میکروسکوپ، تاریخچه مختصر، انواع و برخی کاربردها

میکروسکوپ یا ریزبین دستگاهی است که دیدن اجسامی که با چشم غیر مسلح دیده نمی‌شوند را امکان‌پذیر می‌کند.

در طول سده هجدهم میکروسکوپ در گروه ابزارهای سرگرمی به‌شمار می‌آمد. اولین میکروسکوپ را ۴۰۰ سال پیش رابرت هوک ساخت و با آن توانست قطعه ای از چوب پنبه را با دقت ببیند. رابرت هوک از اصطلاح سلول به معنای اتاق کوچک برای حفره‌های مشاهده شده در چوب پنبه استفاده کرد. پس از آن میکروسکوپ دیگری ساخته شد که با آن توانستند موجودات ریز درون آب را ببینند. با پژوهش‌های بیشتر پیشرفتهای چشمگیری در شیوه ساختن عدسی شیئی بدست آمد. بطوری که عدسی‌های دیگر به صورت ذره بین‌های معمولی نبودند بلکه خطاهای موجود در آن‌ها که به کجنمایی معروف هستند، رفع شده و آن‌ها می‌توانستند جزئیات یک شی را دقیقاً نشان دهند. پس از آن در طی پنجاه سال، پژوهشگران بسیاری کوشیدند تا بر کیفیت و مرغوبیت این ابزار بیفزایند. سرانجام اِرنست آبه(Ernst Abbe) توانست پایه دانشی میزان بزرگنمایی میکروسکوپ را تعریف کند. به نسبت اندازه تصویر به اندازه شیء بزرگنمایی (به صورت یک عدد) گفته می‌شود، که فاقد بُعد است. بدین گونه در آن زمان میزان بزرگنمایی سودمند میکروسکوپ بین ۵۰ تا ۲۰۰۰ برابر مشخص شد.

البته می‌توان میکروسکوپ‌هایی با بزرگنمایی بیش از ۲۰۰۰ برابر ساخت. مثلاً توان عدسی چشمی را بیشتر کرد. اما توان جداسازی نور ثابت است و در نتیجه حتی بزرگنمایی بیشتر نمی‌تواند دو نقطه از یک شیء را بهتر تفکیک کند. هر چه بزرگنمایی شیء افزایش یابد به میزان پیچیدگی آن افزوده می‌شود. بنابراین بررسی‌های بسیاری صورت گرفت تا ابزار دقیق تری با بزرگنمایی بیشتر ساخته شود. نتیجه این پژوهش‌ها به ساختن میکروسکوپ الکترونی انجامید.

بعدها تلاش‌هایی در زمینه توسعه میکروسکوپ الکترونی روبشی از سال ۱۹۳۵ توسط نول (knoll) و همکارانش در آلمان برروی پدیده‌های الکترونیک نوری انجام شد، و آرْدِن(Ardene) در سال ۱۹۳۸ با اضافه کردن پیچه‌های جاروب‌کننده به یک میکروسکوپ الکترونی عبوری توانست میکروسکوپ الکترونی عبوری- روبشی بسازد.

استفاده از میکروسکوپ SEM برای مطالعه نمونه‌های ضخیم نیز اولین بار توسط زوُرِکین (Зворыкин) و همکارانش در سال ۱۹۴۲ در ایالات متحده گزارش شد. قدرت تفکیک آن میکروسکوپ‌ها در حدود ۵۰ نانومتر بود.

میکروسکوپ ها را از نظر نوع آشکارساز به سه دسته تقسیم می کنند: میکروسکوپ های نوری، میکروسکوپ های الکترونی و میکروسکوپ های پِراب پویشی.

میکروسکوپ های الکترونی خود به دو دسته میکروسکوپ الکترونی روبشی، میکروسکوپ الکترونی عبوری تقسیم می شوند.

میکروسکوپهای الکترونی روبشی نیز بر اساس نحوه تولید باریکه الکترونی در آن به دو نوع انتشار میدانی(Field Emission) و انتشار ترمویونیک (Thermoionic Emission) تقسیم‌بندی می‌شود.

