

## میکروسکوپ تونلی روبشی (STM)

### ۱- مقدمه

در میکروسکوپ تونلی روبشی، سطح نمونه بوسیله سوزنی نوک تیز، بنام تیپ یا پروب روبش می شود. نوک یک پروب سالم و ایده آل، بسیار تیز بوده، بطوریکه در نوک آن تنها یک اتم جای می گیرد؛ بنابراین از حساسیت بسیار بالایی برخوردار است و به دلیل ابعاد بسیار کوچک خود می تواند در حد نانومتر، کوچکترین پستی یا بلندی ها را در سطح نمونه آنالیز نماید و با استفاده از تجهیزات و نرم افزارهای موجود در دستگاه، داده های بدست آمده را بصورت تصویر بر نمایشگر نمایش دهد [۱].

### ۲- تاریخچه

میکروسکوپ تونلی روبشی (STM) [۱]، اولین عضو در خانواده میکروسکوپ های پروبی روبشی بشمار می آید. این میکروسکوپ در سال ۱۹۸۱ میلادی بوسیله دو تن از محققین سوئیسی بنام های گرد کارل بینینگ<sup>۲</sup> و هاینرک رورر<sup>۳</sup> در آزمایشگاه تحقیقاتی شرکت IBM شهر زوریخ سوئیس اختراع شد. آنها توانستند با مهار نوسانات خارجی و فراهم آوردن امکان حرکت سوزن، در فاصله بسیار نزدیک از سطح نمونه، دو مشکل کلیدی در تصویر سازی مقیاس نانو با پروب را حذف نموده و نشان دهند که این وسیله، راهکار تقریباً ساده و مؤثری جهت مطالعه سطوح ارائه می دهد [۱]. تکنیک ارائه شده توسط آنها پس از به تصویر کشیدن ساختار اتمی تعدادی از مواد، از جمله سطح احیاء شده سیلیکون، مورد تأیید و تصدیق قرار گرفت، بطوریکه در سال ۱۹۸۶ میلادی، به جهت اختراع میکروسکوپ تونلی روبشی، هر دو محقق، موفق به کسب جایزه نوبل فیزیک گردیدند. میکروسکوپ تونلی روبشی در آن زمان، اولین ابزاری بود که قادر به ایجاد تصاویر سه بعدی از سطوح جامد با تفکیک پذیری و دقت اتمی بود [۳].

### ۳- دامنه کاربرد میکروسکوپ تونلی روبشی

میکروسکوپ تونلی روبشی، تنها می تواند جهت مطالعه سطوحی که از لحاظ الکتریکی رسانایی قابل قبولی دارند، مورد استفاده واقع شود [۱].

این میکروسکوپ ها در بازه وسیعی از بزرگنمایی ها از  $10^{-3}$  تا  $10^9$  در جهات  $X, Y, Z$  جهت تصویربرداری و ایجاد تصویر از مقیاس میکرو تا ابعاد اتمی با رزولوشن<sup>۴</sup> (قدرت تفکیک) بالا و یا به عنوان ابزار طیف نگاری (طیف نگاری روبشی

<sup>1</sup> scanning tunneling microscope

<sup>2</sup> GerdKarl Binnig

<sup>3</sup> Heinrich Rohrer

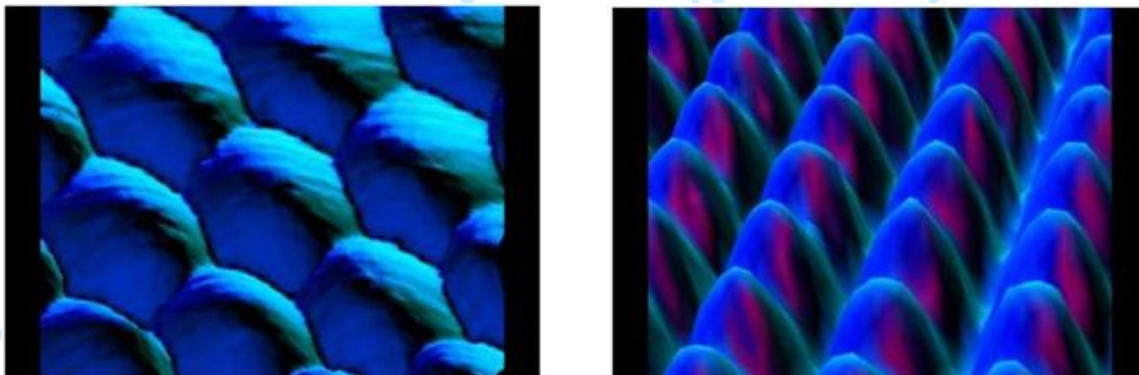
<sup>4</sup> resolution

جریان تونلی<sup>۵</sup> استفاده شده‌اند [۱۵] همچنین این ابزارها می‌توانند در هر محیطی، از قبیل محیط های معمولی [۱۶] اتمسفر [۱۷]، گازهای گوناگون [۱۸] مایعات [۱۹]، خلاء [۲۰]، دماهای پایین (پایین تر از ۱۰۰ کلوین) [۲۱] و نیز در دماهای بالا [۲۲] مورد استفاده واقع شوند.

