



به نام خدا

انواع پروب های روبشی و کاربردهای آنها

دانشکده مهندسی برق

استاد راهنما: دکتر محمدنژاد

سمینار درس نانو الکترونیک

• مقدمه

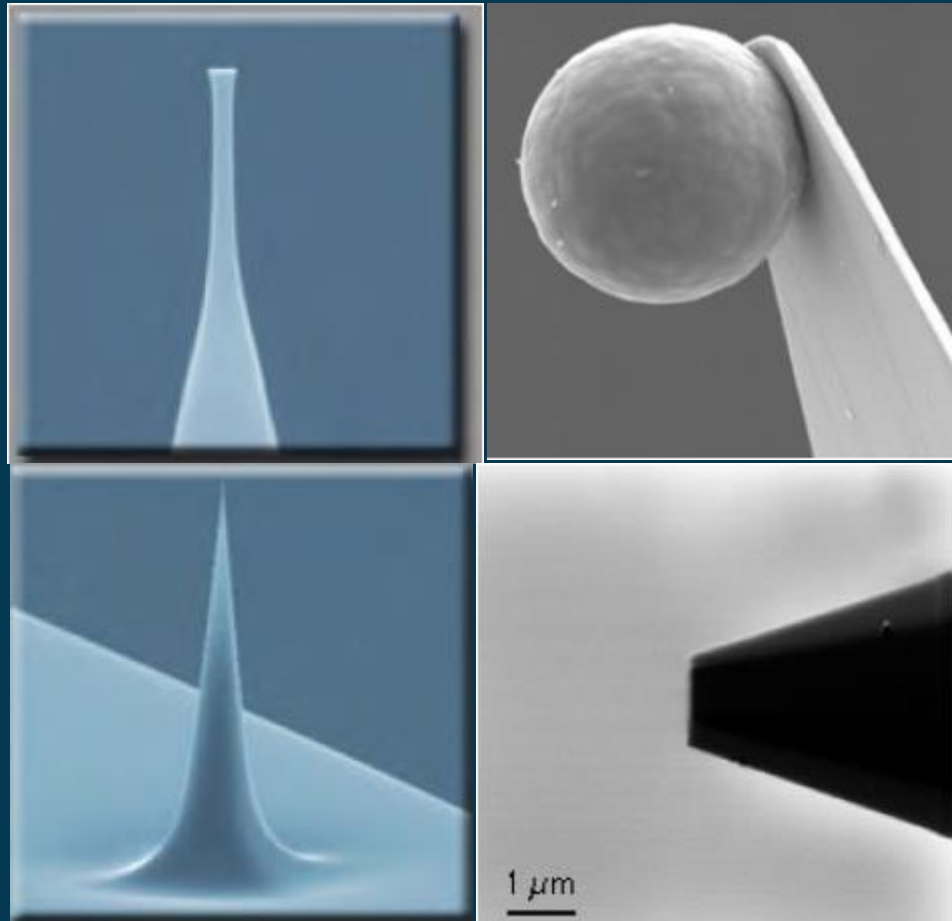
در سال ۱۹۵۹ دانشمندی به نام ریچارد فیمن، در یک سخنرانی گفت که می توان ۲۵ هزار صفحه دایره المعارف را در ابعاد یک سر سوزن جا داد به شرطی می توان به این هدف دست پیدا کرد که کارها در مقیاس اتم و مولکول انجام شود و اتم ها را طوری که خودمان می خواهیم یکی یکی بچینیم.

تنها کافی است که مواد پایه ای جهان ماده که همان اتم و مولکول است را یک بار دیگر اتم به اتم و مولکول به مولکول بچینیم.

در حال حاضر هزاران دانشمند می توانند مولکول ها و اتم ها را در آزمایشگاه ها به اندازه بزرگ ببینند.

(۱) میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)

AFM دستگاهی است که برای بررسی خواص و ساختار سطحی مواد در ابعاد نانومتر به کار می رود.



- محیط های قابل کارکرد AFM

- داشتن محدودیت کمتر نسبت به سایر پروب ها

- امکان بررسی انواع سطوح

- خواص قابل اندازه گیری زیاد

- استفاده از این قابلیت ها برای بررسی سطوح

اجزای دستگاه AFM

یک سوزن بسیار تیز و ظریف

تیرک (cantilever)

بازوی پیزو الکتريک

روکش پشت لرزانک

نحوه عملکرد AFM

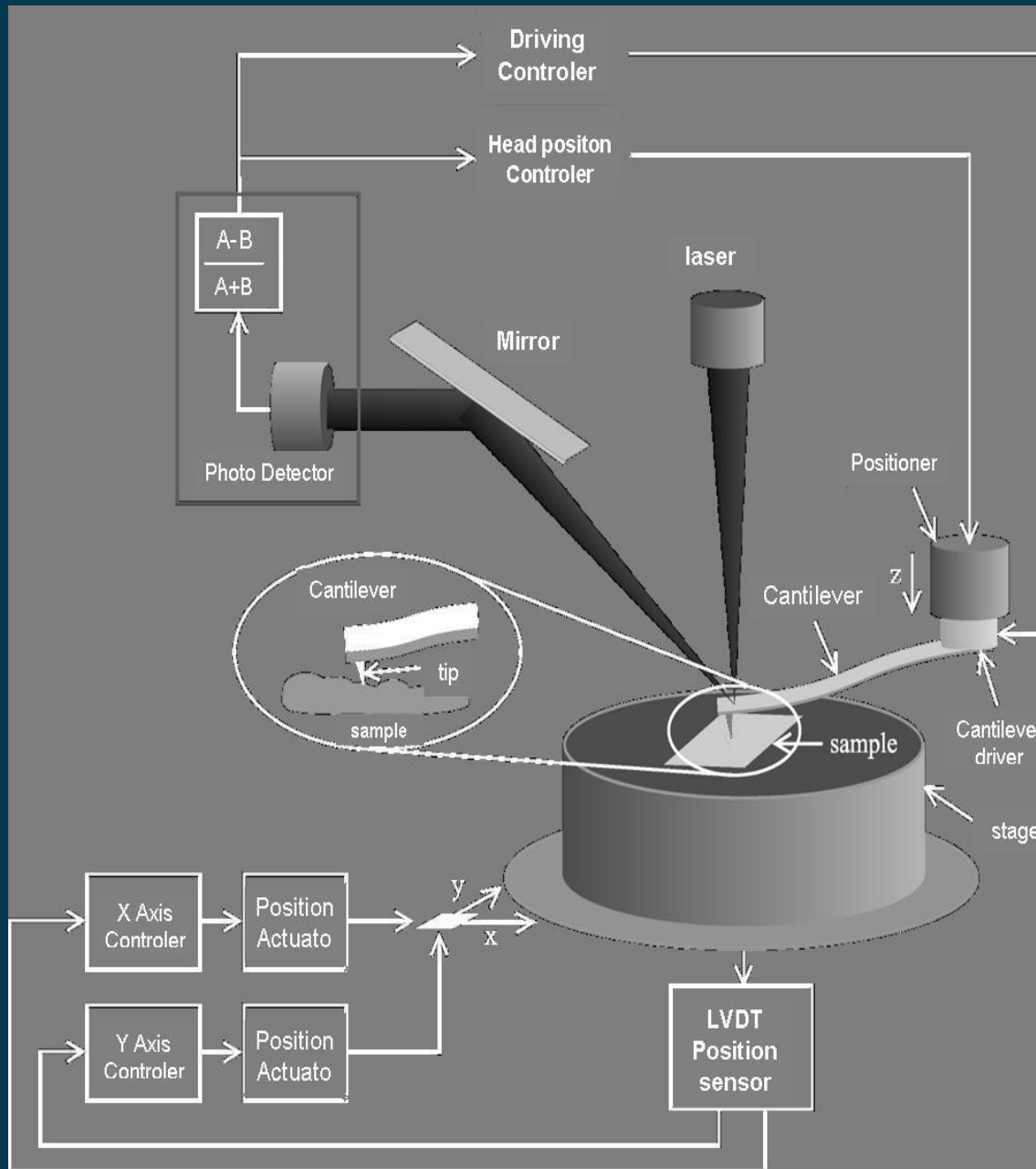
به هنگام مجاورت سوزن با سطح نمونه، نیرویی به سوزن وارد می شود.

