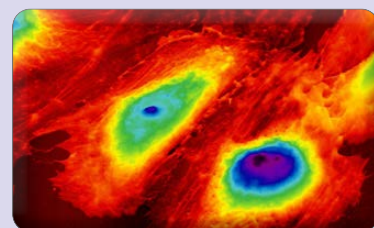


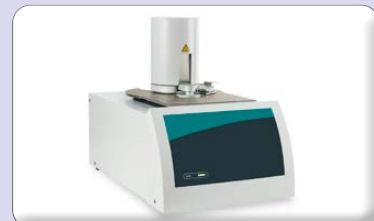
دانش آزمایشگاهی ایران

سال سیزدهم ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۴ ■ شماره پیاپی ۴۹

ISSN 2538-3450



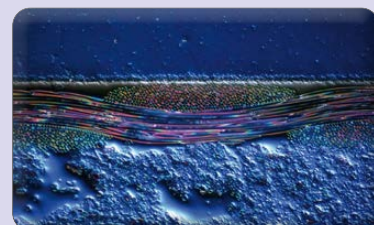
کاربرد میکروسکوپ نیروی اتمی در تحقیقات زیستی؛ با مروری بر کاربرد آن در دندانپزشکی محافظه کارانه و اندودنتیکس



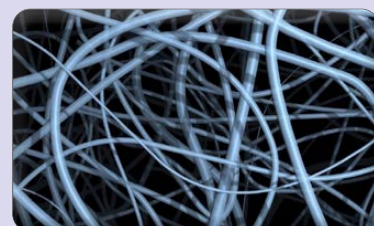
گرماسنجی روبشی تفاضلی - تجزیه گرمایی روش‌هایی برای تشخیص‌یابی بسیار



چگونه انتخاب گرید، کیفیت تصاویر TEM را تعیین می‌کند؟



روش‌های استفاده از رنگ و معرف‌های رنگی در آماده‌سازی نمونه‌های متالوگرافی



تهیه ابرجاذب پلیمری پلی‌اکریلیک اسید/ پلی‌وینیل الکل به روش الکتروریسی بدون نازل و بررسی عوامل موثر دستگاهی بر مورفولوژی آن

کاربردهای میکروسکوپ
الکترونی عبوری به همراه
هوش مصنوعی در حوزه‌های
علمی و صنعتی مختلف

اعتبار ویژه حمایتی شبکه آزمایشگاهی برای شرکت‌های دانش‌بنیان نوپا

پیگیری توسعه شبکه‌سازی آزمایشگاه‌ها در برنامه‌های جمعی

نویسندگان

داود قرایلو^{*}۱. مدیر فنی آزمایشگاه TEM، مرکز خدمات آزمایشگاهی
دانشگاه صنعتی شریف[*Davoud.Gharailou@gmail.com](mailto:Davoud.Gharailou@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۸

واژه‌های کلیدی

میکروسکوپ الکترونی عبوری، گرید TEM، پوشش کربن، فورموار، گرید لیزی، گرید هولی، وضوح تصویر، آرتیفکت‌های میکروسکوپی الکترونی، آماده‌سازی نمونه، تصویربرداری ساختار نانو.

چگونه انتخاب گرید، کیفیت تصاویر TEM را تعیین می‌کند؟

چکیده

تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی عبوری ابزاری کلیدی برای بررسی ساختارهای نانومتری مواد بوده که کیفیت آن وابسته به نوع گرید مورد استفاده است. گریدهای TEM با جنس‌های مختلف مانند مس، طلا، مولیبدن و پوشش‌هایی چون کربن و فورموار، هرکدام ویژگی‌ها و کاربردهای خاص خود را دارند. گریدهای مسی، رایج‌ترین گزینه در ایران هستند که بیشتر برای بهبود عملکرد، با لایه‌ای از کربن یا فورموار پوشش داده می‌شوند. ساختار گریدها نیز از جمله انواع لیزی و هولی، براساس نوع نمونه و نیاز تصویربرداری انتخاب می‌شود. انتخاب دقیق گرید و پوشش آن نقشی حیاتی در افزایش وضوح، کاهش آرتیفکت‌ها و بهبود نتایج آزمایش دارد.

