نمایش اسرار سطوح جامد

سیدمحمدحسینی
دکترای شیمی تجزیه و عضو باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی اراک
علی دریکوندی
کارشناس ارشد فیزیک حالت جامد و معلم فیزیک خرم‌آباد

اشاره

ترکیب شیمیایی و خواص فیزیکی سطح یک جامد در تماس با یک فاز مایع یا گاز، تفاوت چشمگیری با درون جامد دارد. توصیف این خواص اغلب در زمینه‌هایی مانند: فناوری فیلم نازک نیم‌رسانا، فعالیت سطح فلزها، نافلزها و بررسی رفتار و عملکرد غشاهای زیست‌شناختی مهم است. میکروسکوپ نیروی اتمی، AFM دستگاهی است که برای بررسی خواص و ساختار سطحی مواد در ابعاد نانومتر به‌کار می‌رود. نمایش توپوگرافی سطوح و سرعت بالای اندازه‌گیری، تهیه تصویر سه‌بعدی و توانایی بررسی انواع خواص سطحی و قدرت تفکیک بالا در مقیاس اندازه‌های اتمی، از توانمندی‌های این ابزار است.

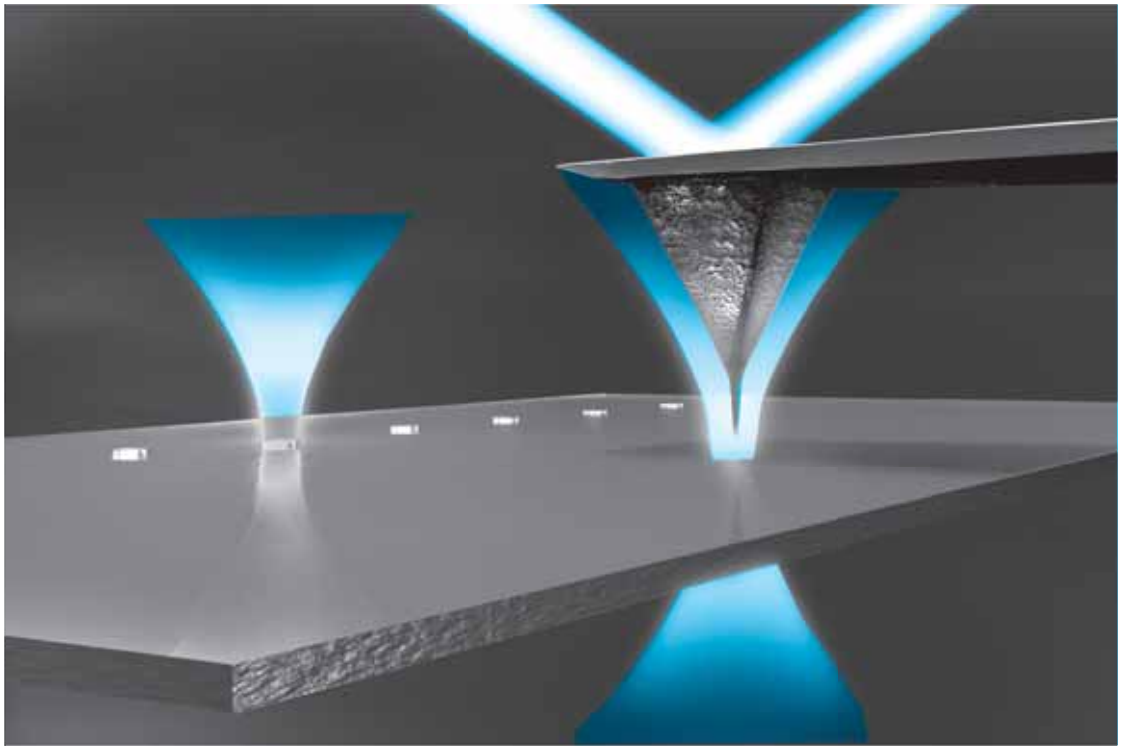
کلیدواژه‌ها: میکروسکوپ نیروی اتمی، توپوگرافی سطوح، قدرت تفکیک بالا