تصویربرداری در مایعات امکان مطالعه نمونه های زنده زیستی را فراهم می‌آورد و زمانیکه تصویر برداری نمونه های آبی در اتمسفر معمولی انجام می‌گیرد، نیروهای موئینگی موجود در فصل مشترک نمونه و سوزن را حذف می‌کند. زمانیکه نمونه های زیستی یا آلی یا پدیده های دمای پایین از قبیل ابررسانایی یا چگالی بار الکتریکی مطالعه می‌شوند، تصویربرداری دمای پائین (دماهای محدوده هلیوم مایع)، مفید خواهد بود. همچنین تصویر برداری در دمای پایین، بدلیل کاهش نوسانات دمایی، جهت به تصویر کشیدن نیروها، با حساسیت بالا، سودمند می‌باشد.

به علاوه جهت تصویربرداری سیالاتی از قبیل کریستال های مایع و مولکول های روانساز روی سطوح گرافیتی، از این روش استفاده شده است [۲۳].

شکل (۱) تصویر میکروسکوپ میکروسکوپ تونلی روبشی سطوح دو نمونه نیکلی و پلاتینی را به خوبی نشان می‌دهد.



ب

الف

شکل (۱) تصویر میکروسکوپ میکروسکوپ تونلی روبشی الف) سطح نیکل ب) سطح پلاتین [۲۴]

همچنین در ایجاد خصیصه های ویژه در مقیاس نانو از طریق گرم کردن موضعی یا القای واکنش های شیمیایی در زیر سوزن از طریق نانوماشینکاری، از میکروسکوپ STM بهره گرفته شده است [۲۵] در جدول ۱، برخی مواد بررسی شده توسط STM تحت شرایط مختلف به عنوان نمونه معرفی شده است [۲۶].

<sup>5</sup> scanning tunneling spectroscopy

جدول (۱) برخی مواد بررسی شده توسط STM تحت شرایط مختلف [۱۷ و ۱۴].

|               |         |                |
|---------------|---------|----------------|
| زیر سیالات    | خلاء    | هوا            |
| Pt            | Cu      | Fe             |
| Ni            | GaAs    | Ag             |
| Au            | HgCdTe  | Rh             |
| گرافیت        | Al      | PbS            |
| فولاد زنگ نزن | سیلیکون | $PbO_2Co_3O_4$ |

#### ۴- سیستم دستگاهی میکروسکوپ تونلی رویشی

بطور کلی لوازم دستگاهی در STM، شامل موارد زیر می شوند:

