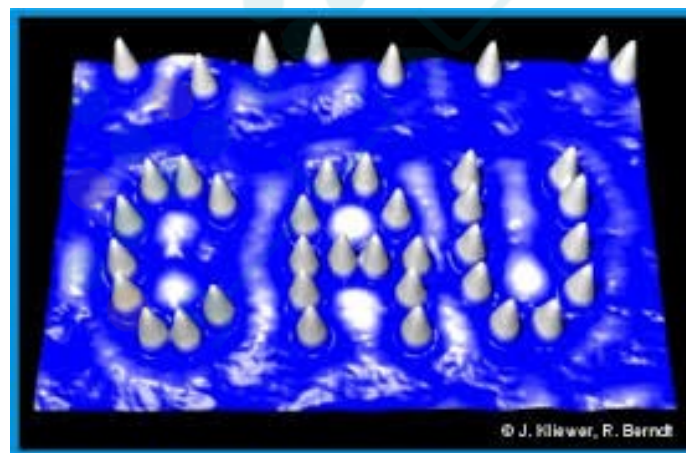


مقدمه

دانشمندان می‌کوشند روش‌هایی ابداع کنند که بتوان با آنها سطوحی در مقیاس ۱ تا ۱۰۰ نانومتر را شکل داد. چنین دستاوردی برای فناوری نانو بسیار مهم و بنیادی است، زیرا دانشمندان رشته‌های مختلف مانند الکترونیک، داروسازی یا تشخیص بیماری‌ها را برای ورود به دنیای نانو توانمند می‌سازد. پس از اختراع میکروسکوپ تونل‌زنی اتمی (STM) و به دنبال آن میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) متخصصان زیادی کوشیده‌اند طرح‌هایی را با مشقت فراوان توسط بازوهای ظریف این میکروسکوپ‌ها اتم به اتم بچینند. نمونه‌ای از این طرح‌ها در شکل زیر دیده می‌شود. این کار زمان زیادی می‌برد و برای انجام آن باید خلأ بسیار بالا و دمای پایین ایجاد کرد.



شکل ۱: نگارش CAU با میکروسکوپ STM

گروه دیگری از متخصصان، از STM و AFM برای خراشیدن یا ایجاد واکنش اکسیداسیون در سطوح نانویی استفاده کرده‌اند. این تکنیک‌ها کاربردهای مهمی دارند، اما متأسفانه اکسیداسیون را تنها بر سطوح خاصی از فلزات و نیمه‌هادی‌ها به وجود می‌آورند و به علاوه نمی‌توان به راحتی آنها را برای ایجاد چند لایه روی هم به کار

گرفت.

«نانولیتوگرافی قلم آغشته» که به طور خلاصه DPN نامیده می‌شود، روش نوینی برای طراحی سیستم‌ها در مقیاس نانومتری است. در این روش یک سوزن بسیار نوک تیز، مواد شیمیایی (جوهر) را روی سطح مورد نظر می‌نشانند. با این روش، که شبیه استفاده از پر برای نوشتن است، نقش‌هایی به ریزی چند ده نانومتر قابل ترسیم‌اند. همچنین می‌توان انواع گوناگونی از جوهرها، از پوشش‌های فلزی گرفته تا ذرات نانومتری یا مولکول‌های زیستی را در شرایط کنترل شده به کار گرفت.

۱- نانولیتوگرافی قلم آغشته چیست؟

این روش توسط «سی میرکین» و همکارانش در دانشگاه «نورث وسترن» ابداع شد. آنها توانستند مولکول‌ها را در فرآیندی قابل کنترل با استفاده از نوک سوزن یک میکروسکوپ نیروی اتمی روی سطح بنشانند.

در کارهای اولیه‌ای که به روش DPN انجام می‌شد، مولکول آلی «تیول» و سطح طلا به کار می‌رفتند. با استفاده از این سیستم، عوامل مؤثر در انتقال جوهر و حد دقت آن مشخص شد. به‌ویژه معلوم گردید که پخش جوهر بر روی سطح، برای این سیستم، به عوامل محیطی مانند دما و رطوبت وابسته است. متخصصان با کنترل این عوامل موفق به دستیابی به دقت بیشتر در ترسیم شدند. علاوه بر این، محققان توانستند لایه‌ای به ارتفاع فقط یک مولکول، به تفکیک ۱۲ نانومتر، را با استفاده از AFM به دست آورند.

بیشتر بدانید:

مقصود از تفکیک، حداقل فاصله قابل رعایت بین دو نقطه در طرح است. به طوری‌که دو نقطه از هم قابل تجزیه باشند. این مفهوم معادل قدرت تفکیک در چاپگرهاست.