نیروی ناشی از سطح باعث خم شدن تیرک می شود.

با آگاهی از میزان خمیدگی تیرک توسط

دیوذهای نوری و معلوم بودن مکان انتهایی

تیرک، موقعیت فضایی سوزن مشخص می شود.



- بر اساس محدوده عملکرد سوزن مدهای AFM به سه دسته تقسیم می شوند:

۱. تماسی

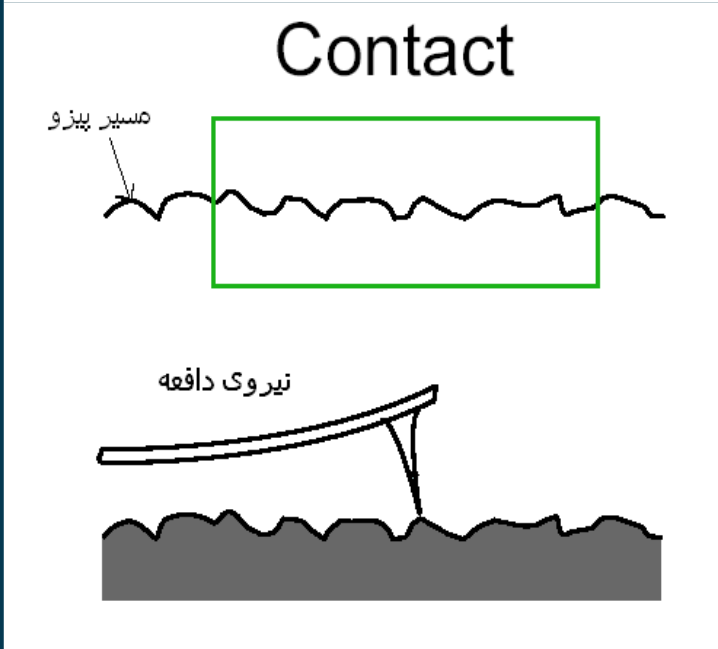
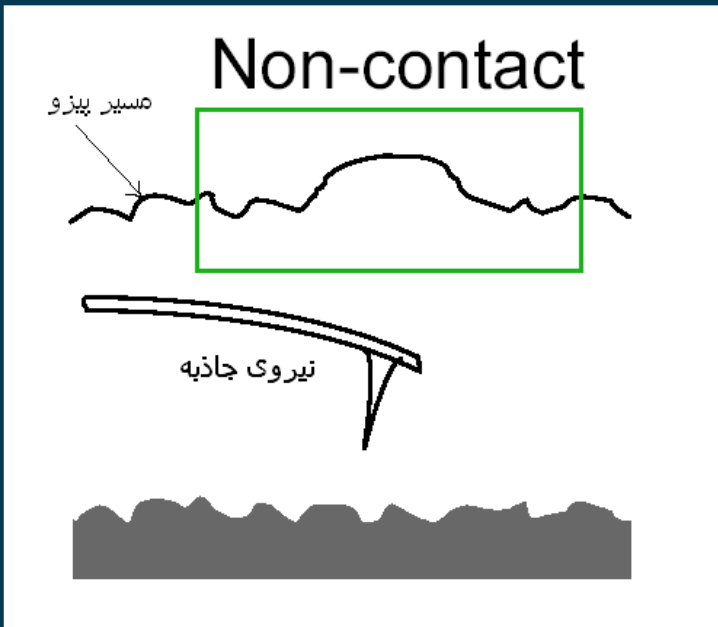
- مطابق تعریف به ناحیه ای ناحیه تماس می گویند که نیروی بین سوزن و سطح دافعه باشد.

۲. شبه تماسی

- به ناحیه بین ناحیه تماسی و غیر تماسی به علاوه بخش کوچکی از ناحیه تماسی (حدود ۴ آنگستروم تا ۳۰ آنگستروم) ناحیه شبه تماسی گویند.

۳. غیر تماسی

- در این ناحیه نیروی بین نوک و سطح از نوع جاذبه می باشد.

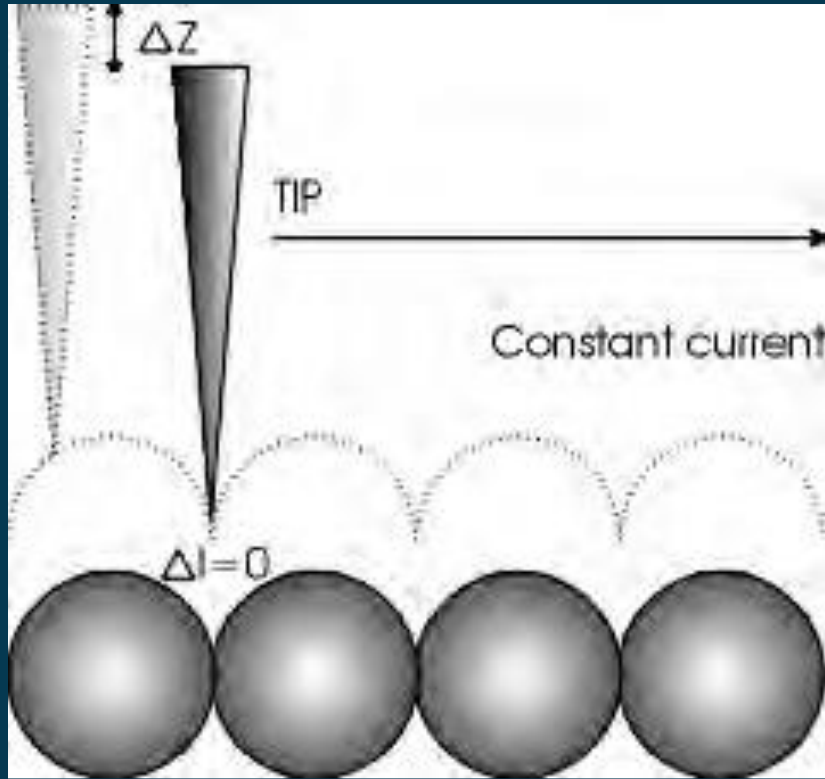


نمونه ای از تصویر کروموزمهای انسانی تهیه شده توسط AFM

دو مد تماسی و غیر تماسی

• کاربردها

- دقت بالا، عدم محدودیت در بررسی اغلب سطوح در شرایط محیطی مختلف، عدم نیاز به آماده سازی نمونه در اغلب موارد، سرعت بالای اندازه گیری، تهیه تصاویر سه بعدی و توانایی بررسی انواع خواص سطحی
- استفاده از AFM در الکترونیک ، هوا فضا ، خودروسازی، علم مواد، بیولوژی، ارتباطات از راه دور، انرژی ، داروسازی،...
- دلیل استفاده از AFM در حوزه های مختلف تکنولوژی عبارت است از:
بررسی کیفیت ساختار و خواص ادوات ساخته شده، بررسی تحولات ساختار و خواص ادوات با گذشت زمان و در شرایط مختلف، مطالعه فرآیندهای اصطکاکی، متالورژی و خوردگی ادوات