میکروسکوپ الکترونی روبشی یا SEM نوعی میکروسکوپ الکترونی است که قابلیت عکس‌برداری از سطوح با بزرگنمایی ۱۰ تا ۵۰۰۰۰۰ برابر با قدرت تفکیکی کمتر از ۱ تا ۲۰ نانومتر (بسته به نوع نمونه و همچنین وجود شرایط ایده آل محیطی) را دارد. میکروسکوپ الکترونی روبشی، از مناسب‌ترین وسایل در دسترس برای آزمایش و آنالیز مورفولوژی نانو ساختارها و شناسایی ترکیبات شیمیائی است. توانائی SEM برای بررسی سطح مواد بی نظیر بوده و حائز برتری‌های فراوانی نسبت به میکروسکوپ‌های نوری است. در میکروسکوپ نوری تشکیل تصویر با استفاده از نورهای منعکس شده از سطح نمونه صورت می‌گیرد، در حالی که در SEM این کار با بکارگیری الکترون‌ها انجام می‌شود. در واقع این میکروسکوپ یکی از روش‌های تولید تصاویر با روبش یک پرتو الکترونی روی سطح نمونه است. طول موج الکترون‌ها از فوتون‌های نور کوتاه‌تر بوده و طول موج کوتاه‌تر باعث ایجاد وضوح، قدرت تفکیک و حصول اطلاعات مناسب تر می‌شود. در حقیقت در SEM هیچ سیستم نوری-الکترونی برای تشکیل تصویر و بزرگ نمائی وجود ندارد، بلکه تصویر از ثبت نقطه به نقطه پدیده‌های سطح حاصل از اثر متقابل پرتوی الکترونی با سطح نمونه تشکیل می‌شود. با این روش تصاویر سه بعدی از ساختار نمونه به دست می‌آید.

سیگنال‌های مورد استفاده توسط SEM برای تولید تصویر نتیجه برهم کنش پرتو الکترون با اتم‌های نمونه مورد آزمون در عمق‌های متفاوت است. در این میکروسکوپ ابتدا با استفاده از تفنگهای الکترونی یک ستون الکترون ایجاد می شود. هرچه تعداد این الکترونها بیشتر و در عین حال قطر این ستون کمتر باشد، مطلوبتر خواهد بود ضمن اینکه هم سرعت بودن این الکترونها نیز از دیگر خصوصیات مثبت آن‌ها تلقی می‌شود. پس از تولید این ستون از الکترونها، بر حسب شرایط مورد نظر کاربر با ایجاد یک میدان الکتریکی به آن‌ها شتاب داده می‌شود و به کمک چندین لنز الکترومغناطیسی شعاع آن را تا حد مطلوب کوچک می‌کنند. در این راه از روزنه‌های تعبیه شده در مسیر عبور الکترونها نیز استفاده می‌شود. پس از اینکه الکترونها به سرعت مورد نظر دست یافتند و شعاع ستون نیز تنظیم شد، این ستون از الکترونها تحت کنترل کامل با نقطه خاصی از جسم برخورد می‌کنند و نتیجه اندرکنش آن‌ها با نمونه توسط حسگرهای خاص ثبت می‌شود. البته واضح است که برای ثبت هر اندرکنش حسگر خاصی نیز لازم است. پس از ثبت این آثار، ستون الکترون به نقطه مجاور نقطه فعلی هدایت شده و آثار اندرکنش این نقطه نیز ثبت می‌گردد و این کار برای یک شبکه دو بعدی بر روی سطح جسم و به ازای تک تک نقاط (والبته با سرعت بسیار بالا) صورت می‌پذیرد. از نمایش نتایج حاصل بر روی یک نمایشگر، تصویری شکل می‌گیرد که همانند تصویر تلویزیون همواره در حال جاروب کردن صفحه نمایشگر است به‌این ترتیب و بسته به اندرکنشی که خواص آن ثبت گردیده، تصویری حاصل می‌شود که می‌تواند خصوصیت مورفولوژی یا ترکیب نمونه در لایه‌های سطحی آن را بیان کند.

لازم به ذکر است اولین جایی که مشخصات پرتو الکترونی در آن رقم می‌خورد محل تولید آن یعنی تفنگ الکترونی است، قدرت و امتیاز یک میکروسکوپ الکترونی هم به قطر پرتو الکترونی، شدت و توزیع الکترونها در آن و یکنواختی الکترونها به شدت وابسته است. به بیان دیگر تفنگ الکترونی منبع پایداری از الکترون است که پرتو الکترونی را ساطع می‌کند. تفنگهای الکترونی را از لحاظ مکانیزم به دو دسته تقسیم می‌کنند:

- تفنگهای الکترونی ترمویونی که در آن‌ها از این پدیده برای تولید الکترونها استفاده می‌شود.

- تفنگهای الکترونی انتشارمیدانی که در آن‌ها با اعمال یک میدان قوی الکترونها تولید می‌شوند، از اینرو میکروسکوپ الکترونی روبشی نوع Fe-SEM دارای بزرگنمایی و حد تفکیک بسیار بالاتری بوده و تصاویری با بزرگنمایی ۷۰۰ هزار برابر را با آن می‌توان به دست آورد.