- نگهدارنده نمونه

- سوزن و مجموعه مرتبط با آن

- کنترل کننده الکترونیکی

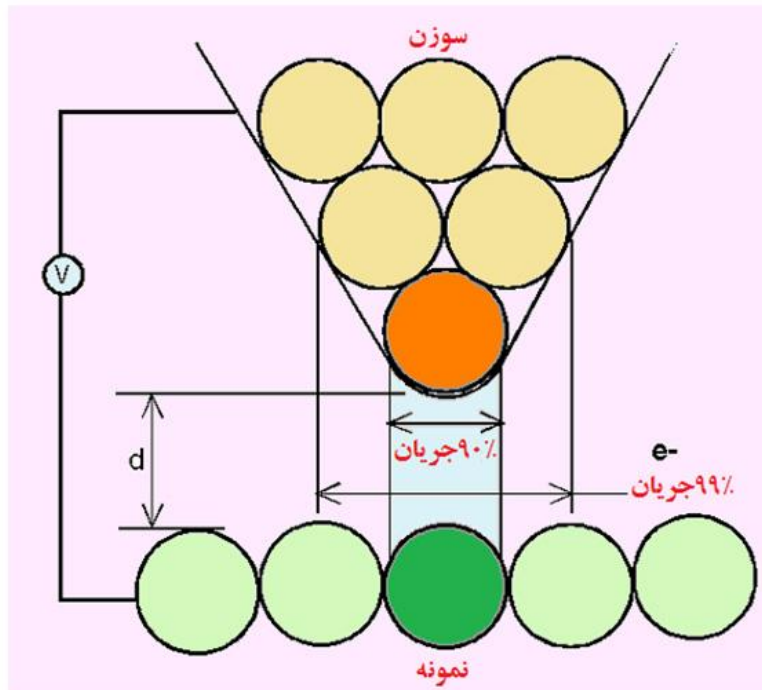
- رایانه جهت کنترل کننده الکترونیکی

- نرم افزار جهت پردازش تصویر

میکروسکوپ های تونلی رویشی از یک سوزن (پروب) تیز برای روبش استفاده می کنند. یک ولتاژ بایاس مناسب (۱۰ میلی ولت تا یک ولت)، بین سوزن (بعنوان قسمتی از مدار الکتریکی) و سطح نمونه (قسمت دیگر مدار الکتریکی) اعمال می شود. وقتی که سوزن به فاصله کمتر از ۱۰ آنگستروم (معمولا حدود ۰٫۳ تا ۱ نانومتر) از سطح نمونه قرار داده شد، الکترونها بر اساس پدیده ای کوانتومی، به نام تونل زنی،<sup>۶</sup> از نمونه به اتم های سوزن یا بالعکس (بسته به جهت ولتاژ بایاس) جریان می یابند، بطوریکه بیش از ۹۰٪ جریان تونلی از انتهایی ترین اتم سوزن به نمونه (ویا بالعکس) جاری می گردد (شکل ۲)

<sup>۶</sup> tunneling

در این حالت جریان تونلی از  $2/0 \text{ nA}$  تا  $10 \text{ nA}$  تغییر کرده و سوزن روی سطح، عملیات روبش را انجام می‌دهد. شکل ۲ شماتیک برهمکنش سوزن و نمونه و برقراری جریان تونلی در فاصله آنگسترومی سوزن از سطح نمونه را نشان می‌دهد.

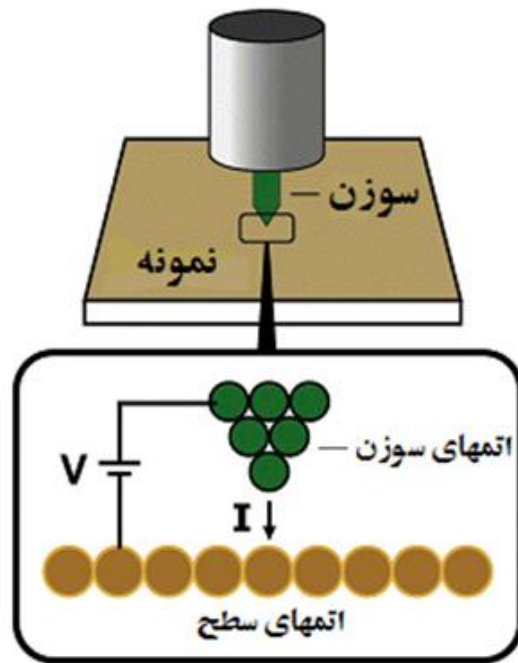


شکل (۲) شماتیک برهمکنش سوزن و نمونه و برقراری جریان تونلی در فاصله آنگسترومی سوزن از سطح نمونه. بیش از ۹۰٪ جریان الکترون از انتهای ترین اتم سوزن جاری می‌گردد [۱۸]

از آنجا که جریان تونلی یک تابع حساس به پهنای شکاف  $d$  می‌باشد، با تغییر فاصله سوزن تا نمونه تغییر می‌کند و به عنوان سیگنالی برای تصویرسازی **STM** استفاده می‌شود.