مقدمه

سطح یک جامد لایه مرزی بین یک جامد و خلاء، یک گاز یا یک مایع در نظر گرفته می‌شود. به‌طور کلی سطح را به‌صورت قسمتی از یک جامد در نظر می‌گیرند که از جهت ترکیب، با میانگین توده‌ای جامد متفاوت است. بنابراین سطح، متشکل از لایه بالایی اتم‌های یک مولکول جامد و لایه انتقالی با یک ترکیب غیریکنواخت است که به‌طور پیوسته از ترکیب لایه بیرونی تا ترکیب لایه توده تغییر می‌کند. در نتیجه عمق یک سطح ممکن است شامل چند یا ده‌ها لایه اتمی باشد. روش‌های کلاسیک تنها اطلاعاتی درباره ماهیت فیزیکی سطوح ارائه می‌دهند در حالی‌که حاوی اطلاعات اندکی در مورد ماهیت شیمیایی‌اند. روش‌های طیف‌بینی سطح، اطلاعات شیمیایی کیفی و کمی درباره ترکیب لایه سطحی یک جامد در اختیار می‌گذارند. یکی از ابزارهای قدرتمند بررسی سطوح رسانا و نارسانا، میکروسکوپ نیروی اتمی، AFM، است. از این دستگاه توانمند در تهیه توپوگرافی سطوح استفاده می‌شود. AFM از مجموعه میکروسکوپ‌های ردیاب پویشی است که برخلاف میکروسکوپ‌های نوری و الکترونی، جزییات نمونه را نه‌تنها روی محورهای x و y، بلکه روی محور z که عمود بر سطح است، نیز آشکار می‌کند. قدرت تفکیک این میکروسکوپ‌ها در حالت ایده‌ال، یک آنگستروم در جهت محورهای x و y، و در بعد z معمولاً بهتر از این مقدار است. اساس عملکرد AFM پویش سطح نمونه در الگوی نمایی x/y با یک نوک بسیار تیز است که در طول محور z به‌صورت تغییرات نقشه‌برداری سطح، به بالا و پایین حرکت می‌کند. مهم‌ترین بخش از اجزای AFM، مجموعه سوزن و نوک است که درواقع، بخش اصلی برای شناخت سطوح به‌شمار می‌رود. نیروهای بسیار کوچکی به‌صورت جاذبه و دافعه بین اتم‌های باردار وجود دارند. چنین نیروهایی بین نوک میکروسکوپ و اتم‌های سطح ایجاد می‌شود. با اندازه‌گیری نیروی بین اتم‌ها در نقاط مختلف سطح می‌توان محل اتم‌ها را روی آن مشخص کرد.

نمایش توپوگرافی سطح

اجسام هر اندازه هم که به ظاهر صاف و صیقلی باشند، باز هم در سطح خود دارای پستی و بلندی و ناهمواری‌هایی هستند. یعنی اگر در مقیاس خیلی کوچک به آن‌ها نگاه کنیم، خواهیم دید که سطح آن‌ها پر از ناصافی‌ها یا فراز و نشیب است. ثبت چگونگی قرارگیری و نمایش عمق و ارتفاعِ پستی و بلندی‌ها



در یک سطح خاص از ماده را «توپوگرافی» می‌نامند. کار میکروسکوپ نیروی اتمی نشان‌دادن این ناصافی‌ها و اندازه‌گیری عمق آن‌هاست. این دستگاه توانایی نشان دادن توپوگرافی را در سه بعد دارد. درواقع فرایند پویش یا اسکن به وسیله همان مجموعه سوزن یا انبرک و نوک آن صورت می‌گیرد. سوزن به آسانی در ناصافی‌ها، بالا و پایین می‌رود و انتهای آن هم به بخشی متصل است که به جابه‌جایی عرض سوزن بسیار حساس است و این تغییر فاصله‌ها را پس از ثبت، به علامت‌های قابل درک برای رایانه تبدیل می‌کند. پردازش علامت توسط رایانه انجام می‌گیرد تا نحوه قرارگیری اتم‌ها در کنار یکدیگر، روی صفحه نمایشگر نشان داده شود.