قدرت بی‌نظیر DPN و قابلیت‌های وسیع آن، توجه محققان زیادی را به خود جلب کرد. آنها دست به آزمایش‌های زیادی با این تکنیک زدند. در نتیجه این تحقیقات، آنها متوجه شدند فرآیند DPN برای تعداد زیادی از مولکول‌ها به عنوان جوهر قابل انجام است: سورفکتانت‌ها، مولکول‌های بزرگ باردار مانند پروتئین‌ها و پولیمرها، مواد تشکیل‌دهنده‌ی سل‌ژل، اکسیدهای فلزی و حتی نانوذرات. سطوح قابل استفاده شامل فلزات

(مانند طلا اگر از تیول به عنوان جوهر استفاده شود)، نارساناها (مانند اکسید آلومینیوم یا اکسید سیلیکون) و نیمه‌رساناها (مانند آرسنید گالیم) هستند.

توانایی‌های منحصربه‌فرد فرآیند DPN آن را به روشی پیشرو برای ترسیم نقوش با تفکیک بالا در ابعاد نانومتری تبدیل می‌کند. در بین روش‌هایی که برای ابعاد زیر ۵۰ نانومتر قابل استفاده‌اند، مانند لیتوگرافی پرتو الکترونی، DPN تنها ابزاری است که می‌تواند مولکول‌ها را به طور مستقیم در شرایط کنترل‌شده روی سطح بنشاند. در حقیقت، از آنجا که ابزارهای DPN از میکروسکوپ‌های پیمایشی استفاده می‌کنند، می‌توانند عملیات ترسیم نقوش و تصویربرداری را همزمان انجام دهند. مسئله مهم در اینجا تولید نقوش پیچیده در ابعاد نانومتری نیست؛ مسئله مهم‌تر این است که بتوان این نقوش را — که ممکن است ملزم به پیاده‌سازی در چند مرحله مجزا باشند — به دقت نسبت به هم تثبیت کرد. محققان با استفاده از DPN توانسته‌اند نقوش مختلف را با استفاده از جوهرهای مختلف با خطای کم‌تر از ۵ نانومتر روی هم رسم کنند.

برای جمع‌بندی می‌توانیم بگوییم که نانولیتوگرافی قلم آغشته، مزایای زیر را دارد:

۱. قدرت تفکیک بالا. ترسیم نقوشی به کوچکی ۱۲ نانومتر، با دقت ۵ نانومتر و قابل تطبیق بر نقوش لایه‌های بعدی؛
۲. بی‌نیاز از خلأ برای انتقال جوهر به سطح با استفاده از سوزن AFM، کافی است شرایط محیطی محصورشده‌ای فراهم کنیم. بر خلاف برخی روش‌های دیگر، در این روش ترسیم به خلأ نیازی نیست. این خاصیت به‌ویژه در مورد مولکول‌های زیستی که در خلأ آسیب می‌بینند بسیار مهم است؛
۳. قدرت ترسیم مستقیم. مواد مورد نظر می‌توانند دقیقاً (و فقط) در جایی که مطلوب است گذارده شوند. به علاوه، نقوش ترسیم‌شده به این روش، به عنوان فیلتر فوتورزیست برای فرآیندهای میکروالکترونیک استاندارد قابل استفاده‌اند؛
۴. امکان به کارگیری مواد گوناگون. در نقش‌های ترسیمی با DPN می‌توان از انواع متنوع جوهر بر روی سطوح مختلف استفاده کرد؛
۵. قابلیت هدایت خودکار. این روش را می‌توان به راحتی و با برنامه‌ریزی ماشین‌های موجود به طور خودکار پیاده کرد.

این برتری‌ها، DPN را روشی بسیار سودمند برای توسعه لیتوگرافی در ابعاد نانومتری ساخته است. در مقیاس آزمایشگاهی، این تکنیک می‌تواند همه کارآیی‌های سایر روش‌های لیتوگرافی را داشته باشد. اما حوزه‌های

گوناگون صنعت هم می‌توانند با استفاده از این روش به تولید صنعتی محصولات جدید بپردازند. در ادامه به چند کاربرد این تکنیک که احتمال صنعتی شدن آن زیاد است، اشاره می‌کنیم.

۲- کاربردهایی برای DPN

پیش‌بینی در مورد مسیر فناوری‌های نوظهور بسیار مشکل است. با این حال، بررسی تعداد مقالات و فعالیت‌های علمی نشان می‌دهد که DPN با آنکه روشی نسبتاً کند است، اما تأثیر مهمی در صنعت خواهد گذاشت. در این بخش، به چند حوزه مهم که این فناوری بر آنها تأثیرگذار خواهد بود تمرکز می‌کنیم؛ گرچه هنوز حوزه‌های دیگری برای بررسی و پیدا کردن کاربردهای جدید وجود دارند.

۱-۲- آرایه‌های مولکول‌های زیستی در ابعاد میکرو و نانو

امروزه زیست‌شناسان از روش‌های جدیدی برای تشخیص ترکیب ژنتیکی مولکول‌های زیستی استفاده می‌کنند. تقریباً همه اطلاعات لازم در مورد ساختار یک سلول و بیماری‌های احتمالی آن، مانند جهش ژنتیکی که عامل اصلی ایجاد سرطان و برخی نارسایی‌های دیگر زیستی است، در DNA وجود دارد.