NANOCLUB

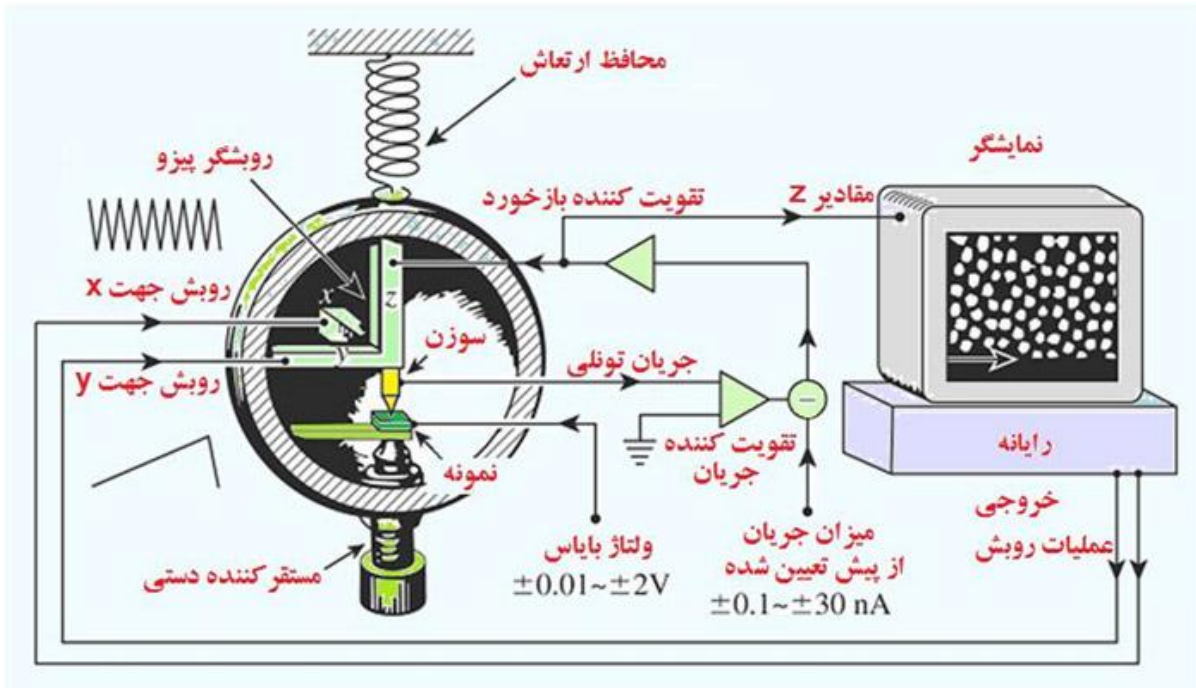
پاشگاه نانو



شکل (۳) برقراری جریان تونلی در فاصله و ولتاژ مناسب [۱۷].

در یک دستگاه معمولی (شکل ۴)، به منظور روبش سطح، سوزن فلزی به کمک فعال کننده های پیزوالکتریک قائم الزاویه و عمود برهم، در سه جهت حرکت می کند. در این حالت، برهمکنش کوتاه برد که رزولو شن مطلوب را می دهد، توسط این پروب موضعی دریافت می شود. نمونه از طریق شناوری مغناطیسی ابرسانا یا یک سیستم فنر دو مرحله ای، جهت دستیابی به یک فاصله پایدار (پهنای شکاف) بین پروب و سطح، نصب می گردد. پروب نیز سطح مورد مطالعه را روبش کرده و مقادیر اندازه گیری شده، در سیستم ثبت می گردد. در این بین، یک سیستم بازخورد، ارتفاع پروب را تغییر داده تا جریان الکتریکی ثابت بماند. کنترل کننده الکترونیک، پروب را در فاصله مربوط به جریان تونلی از پیش تعیین شده، تنظیم می کند. این فاصله توسط یک کامپیوتر به عنوان تابعی از موقعیت جانبی ثبت می شود. جابجایی پروب در اثر ولتاژ اعمالی به پیزوالکتریک، نهایتاً سیگنال های تهیه نقشه توپوگراف یک سطح را در نرم افزار دستگاه ایجاد می کند تا پس از پردازش رایانه ای، درنمایشگر بصورت تصویر حاصله از نمونه، ظاهر گردد.

باید توجه داشت، از آنجا که پایداری مکانیکی زیاد دستگاه، پیش شرط اندازه گیری موفقیت آمیز در مقیاس اتمی است، بنابراین ضروری است دستگاه STM دارای ساختاری صلب و از نظر ارتفاعات ایزوله باشد تا بتواند محل قرارگرفتن سوزن روی سطح نمونه را با دقت اتمی و بصورت تکرارپذیر تعیین نماید [۱۹].



شکل (۴) طرح شماتیک اجزاء اصلی میکروسکوپ تونلی روبشی. یک روبشگر پیزوالکتریک XYX سوزن را روی سطح حرکت می دهد. میتوان از یک مدار بازخورد برای ثابت نگه داشتن جریان تونلی استفاده نمود [۲].