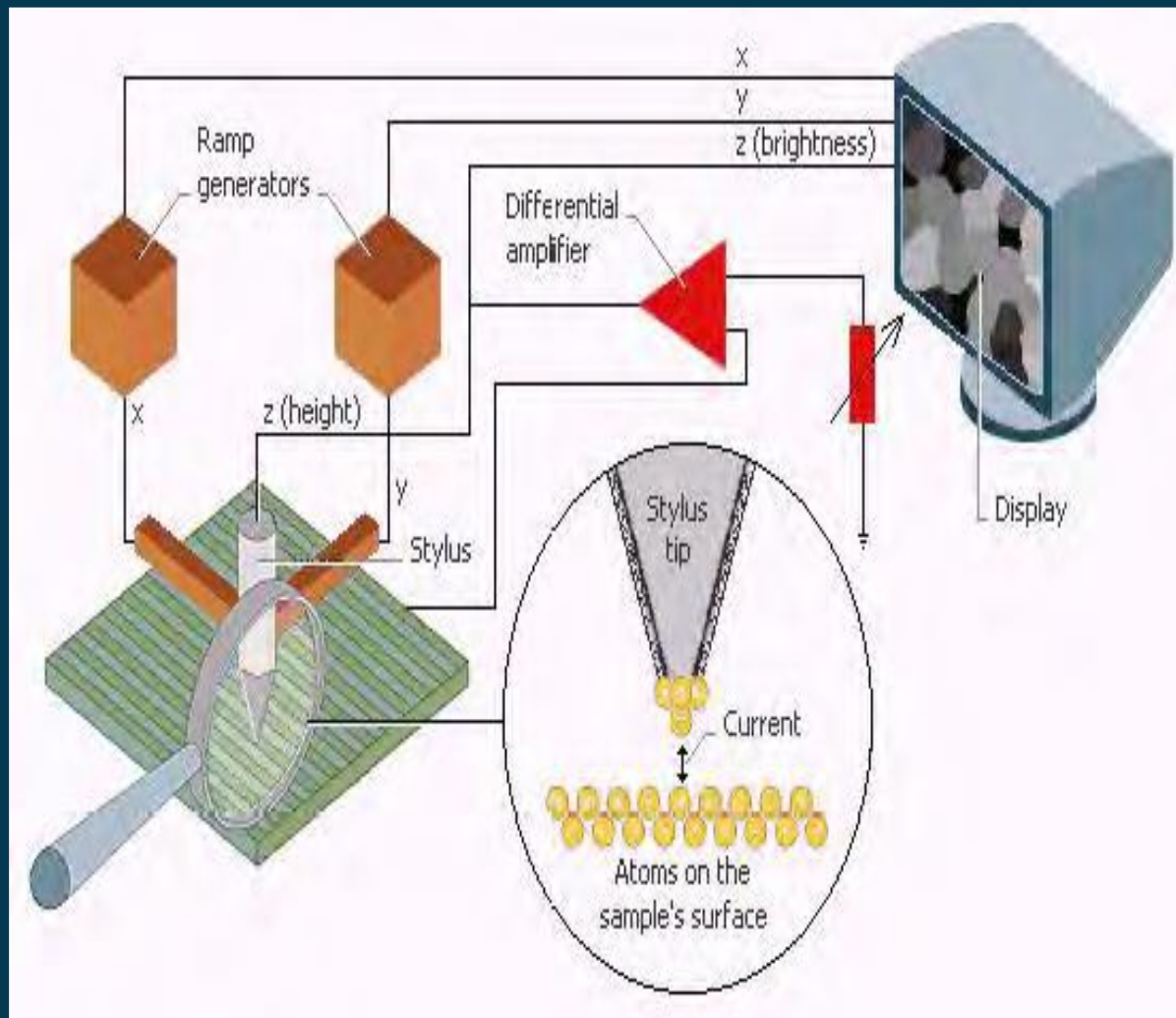
۲) میکروسکوپ روبشی تونلی (STM)

این دستگاه برای بررسی ساختار و برخی از خواص سطوح مواد رسانا، بیولوژیک که تا حدی رسانا هستند و همچنین لایه های نازک نارسانا که روی زیرلایه رسانا لایه نشانی شده اند، در حد ابعاد زیر نانومتر، به کار می رود.

مبنای اندازه گیری هندسه و خواص سطحی در این دستگاه جریان الکتریکی بوجود آمده بین سوزن و سطح است.

در تعیین خواص نقاط مختلف سطح از STM به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم استفاده می شود.

• نحوه عملکرد دستگاه STM



- اتصال سوزن بسیار ظریف و نوک تیز رسانا

به یک بازوی پیزوالکتریک

- تنظیم مکان سوزن نسبت به سطح نمونه

- اعمال اختلاف ولتاژ بین سطح نمونه و

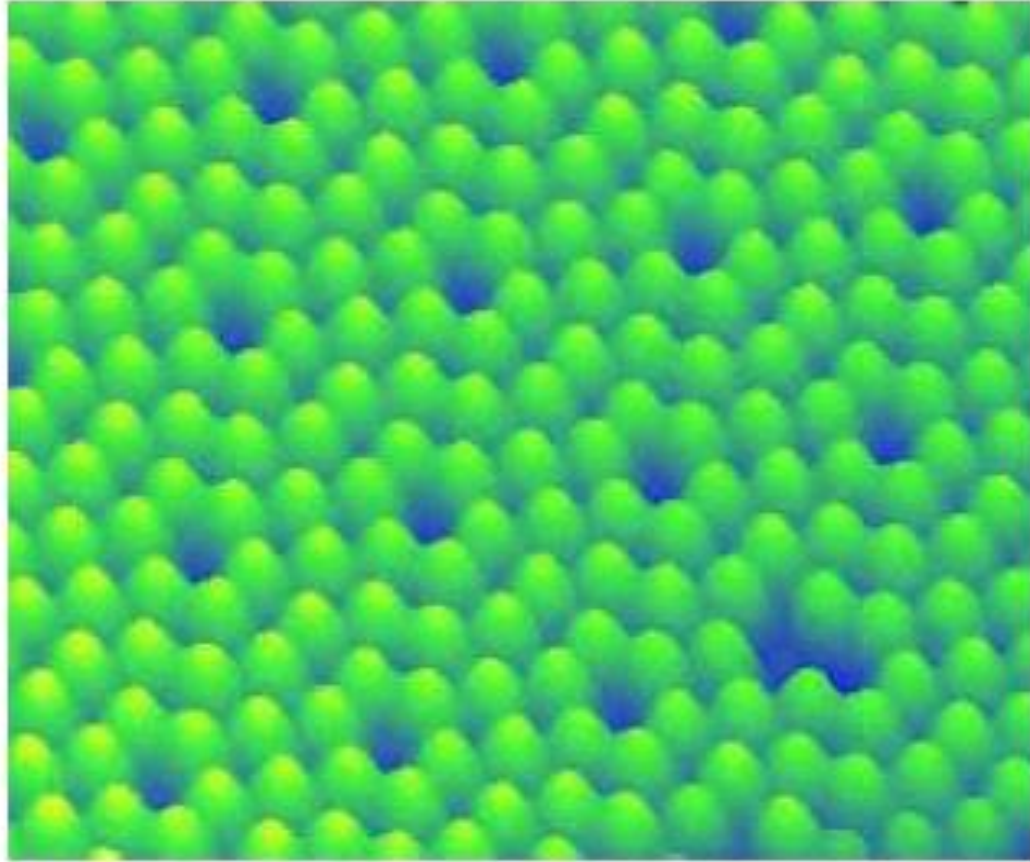
سوزن

- تنظیم ارتفاع سوزن در محدوده مناسب

- در اخر اندازه گیری جریان تونلی به دست

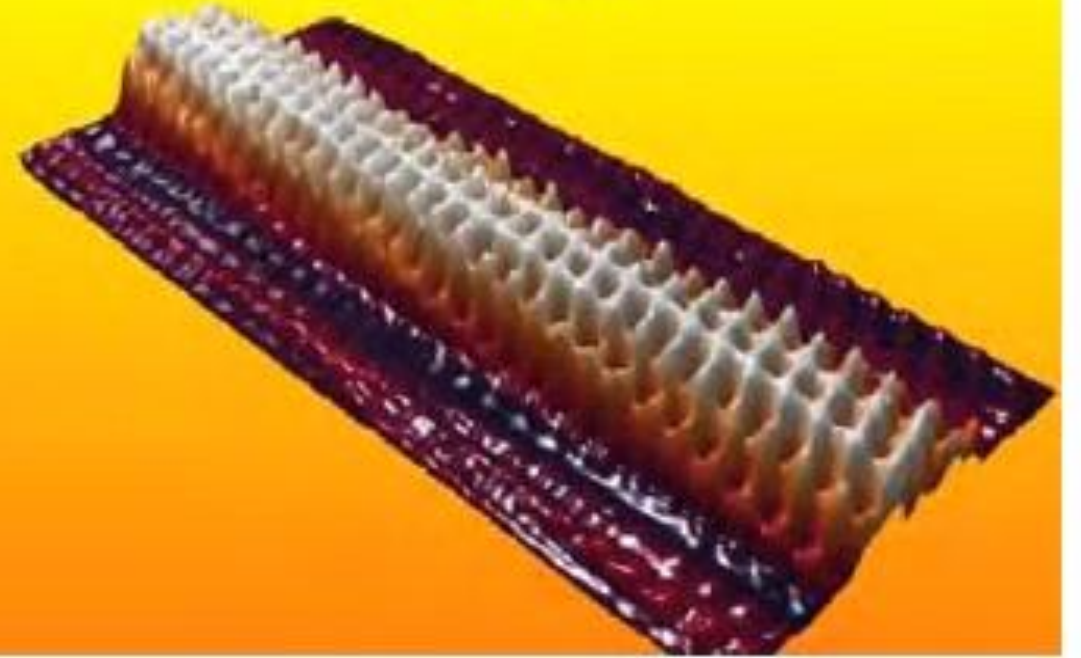
آمده از سوزن به منظور تعیین خصوصیات

سطح



ساختار اتمی سطح سیلیکون بدست آمده توسط STM .