جدیدترین ابزاری که برای تشخیص ژن‌های DNA به کار گرفته می‌شود، «چیپ‌های زیستی آرایه‌ای» است. در این ابزار، تعداد زیادی حسگر که هر کدام به نوع خاصی از ژن حساس‌اند، به دقت کنار هم چیده شده‌اند. ترتیب قرارگیری آنها طوری تنظیم شده است که هر دسته از آنها نوع مشخصی از ترتیب ژن‌ها را مشخص می‌کنند. به طوری که هر DNA به خاطر ساختار خاص خود تنها به یک دسته از حسگرها می‌چسبد. با تشخیص محل قرارگیری مولکول DNA ناشناخته روی چیپ زیستی و مقایسه آن با مرجع، می‌توان ترکیب ساختاری مولکول را به سرعت پیدا کرد.

برای ساخت چیپ‌های زیستی آرایه‌ای که بتوانند انواع مختلف DNA را تشخیص دهند، باید بتوانیم تعداد زیادی مولکول حسگر را به درستی کنار هم بچینیم. DPN به عنوان تکنیکی برای نوشتن مستقیم مولکول‌ها روی سطوح، قابلیت‌های زیادی به دست پژوهشگران داده است و توان ساخت چیپ‌های پیشرفته‌تر با سرعت و دقت تشخیص بسیار بالاتر را فراهم آورده است.

۲-۲- ساخت ماسک برای حک کردن طرح‌های نانومتری با استفاده از خوردگی مرطوب

یکی از روش‌های مرسوم برای ترسیم طرح‌ها روی سطوح، «خوردگی مرطوب» است. خوردگی مرطوب شباهت زیادی به تکنیکی دارد که برای ایجاد یک فیبر مدار چاپی برای یک مدار خاص الکترونیکی استفاده می‌شود، اما در ابعادی بسیار کوچک‌تر. در این روش ابتدا طرح مورد نظر با لایه‌ای از مواد مقاوم در برابر خوردگی روی سطح ترسیم می‌شود. سپس سطح در مایعی قرار می‌گیرد که خاصیت خوردگی دارد. در نتیجه، قسمت‌هایی که در تماس با مایع اند حل می‌شوند. میزان پیشروی در سطح با کنترل عوامل مختلف، مانند دما، میزان غلظت حلال و زمان تماس با مایع قابل تنظیم است. اما لازمه این روش، رسم طرح مورد نظر با ماده مقاوم روی سطح است. به طور سنتی این کار با استفاده از تکنیک‌های عکاسی صورت می‌گرفت، اما از آنجا که طول موج نور بسیار بزرگ‌تر از نقش‌هایی است که می‌خواهیم ایجاد کنیم، رسیدن به قدرت تفکیک کمتر از چند صد نانومتر با روش‌های سنتی غیرممکن است. به همین علت، DPN که به طور مستقیم طرح مورد نظر را با ماده مقاوم بر روی سطح رسم می‌کند، پیشرفت بسیار مهمی در این حوزه به شمار می‌رود. قابلیت به‌کارگیری این تکنیک برای سطوح مختلف، میزان امیدواری کارشناسان برای به‌کارگیری صنعتی آن را افزایش می‌دهد. به‌تازگی سوزن‌های مخصوص چندگانه‌ای برای ترسیم موازی طرح‌ها با تکنیک DPN ساخته شده‌اند که می‌توانند تا ده هزار طرح را به طور موازی رسم کنند.

۲-۳- آخرین دستاورد: استفاده از جوهرهای خشک

به‌تازگی با استفاده از یک تکنیک جدید در مرکز تحقیقات نیروی دریایی آمریکا و دانشگاه «جرجیا تک» – که بر پایه DPN طراحی شده است – محققان توانسته‌اند انواع جدیدی از جوهرهای خشک را به طور کنترل‌شده روی سطح بنشانند. در این روش، دمای سوزن میکروسکوپ نیروی اتمی با سازوکاری داخلی قابل تغییر و کنترل است. با افزایش دمای سوزن، ماده جامدی که به عنوان جوهر روی سوزن قرار داده شده است ذوب می‌شود و روی سطح می‌چسبد. با سرد کردن سوزن، دیگر جوهر به سطح نمی‌چسبد و به این ترتیب می‌توان طرح پیاده‌شده را با دقت بیشتری کنترل کرد. این روش را «نانولیتوگرافی قلم آغشته گرمایی» نامیده‌اند.

یکی از مهم‌ترین مزایای این روش امکان به‌کارگیری آن در خلأ است. جوهرهای مایع در خلأ قابل استفاده نیستند، زیرا به‌سرعت قبل از اینکه به سطح بچسبند بخار می‌شوند. این موضوع گاهی باعث کاهش دقت مسیر

جوهر و پخش شدن آن روی سطح می‌شود. با استفاده از روش گرمایی امکان ترسیم نقش‌های ظریف‌تر فراهم شده است. محققان امیدوارند بتوانند طرح‌هایی را در ابعاد کم‌تر از ۱۰ نانومتر با این روش ترسیم کنند. استفاده از سوزن‌های متعدد برای ترسیم موازی، در این روش هم امکان‌پذیر شده است.

منابع

مقالات آموزشی سایت باشگاه نانو

