

## فصل: لیتوگرافی

### بخش ۲: لیتوگرافی باریکه الکترونی

نویسنده: محمد فرهادپور

#### مقدمه

صنعت الکترونیک به طور جدی به دنبال پیاده کردن روش‌های جدید ساخت سیستم‌های نانومتری است تا بتواند به روند ساختن ابزارهای کوچک‌تر، سریع‌تر و ارزان‌تر ادامه دهد. طبیعی است که در قدم اول باید روش‌های موجود برای میکروالکترونیک به نانو الکترونیک تعمیم یابند. اما همان‌طور که گفته شد، استفاده از روش معمول لیتوگرافی نوری برای ابعاد ریزتر، بسیار دشوارتر است. به همین علت، تولیدکنندگان قطعات رایانه به دنبال فناوری‌های جایگزین برای ساخت نانوتراشه‌ها در آینده هستند.

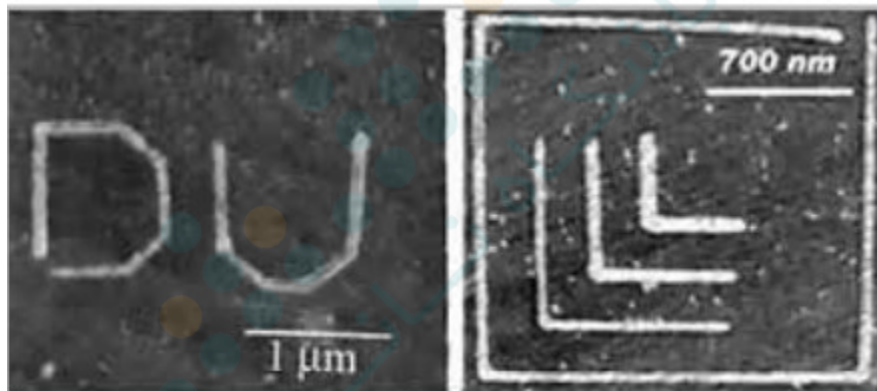
#### ۱- لیتوگرافی پرتو الکترونی و اشعه ایکس

لیتوگرافی پرتو الکترونی، یکی از جایگزین‌های پیش رو است که به جای نور از پرتو الکترون استفاده می‌کند. در این روش، طرح مدار با استفاده از پرتو الکترون روی لایه‌ی نازکی از پلیمر نوشته می‌شود. پرتو الکترون در ابعاد اتمی پراشیده نمی‌شود، بنابراین لبه‌های طرح، دیگر ناخوانا نیستند. محققان از این روش برای ترسیم خطوطی با پهنای چند نانومتر روی سطح سیلیکون آغشته به فوتورزیست استفاده کرده‌اند. با این حال، ابزارهای پرتو الکترونی که امروزه وجود دارند، برای تولید انبوه در صنعت مناسب نیستند. زیرا این روش کند است؛ این کار شبیه نسخه‌برداری از روی یک نوشته با دست است.

اگر الکترون‌ها جوابگو نیستند، پس چه باید کرد؟ یک جواب دیگر، استفاده از اشعه‌ی ایکس با طول موجی بین  $0.1$  تا  $10$  نانومتر یا نور فرابنفش با طول موج بین  $10$  تا  $70$  نانومتر است. کوچک‌تر بودن طول موج این نورها از طول موج نور فرابنفش که اینک در لیتوگرافی نوری استفاده می‌شود، تاثیر پراش را کم‌تر می‌کند. با این حال، این فناوری‌ها هم مشکلات خاص خودشان را دارند. عدسی‌های معمولی نور در برابر نور فرابنفش دیگر شفاف نیستند و اشعه ایکس را متمرکز نمی‌کنند. در عین حال، انرژی زیاد این پرتوها به سرعت به مواد تشکیل دهنده‌ی ماسک و عدسی‌ها آسیب می‌رساند. اما صنعت میکروالکترونیک، ترجیح می‌دهد از تعمیم روش‌های

موجود برای تولید نانوتراشه‌ها استفاده کند. بنابراین، این روش‌ها به طور جدی در حال توسعه‌اند. بعضی از این روش‌ها مثلاً استفاده از لیتوگرافی نوری پیشرفته‌ی فرابنفش برای ساخت مدار مجتمع ممکن است به روش‌های پر رونق تجاری تبدیل شوند. با این حال، با این روش‌ها نانوتراشه‌های ارزان ساخته نمی‌شوند و نمی‌توان فناوری نانو را در دسترس تعداد بیشتری از مهندسان و دانشمندان قرار داد.

نیاز به سیستم‌های ساده‌تر و ارزان‌تر ساخت ابزار نانومتری، دانشمندان را به جستجوی روش‌هایی متفاوت از آنچه در صنعت الکترونیک به کار می‌رود، ترغیب کرده است. «لیتوگرافی نرم» یکی از این روش‌هاست که بیشتر شبیه ساختن یک مهر لاستیکی از طرح مدار و چاپ آن با تماس مکانیکی است. روش دیگر که از میکروسکوپ نیروی اتمی استفاده می‌کند، «لیتوگرافی قلمی» نام دارد که شبیه نوشتن با جوهر و پر قو است. دسته‌ی دیگری از روش‌ها که به روش‌های «پایین به بالا» معروف‌اند، با رویکردی کاملاً متفاوت به تولید نانو ساختارها می‌پردازند. در این روش‌ها اتم‌ها یک‌به‌یک در کنار هم قرار می‌گیرند تا ساختار مورد نظر ما را تشکیل دهند.