STM image of a Single-Wall Carbon Nanotube



ساختار اتمی یک نانوتیوب تک جداره بدست آمده توسط STM

۳) میکروسکوپ نوری میدان نزدیک روبشی (SNOM)

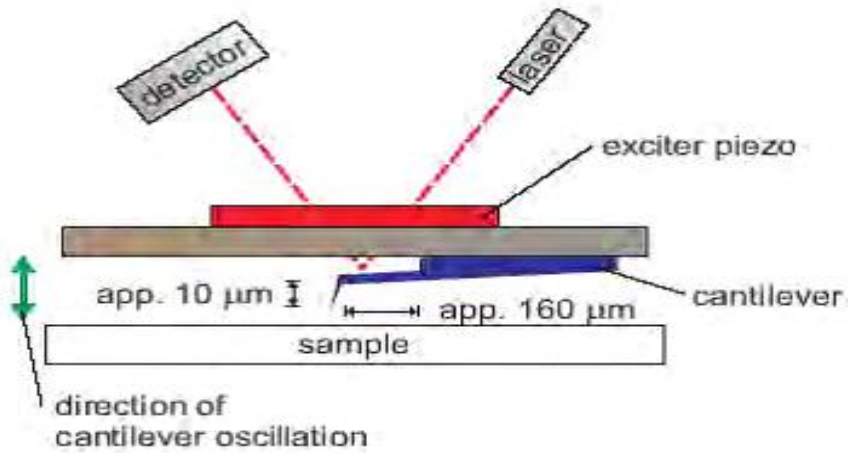
اساس کار دستگاه های میکروسکوپی نوری میدان نزدیک روبشی در سال 1972 توسط Ash و Nicholls کشف شد.

این دستگاه در حقیقت بسیار شبیه دستگاه میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) می باشد تا میکروسکوپ های نوری.

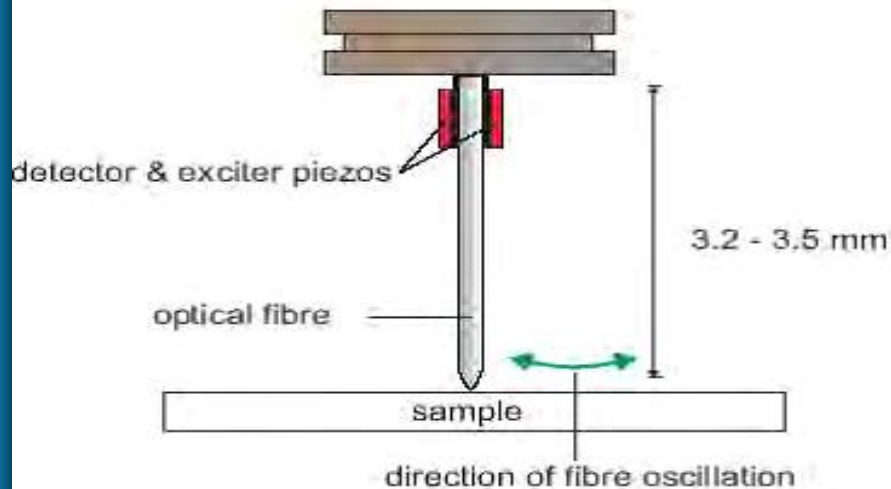
دستگاه SNOM تصویر بسیار خوبی از توپوگرافی نمونه با قدرت تفکیک عمودی خوبی میدهد.

تفاوت دستگاه AFM و SNOM در پروب آنها برای روبش سطح می باشد.

همچنین نوک دستگاه SNOM علاوه بر تعیین توپوگرافی سطح برای روشن کردن نمونه نیز به کار می رود .



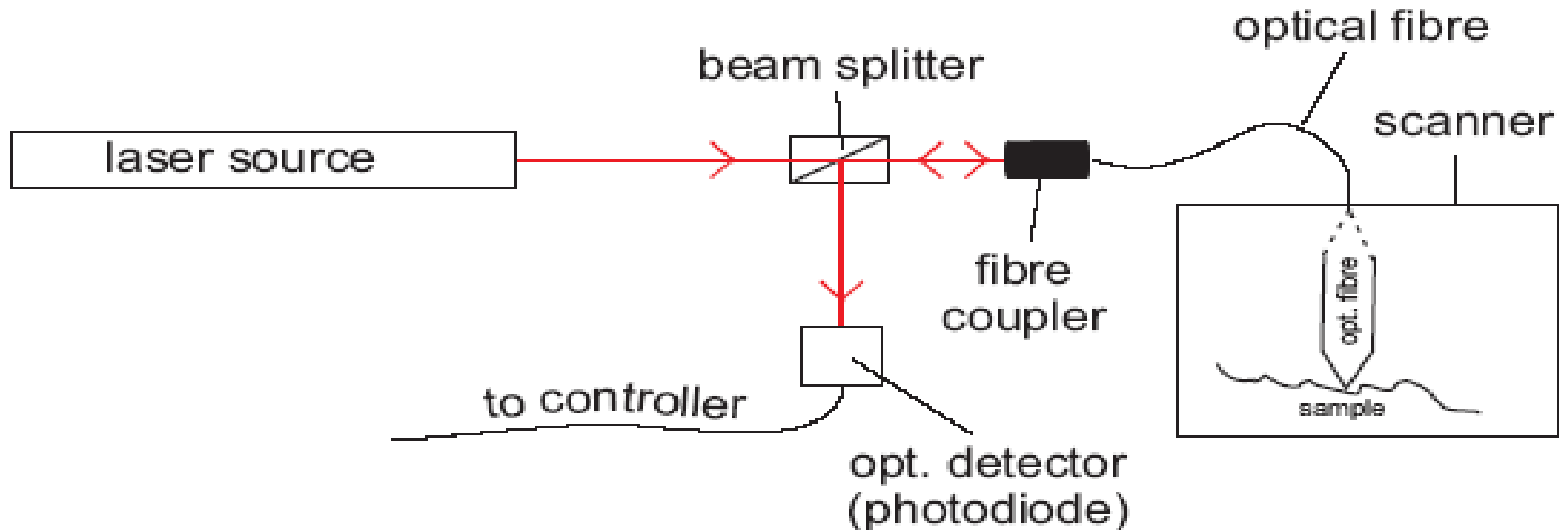
(a) AFM-Probe



(b) SNOM-Probe

• نحوه عملکرد دستگاه SNOM

عملکرد یک دستگاه SNOM همانند دستگاه AFM می باشد. ولی در اینجا به نمونه توسط فیبر نوری، نور تابیده می شود. نور بازگشت شده از نمونه توسط یک فیبر دیگر جمع می شود.



• کاربردها

- بدست آوردن قابلیت بازتاب یا فتولومینسانس
- اندازه گیری انتشار نور از کریستال های فوتونیک
- هدایت امواج در ساختارهای لیزری
- تهیه تصاویر با قدرت تفکیک بالا از سلول ها
- بررسی ساختار فازها در پلیمرهای لایه ای
- بررسی ساختار داخلی ژل های پلیمری
- شکل دهی پلیمر توسط میکروسکوپ نوری میدان - نزدیک
- اسپکتروسکوپی تک مولکول ها توسط SNOM

۴) میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM

در میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM نیز مانند TEM یک پرتو الکترونی به نمونه می تابد.