هر چند تفنگهای الکترونی ترمویونی انواع مختلفی دارند لیکن اصول کلی کار آن‌ها یکی است، در اینجا درباره تفنگهای رشته تنگستنی که عملاً ساده‌تر هستند، لازم است توضیحی داده شود. در این تفنگها، کاتد تولیدکننده الکترون، یک سیم تنگستنی است که وسط آن به صورت V شکل خم شده و شعاع سر آن حدود ۱۰۰ میکرومتر است. در این تفنگها سر فیلامان تنگستن بر اثر عبور جریان تا ۲۷۰۰ درجه کلوین گرم شده و طبق قانون ریچاردسون-داچمن جریانی تا ۱/۷۵ A/cm^2 منتشر می‌کند. علت استفاده از تنگستن در این تفنگها، تابع کار پایین و مقاومت بالای آن در برابر حرارت و جریان الکتریسیته است. میزان دمای فیلامان تأثیر مستقیمی بر روی میزان الکترونهای خارج شده از یک سو و عمر آن از سوی دیگر دارد.

الکترونهای تولید شده در فیلامان (کاتد) با استفاده از اختلاف پتانسیلی معادل ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰ ولت به سمت آند شتاب گرفته و با سرعت به سمت آن می‌روند و بخشی از آن‌ها از سوراخ میانی آند عبور کرده با سرعت به سمت ستون اپتیکی میکروسکوپ و در نهایت نمونه فرستاده می‌شوند. لازم است ذکر شود که در این تفنگها علاوه بر کاتد و آند، یک درپوش نیز قرار دارد که دارای سوراخ بوده و نسبت به کاتد در بایاس منفی قرار دارد تا با یک میدان الکترو استاتیک به متمرکز شدن الکترونها کمک کند.

آنچه در مورد تفنگهای الکترونی اهمیت دارد، تأثیر جریان فیلامان بر روشنایی تصویر است، به‌طور نمونه با افزایش دمای فیلامان از ۲۷۰۰ به ۳۰۰۰ درجه روشنایی حدود ۵ برابر افزایش می‌یابد اما عمر آن بین ۳۰ تا ۶۰ برابر کاهش می‌یابد که این لزوم تنظیم دما را به خوبی نشان می‌دهد.

از نظر شکل، هر جامد یا مایعی که فشار بخاری کمتر از 10^{-3} تور داشته باشد و از نظر اندازه بسته به نحوه طراحی میکروسکوپ الکترونی روبشی، معمولاً نمونه‌هایی با اندازه ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر را می‌توان در میکروسکوپ قرار داد.

آماده‌سازی نمونه

بعد از انتخاب نمونه مناسب برای کار، متخصصان این امر مراحلی را برای رسیدن به سطحی مناسب طی می‌کنند که به‌طور کلی شامل مواردی مثل مقطع زدن، مانت کردن، سمباده کشیدن، پولیش کردن و اچ می‌شود. در پایان قطعه آماده شده برای آنالیز میکروسکوپی فرستاده می‌شود.

تکنیک‌های پولیش و اچ متالوگرافی استاندارد برای مواد رسانای الکتریسیته کافی هستند. مواد نارسانا معمولاً با لایه نازکی از کربن، طلا یا آلیاژهای طلا پوشش داده می‌شوند.

البته لازم به ذکر است که کیفیت تصویر سطوح تخت بعضی از نمونه‌ها که پولیش و اچ متالوگرافی شده‌اند، معمولاً در بزرگنمایی کمتر از ۳۰۰ تا ۴۰۰ برابر به خوبی میکروسکوپ نوری نیست.

برخی از کابردهای SEM

- بررسی نمونه‌های آماده شده برای متالوگرافی در بزرگنمایی بسیار بیشتر از میکروسکوپ نوری
- بررسی مقاطع شکست و سطوحی که اچ عمیق شده‌اند و مستلزم عمق میدان بسیار بیشتر از میکروسکوپ نوری هستند
- ارزیابی گرادیان ترکیب شیمیایی روی سطح نمونه‌ها در فاصله‌ای به کوچکی ۱ میکرومتر

منابع

- Gabriel, B.L. , *SEM: A User's Manual for Material Science*, ASM, ۱۹۸۵.
- Reimer, L. , *Scanning Electron Microscopy*, Springer-Verlag, ۱۹۹۸.
- نانو شیمی ابر مولکول‌ها، نگارنده: دکتر علی مرسلی،انتشارات سال ۱۳۹۳ دانشگاه تربیت مدرس

تهیه و تنظیم: ر. نیک خصال-۹۹/۲