میکروسکوپ الکترونی عبوری^۱ یکی از ابزارهای پیشرفته و حیاتی در مطالعه ساختار مواد در مقیاس نانومتری است. این فناوری، با فراهم کردن بزرگنمایی بسیار بالا و تفکیک‌پذیری بی‌نظیر، امکان بررسی دقیق ساختارهای داخلی مواد را فراهم می‌کند؛ اما کیفیت تصاویر به‌دست‌آمده صرفاً به عملکرد دستگاه وابسته نیست. یکی از عوامل کلیدی در موفقیت تصویربرداری، نوع گرید^۲ مورد استفاده برای نگهداری نمونه است. گریدهای TEM با جنس‌ها و پوشش‌های مختلف طراحی می‌شوند تا متناسب با نوع نمونه و هدف آزمایش، عملکرد بهینه‌ای ارائه دهند. در این میان، گریدهای مسی به دلیل دسترسی آسان و قیمت مناسب، در کشور ما بیشتر رایج هستند. با این حال، پوشش‌هایی چون کربن یا فورموار به‌منظور کاهش تداخلات و افزایش کیفیت تصاویر به آن‌ها افزوده می‌شود. همچنین ساختار گرید، مانند نوع لیزی یا هولی، در تعیین وضوح و حذف آرتیفکت‌ها نقش دارد. در نتیجه، انتخاب دقیق گرید و پوشش آن یک تصمیم فنی مهم در فرآیند آماده‌سازی نمونه برای TEM محسوب می‌شود که می‌تواند به‌طور مستقیم بر نتایج پژوهشی تأثیرگذار باشد.

بالا در برابر حرارت و پایداری شیمیایی، برای تصویربرداری TEM در شرایط خلاء بالا یا دمای بالا استفاده می شوند. این گریدها نسبت به گریدهای مسی یا نیکلی، واکنش پذیری کمتری با نمونه های حساس دارند.

در حال حاضر در ایران بیشتر از گریدهای مسی استفاده می شود. این گرید از نظر قیمت، مقرون به صرفه بوده و نسبت به دیگر گریدها خرید بهتری محسوب می شوند. استحکام این گریدها برای انواع مختلف نمونه هایی که به صورت رایج در ایران کار می شود، مناسب است.

گرید مسی به تنهایی برای انجام بیشتر آزمون ها مناسب نیست و لازم است روی آن پوششی قرار گیرد. رایج ترین پوشش، کربن و فورموار است. کربن به عنوان یک ماده با عدد اتمی کم، در برابر پرتوهای الکترونی، پراکندگی کمتری را ایجاد می کند و به همین دلیل تصاویر با وضوح بالاتر به دست می آید. همچنین پوشش کربنی کمک می کند تا کنتراست تصاویر بهتر شود. این پوشش به طور معمول به دلیل ویژگی های شفاف خود در برابر الکترون ها، اجازه می دهد تا نمونه ها با وضوح بالاتری دیده شوند. گریدهای مسی یا نیکلی می توانند باعث ایجاد آرتیفکت^۶ شوند. آرتیفکت به معنای اختلال، خطا یا اثر ناخواسته ای است که در نتیجه فرآیند اندازه گیری، تصویربرداری، پردازش داده و یا آزمایش به وجود می آید و ممکن است تعبیر نتایج را دچار خطا کند. پوشش کربنی این مشکل را کاهش می دهد و باعث ایجاد تصاویر بدون اختلال و با کیفیت بهتر می شود. پوشش کربنی علاوه بر محافظت از نمونه، به تقویت استحکام گرید کمک می کند و می تواند از شکستگی یا آسیب دیدگی گرید در حین آزمایش جلوگیری کند. همچنین، پوشش کربنی نازک می تواند باعث افزایش پایداری گرید در برابر فشارها و شرایط آزمایشگاهی مختلف شود. پوشش کربنی در گریدها می تواند فضای خالی میان مش ها را پر کند و باعث توزیع یکنواخت تر نمونه ها روی گرید شود. این ویژگی به ویژه در نمونه های نانو ذره ای و مواد زیستی که به راحتی آسیب پذیر هستند، اهمیت دارد.