منبع الکترونی (تفنگ الکترونی) معمولاً از

نوع انتشار ترمیونیکی فیلامان یا رشته

تنگستنی است. اما استفاده از منابع گسیل

میدان برای قدرت تفکیک بالاتر، افزایش

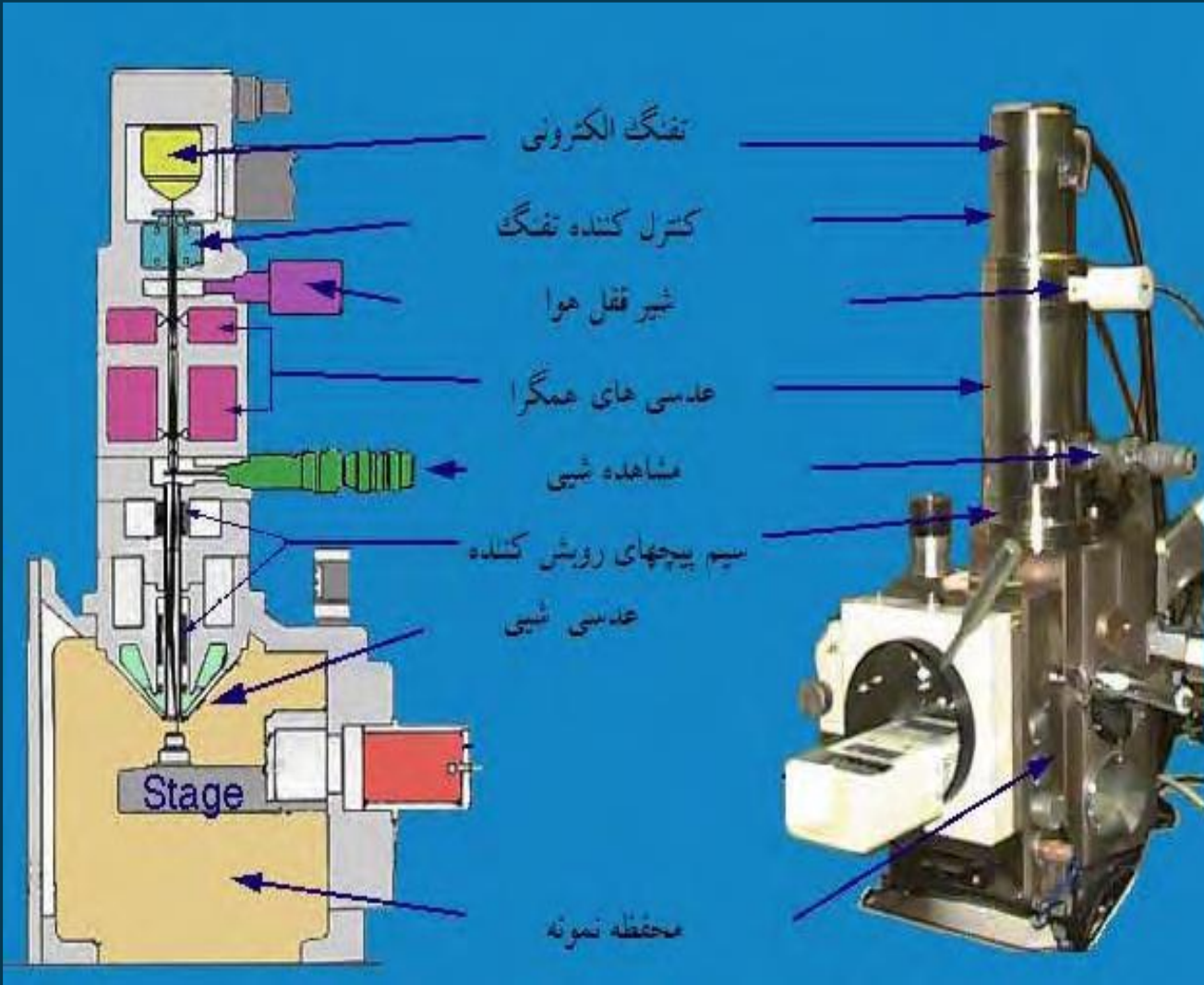
یافته است. معمولاً الکترون ها بین 30Kev -

۱ شتاب داده می شوند، سپس دو یا سه

عدسی متمرکزکننده پرتو الکترونی را کوچک

می کنند، تا حدی که موقع برخورد با نمونه

قطر آن حدوداً بین $2-10$ نانومتر است.



• نحوه کار SEM

مواد غیرهادی معمولاً با لایه نازکی از کربن، طلا یا آلیاژ طلا پوشش داده می شوند. نمونه ها باید عاری از مایعاتی با فشار بخار بالا باشند.

معمولاً نمونه هایی به بزرگی ۱۵ تا ۲۰ سانتی متر را می توان در میکروسکوپ قرار داد.

• کاربردهای SEM

- تصویرگرفتن از سطوح در بزرگنمایی ۱۰ تا 10^5 برابر با قدرت تفکیک در حد ۳ تا ۱۰۰ نانومتر
- کنترل کیفیت و بررسی عیوب قطعات نیمه هادی
- بررسی نمونه های متالوگرافی، در بزرگنمایی بسیار بیشتر از میکروسکوپ نوری
- بررسی مقاطع شکست و سطوح حکاکی عمیق
- ارزیابی جهت کریستالوگرافی اجرایی نظیر دانه ها
- بررسی قطعات نیمه هادی برای آنالیز شکست، کنترل عملکرد و تأیید طراحی نمونه ها

۵) میکروسکوپ الکترونی محیطی ESEM

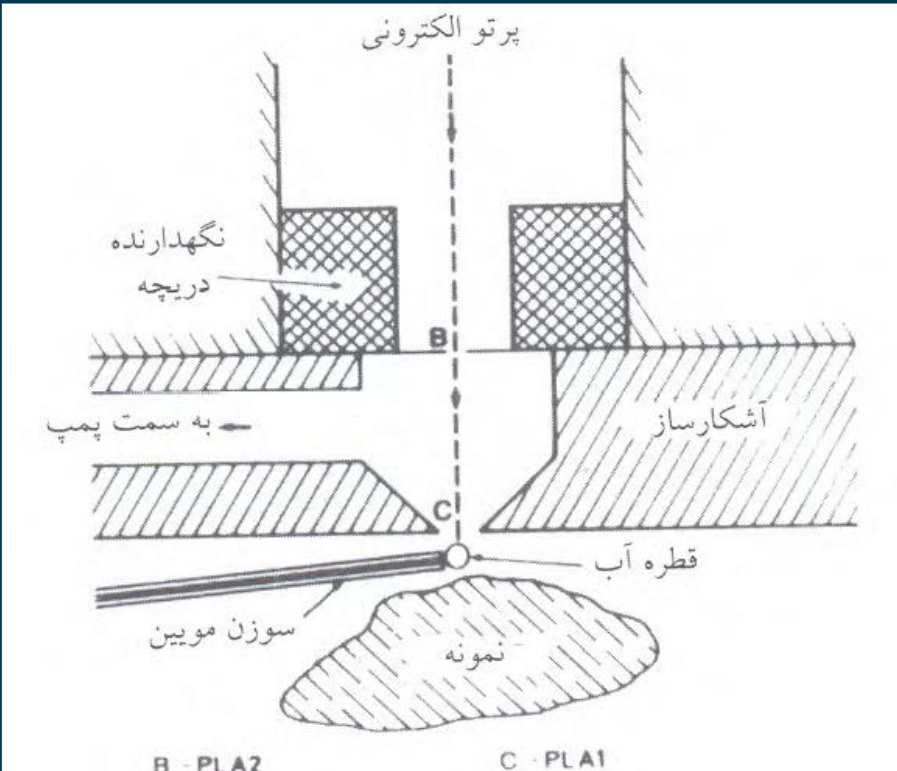
به دلیل برخی محدودیت های SEM از میکروسکوپ الکترونی محیطی استفاده می شود.

میکروسکوپ الکترونی محیطی نیز مانند تمامی انواع میکروسکوپ های الکترونی دارای یک منطقه خلأ برای تولید و متمرکز کردن پرتو الکترونی می باشد که همیشه در فشار پایین قرار دارد.