روش‌های پویش سطح

براساس محدوده عملکرد سوزن، روش‌های پویش سطح توسط AFM به سه دسته تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از:

• تماسی

بنا به تعریف، به ناحیه نیروی بین سوزن و سطح دافعه، ناحیه تماسی گفته می‌شود. در این روش که برای بیشتر سطوح کاربرد دارد، نوک سوزن در فاصله‌ای بسیار کم از سطح قرار می‌گیرد و به محض رسیدن به پستی یا بلندی، به‌دلیل جابه‌جایی که در سوزن ایجاد می‌شود، امکان نمایش توپوگرافی فراهم می‌شود. به عبارتی با نزدیک شدن این دو به هم، نیرو زیاد شده، با دور شدن آن‌ها از یکدیگر، نیرو کم می‌شود. در نتیجه نمایش غیرمستقیم آرایش اتم‌ها انجام می‌گیرد.

• شبه تماسی

به ناحیهٔ بین ناحیهٔ تماسی و غیرتماسی، همراه با بخش کوچکی از ناحیهٔ تماسی، حدود ٤ تا ٣٠ آنگستروم، ناحیهٔ شبه‌تماسی گویند.

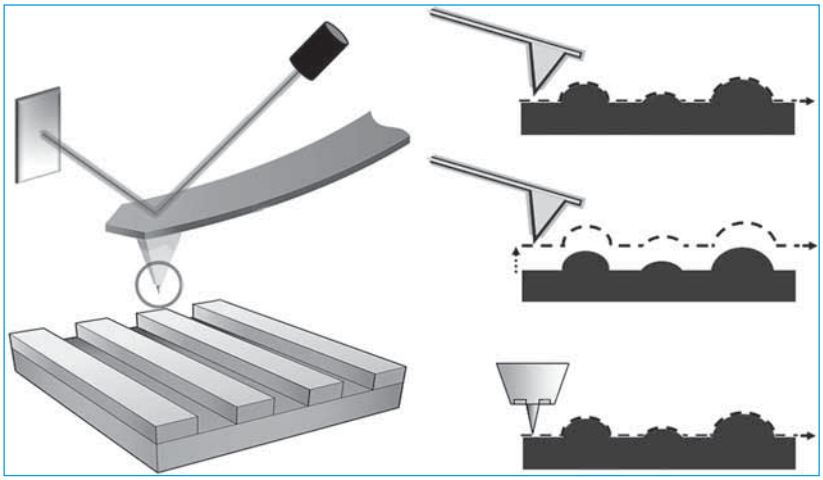
• غیرتماسی

در این ناحیه نیروی بین نوک و سطح از نوع جاذبه است. این روش برای سطوح آلوده استفاده می‌شود. در این شیوه، نخست سوزن را با نوسانی دقیق به حرکت در می‌آورند و آن را روی سطح هدایت می‌کنند. سوزن خاصیت ارتجاعی دارد و به راحتی بالا و پایین می‌رود. نیرویی که بین سوزن و سطح وجود دارد بر نوسان سوزن اثر می‌گذارد و در نتیجه آن، آرایش اتمی سطح مشخص می‌شود.

برتری‌های AFM

عمده‌ترین برتری‌های میکروسکوپ نیروی اتمی عبارت‌اند از:

ـ کارکرد در شرایط غیرخلاء



نوک سوزن در فاصله‌ای بسیار کم از سطح قرار می‌گیرد و به محض رسیدن به پستی یا بلندی، به‌دلیل جابه‌جایی که در سوزن ایجاد می‌شود، امکان نمایش توپوگرافی فراهم می‌شود

