هستند تا پروب بتواند با اطمینان تا حد امکان به نمونه نزدیک شود. طراحی های بسیار متفاوتی از سیستم نزدیک شدن درشت گونه وجود دارد. بیشترین نوع تجاری شده آن، ماشینهای مکانیکی با ترکیبی از فنرهای متغیر، پیچهای با رزوه بسیار ریز و اهرم ها هستند. موتورهای پیزوالکتریکی نیز معمولاً در میکروسکوپی پروبی روبشی نوین استفاده می شوند. شکل ۳، مؤلفه های اصلی در SPMها را نشان می دهد.



شکل ۳ - شماتیک نشان دهنده مؤلفه های اصلی در SPM ها. در این مثال سیستم بازخوردی برای حرکت عمودی حسگر بمنظور حفظ یک سیگنال ثابت استفاده می شود. جابجایی عمودی حسگر، به عنوان داده های توپوگرافیکی در نظر گرفته می شوند

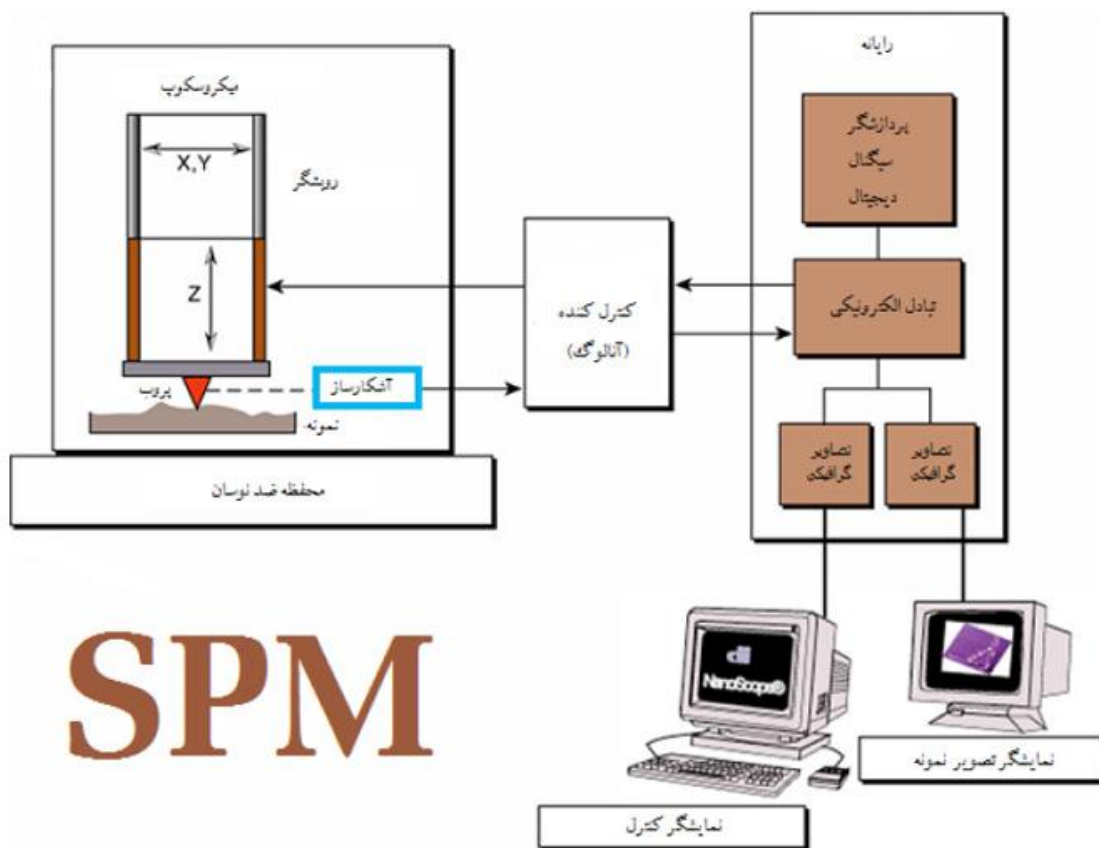
دوربین (Chargecoupled device) CCD

پایه روبشگر به دوربین CCD ، مجهز است که می تواند خود مستقیماً به عنوان یک میکروسکوپ با بزرگنمایی تقریبی ۳۰۰ برابر استفاده شود. تصویر نوری دوربین CCD، بر روی صفحه نمایشگر رایانه، نشان داده شده و برای انتخاب محل مورد نظر روبش روی سطح نمونه به کار می رود .