به علاوه یک منطقه با فشار بالا (بیش از 60 kpa) مورد نیاز است.

این دو ناحیه باید به نحو مطلوب و توسط یک تکنیک ویژه از یکدیگر مجزا گردند .

این کار یا توسط فیلم های پنجره عبور الکترون و یا توسط دریچه های کوچک محدود کننده فشار (pressure-limiting aperture, PLA) انجام می پذیرد.

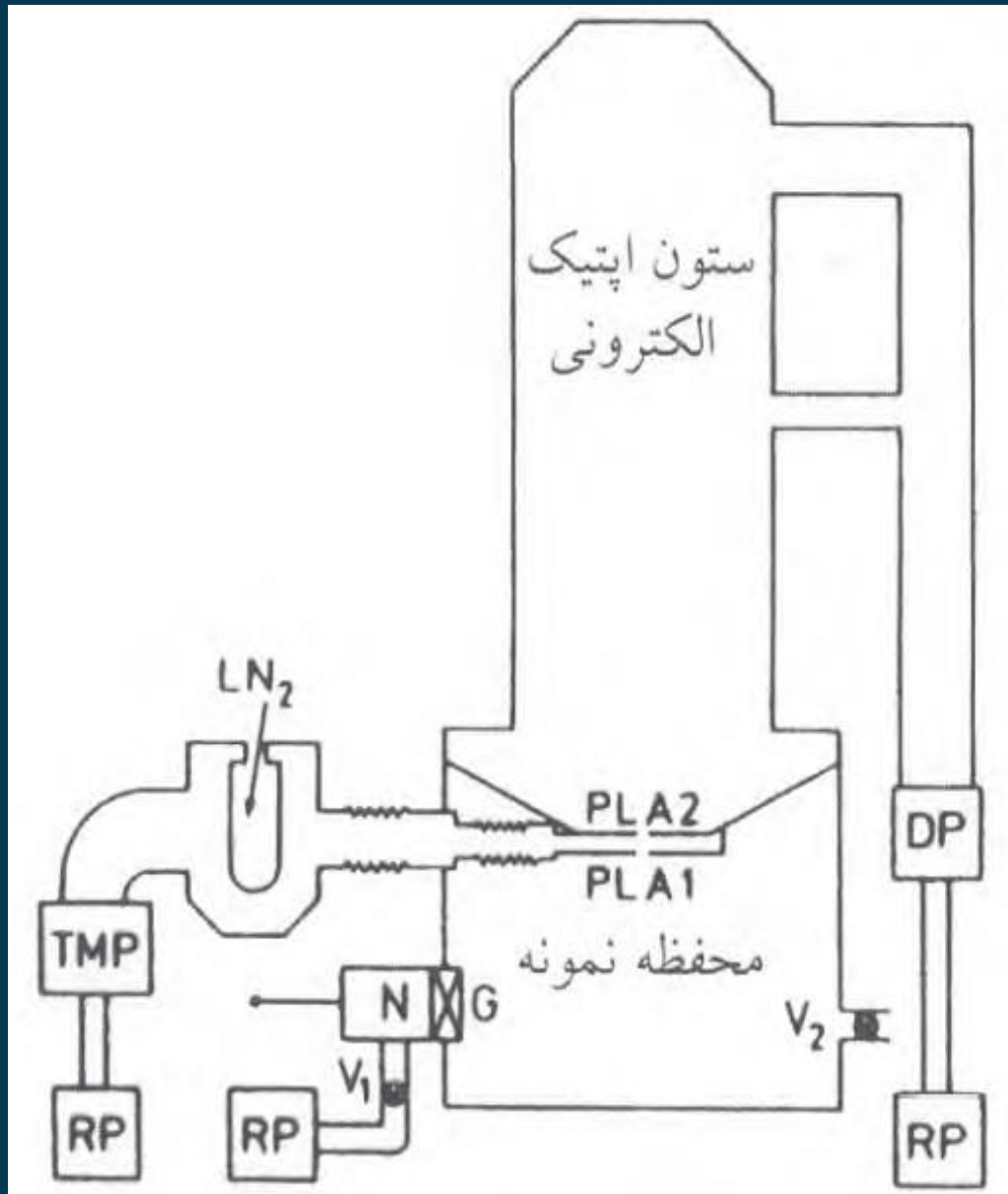


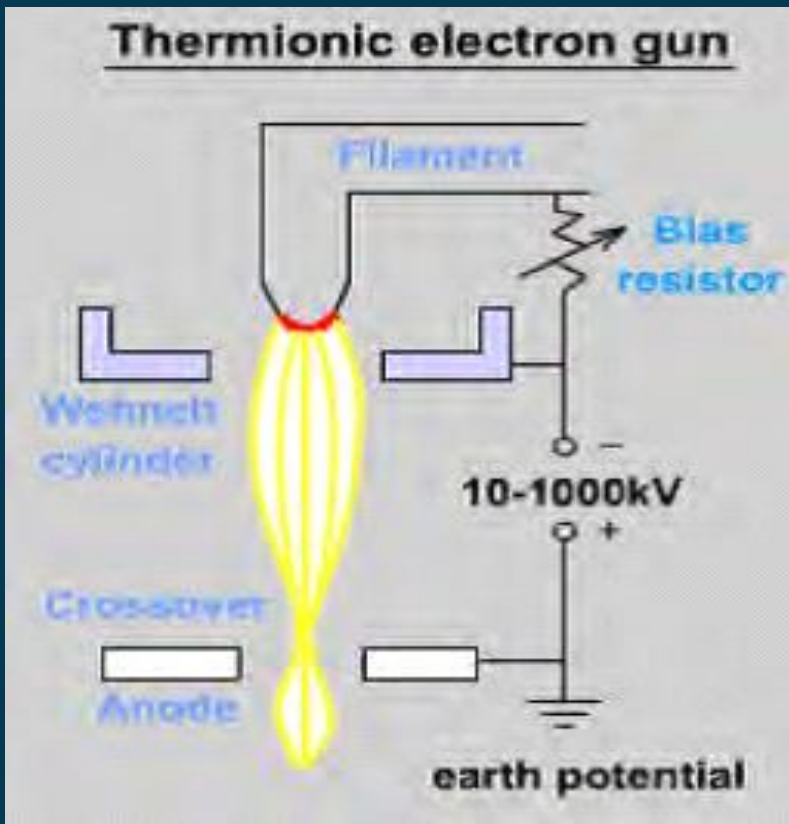
• اجزا و نحوه عملکرد

حداقل دو دریچه برای محدود کردن مؤثر فشار ایجاد شده در ستون الکترون اپتیکی مورد نیاز می باشد.

جریان گاز از میان PLA1 از طریق سیستمی از لوله ها و پمپ ها به بیرون پمپ می شود و فقط بخش کوچکی از گاز از طریق PLA2 نشت میکند. بقیه پمپ ها و سوپاپ ها برای نگه داشتن فشار مورد نیاز در محفظه نمونه و همچنین برای تسهیل انتقال نمونه به داخل و خارج از سیستم به کار گرفته می شوند.

تا یک فاصله مشخص در داخل گاز، یک پرتو متمرکز شده مناسب وجود دارد و اگر یک نمونه به این محدوده منتقل شود یا در این منطقه وجود داشته باشد، می تواند مورد مطالعه قرار گیرد.





۶. میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)

میکروسکوپ الکترونی عبوری یکی از مهم ترین و پرکاربرد ترین دستگاه ها است.

این روش اندازه و شکل ذرات را با دقت حدود چند دهم نانومتر به دست

می دهد که به نوع ماده و دستگاه مورد استفاده بستگی دارد.

علاوه بر تعیین شکل و اندازه ذرات به وسیله میکروسکوپ الکترونی عبوری

برخی ویژگی های دیگر مواد نانوساختاری مانند ساختار بلوری و ترکیب

شیمیایی را نیز می توان بدست آورد.

در این روش از گسیل پرتو الکترونی برای تعیین ویژگی های ماده استفاده می کنند.

پرتو الکترونی به روش های مختلفی تولید می شود که از مهم ترین آنها می توان به گسیل ترمیونیکی (Thermionic

Emission) و گسیل میدانی اشاره کرد.