### نتیجه گیری

میکروسکوپ تونلی روبشی، اولین اختراع از مجموعه میکروسکوپ های پروبی روبشی می باشد که برای ایجاد تصاویر سه بعدی از سطوح مواد با دقت اتمی و تفکیک پذیری بالا استفاده می شود. اساس این میکروسکوپ مبتنی بر پدیده کوانتومی به نام تونل زنی است. تجهیزات این میکروسکوپ شامل نگهدارنده نمونه، سوزن و مجموعه مرتبط با آن، کنترل کننده الکترونیکی، رایانه جهت کنترل کننده الکترونیکی و نرم افزار پردازش تصویر می باشد.

### منابع و مراجع

<sup>۱</sup> علیرضا ذوالفقاری، محمد الماسی، پیروز مرعشی، مهرداد نجبا، امید سیفی، "میکروسکوپ پروبی روبشی آزمایشگاهی روی نوک سوزن"، تهران، پیکنور، (۱۳۸۵).

<sup>۲</sup> Bharat Bhushan, "Springer Handbook of Nanotechnology", USA, Springer, (2004).

<sup>۳</sup> B. Bhushan, O. Marti, "Scanning Probe Microscopy – Principle of Operation, Instrumentation, and Probes" , Nanotribology and Nanomechanics, Springer, (2011).

- 
- <sup>4</sup> G. Binnig, C.F. Quate, C. Gerber, Atomic force microscope, *Phys. Rev. Lett.* 56, 930–933(1986).
- <sup>5</sup> K. Yamanaka, H. Ogiso, O. Kolosov, Ultrasonic force microscopy for nanometer resolution subsurface imaging, *Appl. Phys. Lett.* 64, 178–180 (1994).
- <sup>6</sup> J.A. Stroscio, W.J. Kaiser (Eds.), *Scanning Tunneling Microscopy* (Academic, Boston 1993) 102. H.J. Guntherodt, D. Anselmetti, E. Meyer (Eds.), *Forces in Scanning Probe Methods* (Kluwer, Dordrecht 1995).
- <sup>7</sup> F.J. Giessibl, C. Gerber, G. Binnig, A low-temperature atomic force/scanning tunneling microscope for ultrahigh vacuum, *J. Vac. Sci. Technol. B* 9, 984–988 (1991).
- <sup>8</sup> V.N. Koinkar, B. Bhushan, Microtribological studies of unlubricated and lubricated surfaces using atomic force/friction force microscopy, *J. Vac. Sci. Technol. A* 14, 2378–2391 (1996).
- <sup>9</sup> C. Basire, D.A. Ivanov, Evolution of the lamellar structure during crystallization of a semicrystalline-amorphous polymer blend: Time-resolved hot-stage SPM study, *Phys. Rev. Lett.* 85, 5587–5590 (2000).
- <sup>1</sup> D. Smith, H. Horber, C. Gerber, G. Binnig, Smectic liquid crystal monolayers on graphite observed by scanning tunneling microscopy, *Science* 245, 43–45 (1989).
- <sup>1</sup> Paolo Samori, "Scanning Probe Microscopies Beyond Imaging", WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, (2006).
- <sup>1</sup> H. Liu, B. Bhushan, Investigation of nanotribological properties of self-assembled monolayers with alkyl and biphenyl spacer chains, *Ultramicroscopy* 91, 185–202 (2002).
- <sup>1</sup> J. Foster, J. Frommer, Imaging of liquid crystal using a tunneling microscope, *Nature* 333, 542–547 (1988).
- <sup>1</sup> <http://edu.nano.ir/paper/104> <sup>4</sup>
- <sup>1</sup> Paolo Samori, "Scanning Probe Microscopies Beyond Imaging", WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, (2006).
- <sup>1</sup> O. Marti, B. Drake, P.K. Hansma, Atomic force microscopy of liquid-covered surfaces: atomic resolution images, *Appl. Phys. Lett.* 51, 484–486 (1987).
- <sup>1</sup> K.S. Birdi, "Scanningprobe microscopes : applications in science and technology", USA, (2003).
- <sup>۱۸</sup> علیرضا ذوالفقاری، محمد الماسی، پیروز مرعشی، مهرداد نجبا، امید سیفی، "میکروسکوپ پروبی روبشی آزمایشگاهی روی نوک سوزن"، تهران، پیکنور، (۱۳۸۵).
- <sup>1</sup> G. Binnig, H. Rohrer, Scanning tunnelling microscopy, *Surf. Sci.* 126, 236–244 (1983).
- <sup>2</sup> R.L. Nicolaidis, W.E. Yong, W.F. Packard, H.A. Zhou, Scanning tunneling microscope tip structures, *J. Vac. Sci. Technol. A* 6, 445–447 (1988).