سیستم پردازش و نرم افزار

در میکروسکوپ های پروبی روبشی، سیگنال های بدست آمده ناشی از حرکت سوزن، با عبور از سیستم تقویت کننده اولیه یا به طور مستقیم به قسمت کنترل کننده که حاوی مدارات الکترونیکی با ارتعاشات کم هستند وارد شده و پس از تقویت و پردازش اولیه جهت تشکیل تصویر به رایانه فرستاده می شود. نرم افزار نصب شده بر روی

کامپیوتر سیگنالهای خروجی از قسمت کنترل کننده را پردازش نموده و به تصویر تبدیل می کند. در عین حال نرم افزار امکان پردازش و اندازه گیری سه بعدی را بروی تصویر حاصله فراهم می نماید [۴، ۵]. شکل ۴، عملکرد میکروسکوپ های پروبی روبشی را بطور خلاصه نشان می دهد.



شکل ۴- عملکرد میکروسکوپهای پروبی روبشی

نتیجه گیری

میکروسکوپ های پروبی روبشی، به دسته ای از میکروسکوپ ها گفته می شود که مبتنی بر تکنیک روبش سطح مواد با استفاده از پروب و با قدرت تفکیک نانویی می باشد. اولین عضو خانواده SPM، میکروسکوپ تونلی روبشی (STM) است. در پی توسعه و پیشرفت میکروسکوپ های پروبی، میکروسکوپ نیرو اتمی (AFM)، میکروسکوپ نیروی الکتروستاتیکی روبشی (SEFM)، میکروسکوپ صوتی نیروی روبشی (SFAM)، میکروسکوپ مغناطیسی روبشی (SMM)، میکروسکوپ نوری میدان نزدیک روبشی (SNOM)، میکروسکوپ حرارتی روبشی (SThM)، میکروسکوپ الکتروشیمیایی روبشی (SEcM)، میکروسکوپ پروبی کلونی روبشی (SKPM)، میکروسکوپ پتانسیل شیمیایی روبشی (SCPM)، میکروسکوپ هدایت یونی روبشی (SICM) و میکروسکوپ ظرفیتی روبشی (SCM) و ... عرضه شدند. میکروسکوپ های پروبی روبشی در مقایسه با میکروسکوپ های الکترونی، قدرت تفکیک و بزرگنمایی بهتری دارند و نیاز به آماده سازی کمتری دارند. همچنین قابلیت کاربرد در محیط های مایع و هوا و خلا، توانایی جابجایی اتمها و امکان بررسی طیف وسیعی از مواد از دیگر امتیازات این میکروسکوپ ها می باشد. حوزه کاربرد میکروسکوپ های پروبی روبشی، علاوه بر اینکه میکروسکوپ های نوری و الکترونی را شامل می شود، میتواند مورفولوژی و خواص موضعی سطوح مختلف را با تفکیک پذیری در حد نانومتر ترسیم نماید و همچنین امکان دستکاری سطوح تا مقیاس اتمی را فراهم آورد. انعطاف پذیری حالات کاری این میکروسکوپ ها، امکان پردازشهای مختلف را در شرایط محیطی متفاوت، نظیر محیطهای گازی، مایع و خلاء ایجاد می کند. اجزا میکروسکوپ های پروبی روبشی، شامل حسگر، روبشگر، سیستم کنترل بازخوردی، سیستم دستیابی سریع، دوربین و سیستم پردازش و نرم افزار می باشد.