باریکه تولید شده با برخورد به سطح ماده و بازگشت این پرتو خواص ماده را مشخص می کند.

۷. طیف سنجی الکترون اوژه

طیف سنجی الکترون اوژه یک روش آنالیز استاندارد در فیزیک سطح و فصل مشترک ها است.

اتمی بودن سطح نمونه مورد مطالعه و خلاء فوق بالا از ضروریات این روش می باشد.

سایر زمینه های مهم استفاده از این روش عبارتند از مطالعه روند رشد لایه و ترکیب شیمیایی سطح (تحلیل الکترونی) و همچنین آنالیز در راستای عمق نمونه.

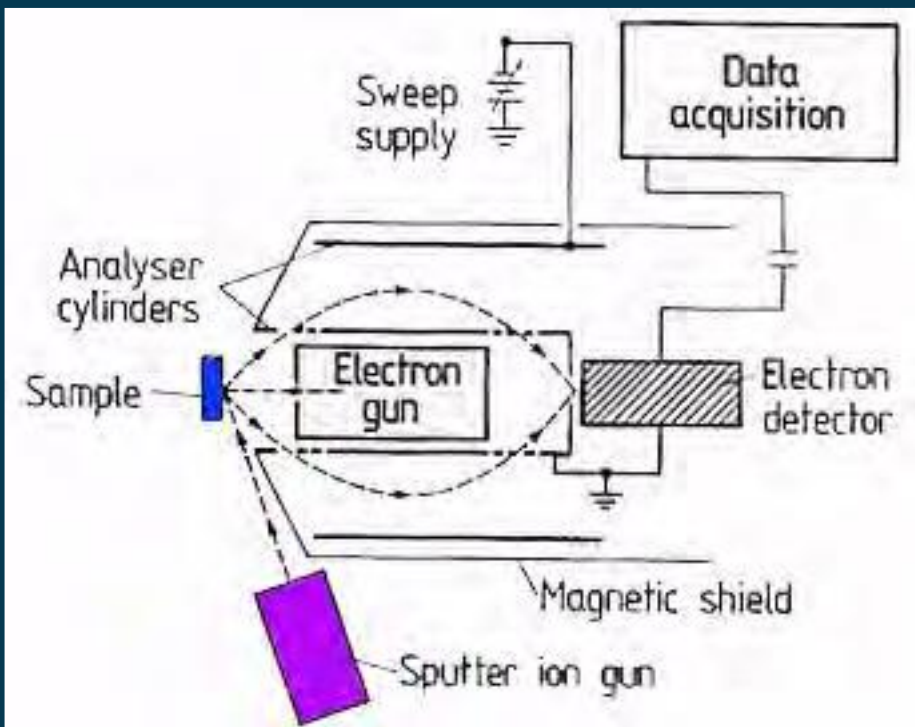
در فرآیند طیف سنجی AES تحریک الکترون ها توسط باریکه ای از الکترون های فرودی که از یک تفنگ الکترونی بیرون می آیند انجام می شود.

در نتیجه فرآیند اوژه، الکترون های ثانویه ای با توزیع انرژی نسبتاً تیز بدست می آیند.

به دلیل محدودیت در عمق فرار الکترون های اوژه، این روش، یک روش آنالیز حساس به سطح است.

اصول کار به این صورت است که یک باریکه الکترون فرودی اولیه با یونیزاسیون تراز هسته ای L یا K و بیرون انداختن یک الکترون، یک حفره در آن تراز ایجاد می کند.

الکترون فرودی و الکترون تراز هسته ای، اتم را با انرژی نامعلومی ترک می کنند. در نتیجه ساختار الکترونی اتم یونیزه شده بازآرایی می شود



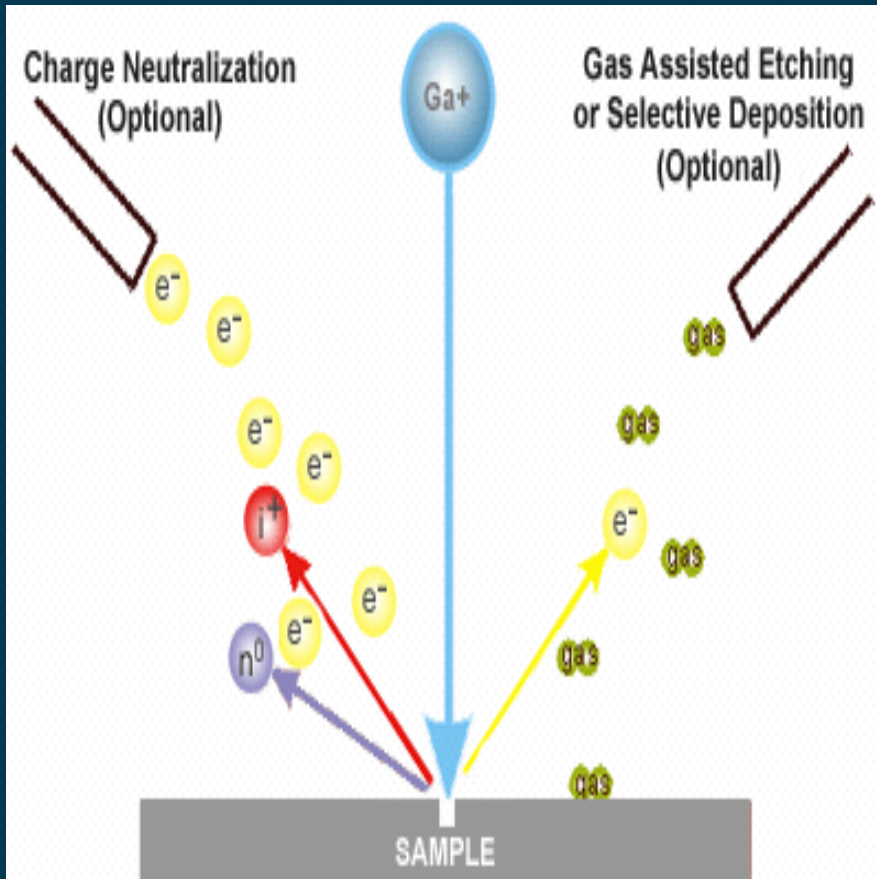
۸. باریکه یونی متمرکز (FIB)

این دستگاه بیشتر شبیه دستگاه میکروسکوپی الکترونی روبشی عمل می کند. با این تفاوت که در دستگاه های FIB به جای اشعه الکترونی از اشعه یون های گالیم استفاده می شود.