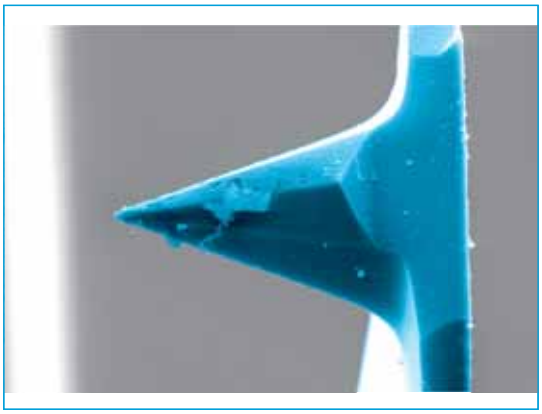
ـ عدم نیاز به آماده‌سازی نمونه، سرعت بالای اندازه‌گیری
ـ قیمت مناسب، مصرف انرژی ناچیز و دقت بالا در اندازه‌گیری
ـ کاربردهای گسترده و صدمه نزدن به نمونه‌های نرم مانند نمونه‌های زیست‌شناختی و پلیمرها
ـ عدم محدودیت نوع نمونه برخلاف SEM، TEM، STM
ـ اندازه آزمایشگاهی مناسب
ـ تهیه تصویر سه‌بعدی از نمونه و توانایی بررسی انواع خواص سطحی

کاربردهای AFM

برخی از کاربردهای مهم AFM به این قرارند:
ـ نانو لیتوگرافی
ـ نانو ماشین‌کاری سطوح سخت سرامیکی
ـ نانو برشکاری
ـ بررسی دقیق تیزی لبه ابزارهای ماشین‌کاری
ـ تهیه تصویر از نمونه‌های زیست‌شناختی زیر آب، با کمترین واپیچش تصویر
ـ تشخیص سطوح سیلیسیمی و نقص روی این سطوح در نیم‌رساناها و همچنین تصویربرداری از قلمروهای مغناطیسی روی مواد مغناطیسی
ـ تصویربرداری از DNA، کروماتین، برهم کنش‌های آنزیم‌های پروتئینی، ویروس‌های غشایی.

نتیجه‌گیری

روی هم رفته، AFM ضروری‌ترین ابزار در انجام طرح‌های کاربردی نانو است. میکروسکوپ نیروی اتمی، دستگاهی است که برای بررسی خواص و ساختار سطحی مواد در ابعاد نانومتری به‌کار می‌رود. انعطاف‌پذیری، علامت‌های بالقوهٔ متعدد و امکان عملکرد دستگاه در مدل‌های مختلف، پژوهشگران را در بررسی سطوح گوناگون، در شرایط محیطی متفاوت توانمند ساخته است. برخلاف بیشتر روش‌های بررسی خواص سطوح، در این روش محدودیت اساسی روی نوع سطح و محیط آن



ثبت چگونگی قرارگیری و نمایش عمق و ارتفاع پستی و بلندی‌ها در یک سطح خاص از ماده را «توپوگرافی» می‌نامند

وجود ندارد. با این دستگاه امکان بررسی سطوح رسانا و عایق، نرم و سخت، فشرده و گَردی، زیست‌شناختی و آلی یا غیرآلی وجود دارد. خواص قابل اندازه‌گیری با این دستگاه شامل توپوگرافی، ریخت‌شناسی هندسی، توزیع چسبندگی، اصطکاک، ناخالصی سطحی، جنس نقاط مختلف سطح، کشسانی، خواص مغناطیسی، بزرگی پیوندهای شیمیایی، توزیع بارهای الکتریکی سطحی و قطبیت الکتریکی نقاط مختلف است. در عمل از این قابلیت‌ها برای بررسی ویژگی‌هایی همچون خوردگی، تمیزی، یکنواختی، زبری، چسبندگی، اصطکاک و اندازه استفاده می‌شود.

منابع

1. Lang, K.M.; Hite,D.A.; Simmonds,R.W.; McDermott,R.; Pappas,D.P.; Martinis,J.M.. *Review of Scientific Instruments*.2004,٠75٠ 2726.
2. Butt, H; Cappella, B; Kappl, M. *Surface Science Reports* ,2005,59, 1.
3. King,M., Carter,A.R., Churnside,A.B., Eberle, L.S.and Perkin, T. *Nano Letters* ,2009,9, 1451.
4. Hoffmann,M., Oral,A., Peter R.A.G." *Proceedings of the Royal Society A*, 2001, 457, 1161.