علاوه بر کربن، از فورموار هم برای پوشش دهی سطح گرید استفاده می شود. فورموار^۷ نوعی پلیمر است که در علوم مواد و میکروسکوپی برای ساخت فیلم های نازک و پوشش های شفاف مورد استفاده قرار می گیرد. فورموار به دلیل شفافیت بالای خود، اجازه می دهد تا تصاویر به وضوح دیده شوند بدون اینکه تأثیر منفی بر روی نمایش نمونه بگذارد. چنین ویژگی برای مشاهده ذرات زیستی نظیر ویروس مناسب است (شکل (۲)). از سوی دیگر، فورموار فیلم های نازک و انعطاف پذیر می سازد که در برابر فشار یا کشش های مکانیکی مقاوم هستند. ویژگی مثبت دیگر آن، پایداری در برابر اشعه های الکترونی است. فورموار مقاومت خوبی در برابر آسیب های ناشی از تابش الکترون ها دارد، که این ویژگی در آزمایش های میکروسکوپی

گریدهای مورد استفاده در تصویربرداری با TEM

گریدها ابزارهایی حیاتی در فرآیند تصویربرداری با TEM هستند که نمونه ها را برای تصویربرداری در جای خود ثابت نگه می دارند. به طور معمول، گریدها از مواد فلزی یا دیگر مواد با ویژگی های خاص ساخته می شوند که به نمونه اجازه عبور بهتر الکترون و تصویربرداری دقیق تر را می دهند.

ویژگی های گریدهای TEM

♦ **مواد سازنده:** به طور معمول، گریدهای TEM از جنس مس، طلا، نقره و یا مواد کربنی ساخته می شوند. هر یک از این مواد، ویژگی های منحصر به فردی دارند که انتخاب گرید را برای استفاده در شرایط خاص محدود می کند.

♦ **ساختار گرید:** به طور معمول، گریدها حاوی حفره ها یا مش هایی هستند که نمونه ها در آن ها قرار می گیرند. این حفره ها می توانند از لحاظ اندازه و چگالی با هم متفاوت باشند.

انواع گریدهای TEM از نظر جنس

♦ **گریدهای مسی^۳:** گریدهای مسی رایج ترین نوع گریدها هستند. این نوع گریدها به دلیل قیمت مناسب، پایداری و انعطاف پذیری در استفاده از آن ها بسیار محبوب بوده و در ضخامت های مختلف و با حفره های گوناگون برای مطالعات مختلف در دسترس هستند. در شکل (۱) طرح کلی یک گرید مسی نشان داده شده است.

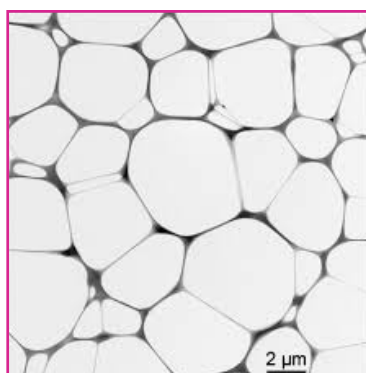


شکل (۱): طرح کلی یک گرید مسی.

♦ **گریدهای طلا^۴:** گریدهای طلا به دلیل شفافیت و پخش شدن در مطالعات با دقت بالا و به ویژه برای مطالعات زیستی و پزشکی استفاده می شوند. گریدهای طلا به دلیل خواص رسانایی خوب و کمترین تعامل با نمونه ها، تصاویر با کیفیت تری را ارائه می دهند.

♦ **گریدهای مولیبدن^۵:** این نوع گرید به دلیل مقاومت

ظریف بوده و یا نیاز به پشتیبانی حداقلی دارد. این نوع گرید به گونه‌ای ساخته می‌شود که با کمترین تداخل، امکان تصویربرداری از نمونه‌هایی با ساختارهای نازک و حساس را فراهم کند. همچنین، در برخی موارد، زیر لایه آن می‌تواند به بهبود کنتراست تصویر در حین تصویربرداری کمک کند. گرید لایسی ظاهری شبیه به یک شبکه نازک و نامنظم دارد که در آن تارهای ریز و به هم پیوسته، فضاهایی با شکل و اندازه‌های متفاوت ایجاد کرده‌اند. این ساختار توری شکل به گونه‌ای است که بخش‌هایی از آن باز و بدون پوشش بوده و بخش‌هایی دیگر دارای رشته‌های نازک و پشتیبان هستند. ظاهر آن بیشتر شبیه به الیافی پراکنده یا ترک خورده است که به صورت غیر یکنواخت در سطح گرید گسترده شده‌اند (شکل (۳)). همین ویژگی باعث می‌شود که نمونه‌ها بتوانند روی نواحی باز، بدون تداخل زیاد از سوی زیرلایه، قرار بگیرند و در عین حال، پایداری نسبی مکانیکی نیز حفظ شود. سطح گرید لایسی به طور معمول با لایه‌ای از کربن پوشش داده می‌شود تا هم رسانایی لازم برای تصویربرداری الکترونی تأمین شود و هم کنتراست بهبود یابد.