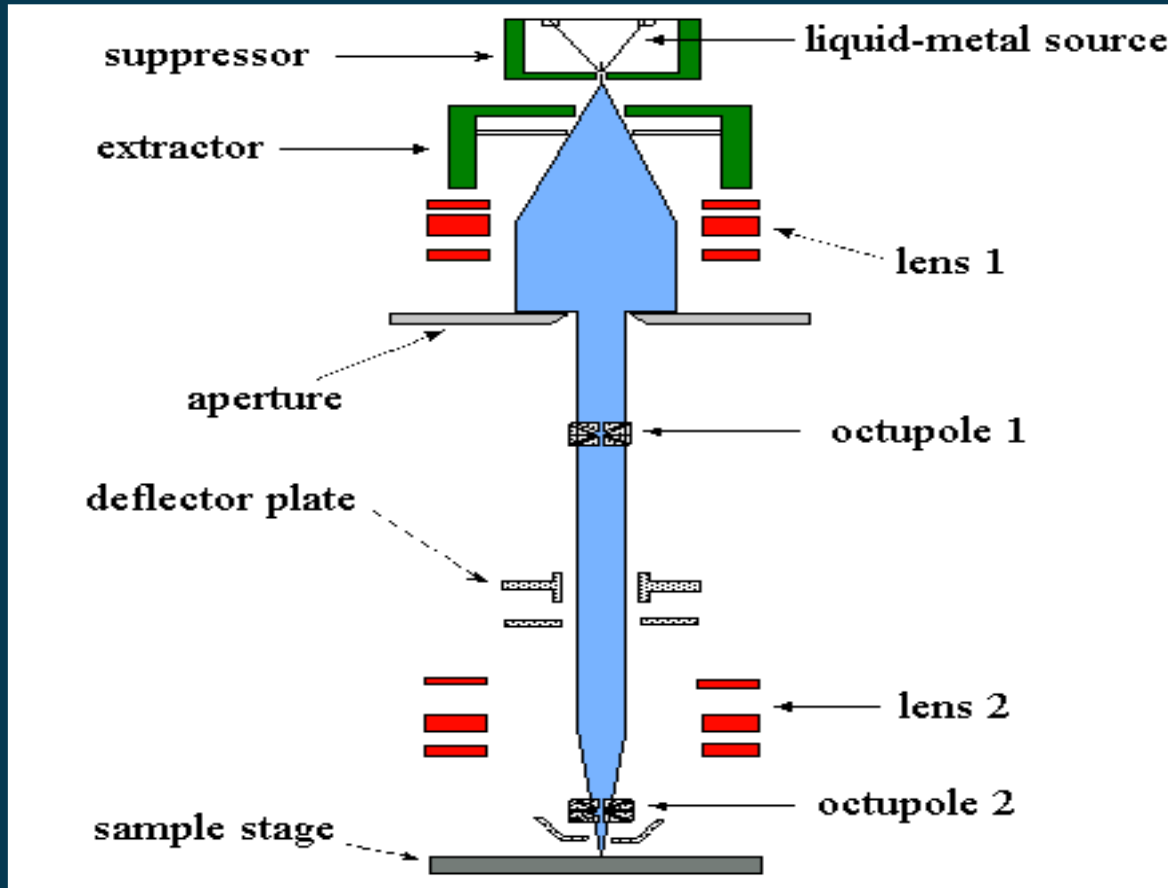
با برخورد اشعه به سطح نمونه اتم های سطحی به صورت یون های مثبت و منفی یا به صورت اتم های خنثی از سطح جدا می شوند. از سیگنال های ناشی از یون های خارج شده از سطح و یا الکترون های ثانویه برای تصویر برداری استفاده می شود.

همچنین در نمونه های نارسا از یک تفنگ الکترونی کم انرژی استفاده می شود. تا به امروز بیشترین کاربرد دستگاه FIB در صنعت نیمه هادی بوده است.

برخی از این کاربردها عبارتند از: آنالیز عیوب، بهسازی مدار، تعمیر ماسک ها و آماده سازی نمونه های TEM



قابلیت های دستگاه FIB در نیمه هادی ها و مهندسی مواد



۱- زدایش به کمک گازهای XeF و XeCl

۲- رسوب دهی فلزات

۳- ماشین کاری مواد تا قدرت تفکیک چند ده نانومتر

۴- تصویرگیری از سطوح با استفاده از الکترون ها و

یون های ثانویه

۵- تصویرگیری از کنتراست دانه ها بدون زدایش ماده

۶- بررسی وضعیت شیمیایی سطوح به خصوص در

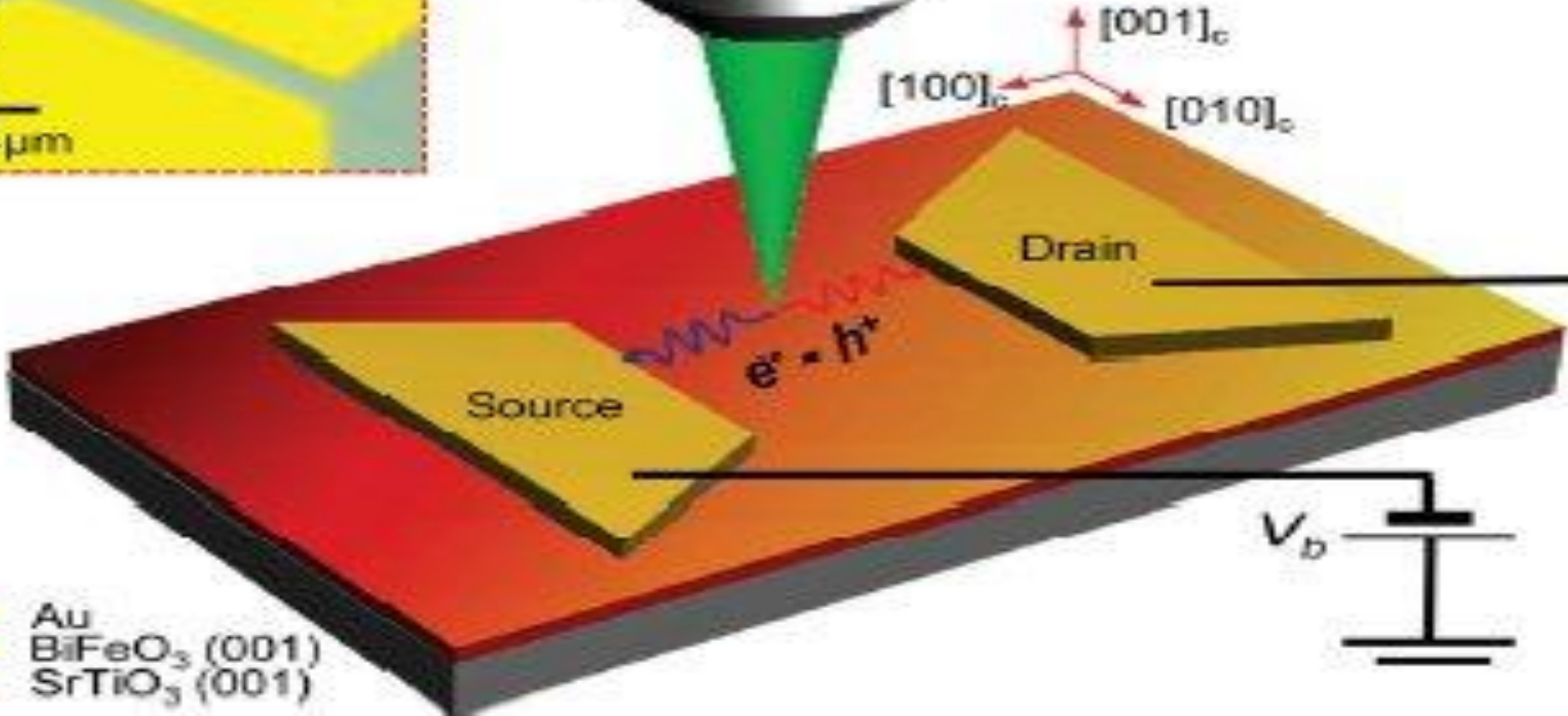
مطالعات خوردگی

۷- مقطع زنی و تصویر برداری از سطوح

جدول مقایسه برخی پروب های روبشی

SEM	TEM	STM	AFM	نوع دستگاه مورد مقایسه
نانومتر	آنگستروم (در نوع تفکیک پذیری بالا) (HRTEM)	آنگستروم	آنگستروم (بررسی چیدمان اتمی سطوح بوسیله سوزنهای فوق تیز و بسیار سخت)	بیشترین دقت
۲۰۰-۴۰۰ دلار (نوع تفکیک پذیری بالا)	بالای ۵۰۰ دلار (نوع تفکیک پذیری بالا)		۱۰۰-۲۰۰ دلار (نوع تفکیک پذیری بالا)	هزینه
<p>- چندین ساعت برای رسیدن به خلاء بالا مورد نیاز است</p>	<p>بررسی نمونه های توده ای (Bulk) نیاز به چندین هفته زمان برای نازک سازی نمونه دارد. - باز به خلاء بسیار بالا، حداقل زمان تهیه تصویر را چندین ساعت می سازد.</p>	<p>- چندین ساعت برای رسیدن به خلاء بالا مورد نیاز است.</p>	<p>- وابسته به مد از چند دقیقه تا چند ساعت - در حالت عادی نمونه آماده سازی نمی خواهد - برای بررسی پودرها و نمونه های بیولوژیک باید فرآیند تثبیت این مواد به زیر لایه صورت گیرد. - اندازه گیری در محیط خلاء نیاز به مدت زمان تخلیه محفظه دارد.</p>	<p>سرعت اندازه گیری و آماده سازی نمونه</p>

با تشکر از توجه شما



Au
BiFeO₃ (001)
SrTiO₃ (001)