شکل ۱: نمونه‌هایی از نانولیتوگرافی، به مقیاس‌ها دقت کنید

## لیتوگرافی باریکه الکترونی

یکی از فناوری‌های جدید در حوزه لیتوگرافی، استفاده از میکروسکوپ‌های الکتریکی جهت تولید باریکه الکترونی است. با استفاده از روش لیتوگرافی باریکه الکترونی قابلیت تولید طرح‌ها و ساختارهایی در ابعاد نانو با رزولوشن بالا فراهم می‌شود. انتخاب نوع ماده‌ی مقاوم در کنتراست و کیفیت طرح‌های تولیدی اهمیت بسزایی دارد.

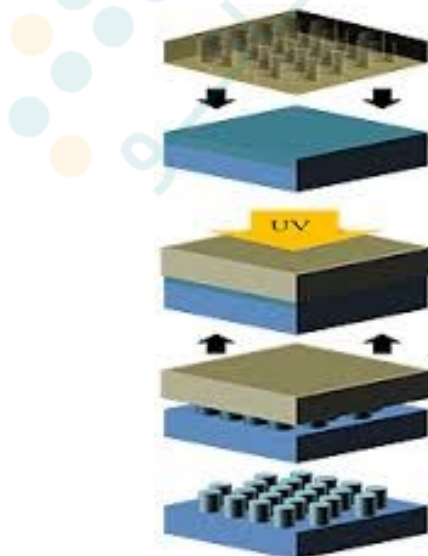
شاید بتوان اولین تفکر در زمینه کاربرد میکروسکوپ الکترونی در ساخت ابزار نانومقیاس را به صحبت‌های ریچارد فایمن در سال ۱۹۵۰ ارتباط داد که اظهار کرد "فضای زیادی در پایین وجود دارد". لیتوگرافی باریکه

الکترونی (EBL= Electron Beam Lithography) یک روش بسیار دقیق با رزولوشن بسیار بالا برای ایجاد طرح است. در این روش از یک باریکه الکترونی به خوبی متمرکز شده با انرژی ۲-۳۰۰ کیلوالکترون ولت، تولید شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی و عبوری، برای ایجاد طرح‌های خطی ظریف بر روی ماده نیمه‌هادی پوشش داده شده با ماده مقاوم، استفاده می‌شود.

با وجود جرم بسیار کم الکترون‌ها و وجود نسبت بالای بار به جرم آنها، امکان متمرکز کردن و هدایت آنها با استفاده از میدان‌های نسبتاً کم مغناطیسی و الکتریکی فراهم شده است. هرچه انرژی باریکه افزایش یابد، طول موج آن کاهش پیدا می‌کند. این موضوع سبب بهبود در میزان رزولوشن نهایی می‌شود. با این حال رزولوشن یا همان ابعاد ساختار قابل دستیابی با روش باریکه الکترونی، به حدود چند نانومتر محدود می‌شود، که بیشتر به علت محدودیت ماده مقاوم است.

### لیتوگرافی چاپ در مقیاس نانو (Nano Imprint lithography)

لیتوگرافی چاپ در مقیاس نانو به تقریب یک روش جدید در مقایسه با روش‌های دیگر لیتوگرافی نوری و لیتوگرافی اشعه الکترونی است. روش مذکور از اصول ساده‌ای برخوردار است. این روش شامل یک ماشین پرس است که یک مهر یا الگو را که حاوی طرح مطلوب می‌باشد بر روی یک لایه نازک از پلیمر فشار می‌دهد و آن را تا دمای خمیری شدن گرم می‌کند.



شکل ۲: شماتیک لیتوگرافی چاپ نانو

در این روش به طور معمول یک مهر مورد نیاز است که اغلب توسط یک ساختار نانویی و به وسیله روش لیتوگرافی اشعه الکترون و به دنبال آن روش حکاکی شیمیایی مناسب ایجاد شود.

مواد متفاوتی به عنوان قالب استفاده شده‌اند که سیلیکون، اکسید سیلیکون و پلیمر استفاده بیشتری دارند. اغلب لازم است که قالب توسط مواد ضد چسبنده پوشیده شود، تا بتوان بعد از عملیات پرس آن را از محصول نهایی جدا کرد.

محصول نهایی یک پلیمر است که به دو دلیل اهمیت دارد:

۱- پلیمر در دمای بالاتر از دمای خمیری شدن، به اندازه کافی نرم است، به طوری که می‌توان آن را در فرآیند چاپ به کار برد.

۲- پلیمر می‌تواند توسط عناصر خاص به یک ماده حساس در برابر ورودی‌های مغناطیس، الکتروسیسته، گرما و نور تبدیل شود. بنابراین ساختار نهایی می‌تواند از پیچیدگی بالایی برخوردار باشد.

به نظر می‌رسد لیتوگرافی چاپ در مقیاس نانو یکی از معدود فناوری‌هایی است که می‌تواند امکان تولید انبوه را داشته باشد. بلافاصله بعد از آماده شدن قالب و تنظیم صحیح دما در ماشین، این سیستم برای تولید انبوه ساختارهای نانویی قابل بهره‌برداری است. به طور معمول سیکل زمانی تولید، توسط ماشین چاپ نانوی معمولی، در حدود چند دقیقه است. این بازه زمانی تولید، اغلب شامل زمان پایین آمدن پرس و همچنین زمان اعمال تغییرات لازم برای گرمایش و سرمایش نمونه است.

منابع:

کتاب مقدمه‌ای بر فناوری نانو ۱، نوشته حسن سلیمی، سید محمدیوسف طاهری، عماد احمدوند

کتاب مجموعه مقالات دانش‌آموزی سایت باشگاه نانو

مقالات سایت آموزش ستاد نانو