شکل (۳): نمای نزدیک از یک گرید لایسی.

ویژگی‌ها و مزایای گرید لایسی

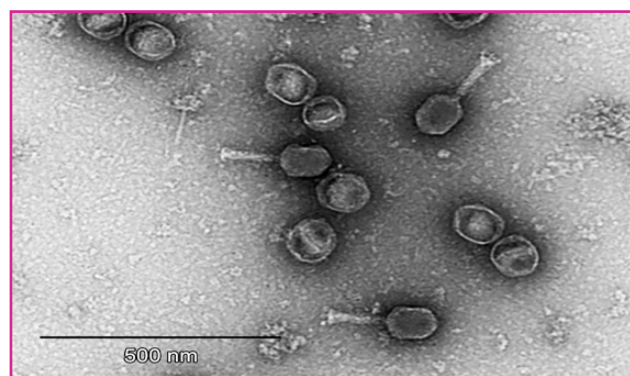
♦ **ساختار مشبک:** گریدهای لایسی به طور معمول از یک شبکه شبیه تار عنکبوت ساخته می‌شوند که با لایه نازک کربن پوشیده شده‌است. این ساختار مشبک به گونه‌ای طراحی شده‌است که بیشتر فضای گرید به صورت حفره‌های باز باقی می‌ماند، این ویژگی امکان مشاهده بهتر نمونه‌ها را فراهم می‌آورد.

♦ **کاهش تاثیر گرید بر تصویر:** به دلیل پوشش نازک و مشبک، گرید لایسی در مقایسه با گریدهای دیگر تاثیر کمتری بر تصویر دارد. این ویژگی باعث می‌شود که هیچ گونه تداخل یا اختلال در دیدگاه تصاویر نمونه‌ها ایجاد نشود.

♦ **کاربردهای زیستی:** گریدهای لایسی به طور معمول در تصویربرداری از نمونه‌های زیستی مانند سلول‌ها، پروتئین‌ها

الکترونی مهم است. همچنین این ماده به کاهش آرتیفک‌ها و پراکندگی الکترون‌ها کمک نموده و از ایجاد نویز در تصاویر میکروسکوپی جلوگیری می‌کند.

در برخی از آزمایشگاه‌ها، گرید مسی از بازار تهیه و پس از آن پوشش فورموار روی آن قرار داده می‌شود. هر چند گرید کربنی دارای پوشش فورموار در بازار موجود بوده و قابل تهیه است. در پوشش‌های کربنی به دلیل وجود خلل و فرج در سطح کربن، امکان به دام افتادن ذرات ریز بیشتر است و از این نظر، برای نمونه‌های نانوذرات مناسب‌تر است. پوشش‌های فورموار بیشتر برای نمونه‌های زیستی استفاده می‌شوند که نیاز به کنتراست بالاتری دارند و شفافیت فورموار در این نمونه‌ها به کمک کاربر می‌آید.



شکل (۲): تصویر ویروس روی سطح گرید مسی با پوشش فورموار.

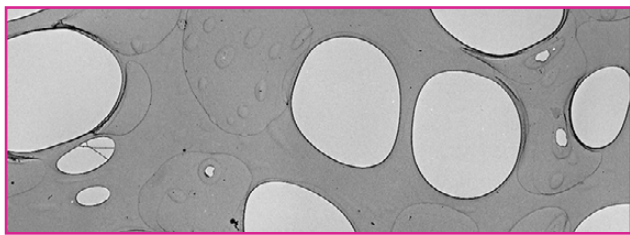
انواع گریدهای TEM از نظر ساختار

نوع دیگری از تقسیم‌بندی نیز وجود دارد که در آن ساختار حفره‌های روی گرید تعیین کننده است. گریدهای لایسی^۸ و هولی^۹ از انواع گریدهای رایج از این منظر محسوب می‌شوند که برای کاربردهای خاصی طراحی شده‌اند. در واقع، گریدهای لایسی و هولی نوعی ساختار سطحی یا طراحی فیزیکی گرید هستند، نه اینکه خود، ماده‌ای مجزا باشند. بنابراین، آن‌ها جزئی از دسته‌بندی براساس جنس به عنوان مثال، مس، طلا، کربن و پلاتین نیستند، بلکه می‌توانند روی هر یک از این مواد پایه (فلزی) ساخته شوند. این گریدها به دلیل ویژگی‌های خاص خود در زمینه‌های مختلف مانند میکروسکوپ‌های الکترونی زیستی، نانومواد و علوم مواد استفاده می‌شوند.

گرید لایسی

گرید لایسی یکی از انواع گریدهای TEM است که به طور ویژه برای مواردی طراحی شده‌است که در آن‌ها نمونه بسیار

تا چند صد میکرون هستند. چنین طراحی، این امکان را می دهد که محقق با جابه جا کردن میدان دید، ناحیه ای مناسب با ضخامت مطلوب نمونه و وضوح بالا انتخاب کند.



شکل (۴): تصویری از سطح یک گرید هولی زیر میکروسکوپ TEM.

و ویروس ها استفاده می شوند؛ زیرا این ساختار مشبک کمک می کند تا نمونه های زیستی ظریف، بهتر روی گرید قرار بگیرند و در حین تصویربرداری تغییر شکل ندهند.

♦ **سبک و انعطاف پذیر:** گریدهای لیسی به طور معمول از مواد کربنی با کیفیت بالا ساخته می شوند که به آنها انعطاف پذیری بیشتری می دهد. این انعطاف پذیری کمک می کند تا گرید در حین انتقال و استفاده در میکروسکوپ ها آسیب نبیند.

کاربردهای گرید لیسی

ساختار خاص و توری مانند گرید لیسی، آن را به گزینه ای مناسب برای نگه داری و تصویربرداری از نمونه های بسیار ظریف و حساس تبدیل کرده است. این نوع گرید به دلیل حداقل دخالت زیرلایه در تصویر نهایی، در حوزه های مختلف علمی کاربرد گسترده ای دارد. برخی از مهم ترین کاربردهای آن در پژوهش های زیستی و فناوری نانو عبارتند از:

♦ **مطالعات زیست شناسی و پزشکی:** برای مشاهده ساختارهای زیستی مانند باکتری ها، ویروس ها و پروتئین ها.

♦ **فناوری نانو:** برای تصویربرداری از نانوذرات و مواد نانو ساختار.

ویژگی ها و مزایای گرید هولی

♦ **وجود حفره های بزرگ:** گرید هولی دارای حفره های بزرگی است که به طور عمده در مرکز گرید قرار دارند. این حفره ها می توانند برای قرار دادن نمونه های بزرگتر یا ضخیم تر که نیاز به فضای بیشتری دارند، مناسب باشند.

♦ **پوشش کربنی:** همانند گرید لیسی، بیشتر گریدهای هولی نیز از یک لایه نازک کربنی پوشیده شده اند. این پوشش اجازه می دهد تا الکترون ها به راحتی از گرید عبور کرده و تصویری دقیق از نمونه ها ایجاد شود.

♦ **انتخاب مناسب برای نمونه های بزرگتر:** گریدهای هولی به طور خاص برای نمونه هایی که ابعاد بزرگتر و یا به طور غیرمعمول ابعاد و ساختار پیچیده ای دارند، مناسب هستند؛ به عنوان مثال، برای مشاهده ساختارهای بلوری یا مواد مرکب، گرید هولی می تواند گزینه ای مناسب باشد.

مقایسه گریدهای لیسی و هولی

در انتخاب گرید مناسب برای تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی عبوری، شناخت تفاوت های میان انواع گریدها اهمیت ویژه ای دارد. دو نوع پر کاربرد در این زمینه، گریدهای لیسی و هولی هستند که هر کدام بسته به ساختار فیزیکی و ویژگی های فنی خود، برای کاربردهای خاصی طراحی شده اند. مقایسه این دو نوع گرید می تواند به پژوهشگران کمک کند تا با آگاهی بیشتری گزینه مناسب برای نمونه های خود را انتخاب کنند. در ادامه، تفاوت های کلیدی میان این دو گرید از جنبه های مختلف بررسی شده است.

♦ **حفره ها:** گریدهای لیسی به طور عمده از مش هایی با

این گرید شامل یک دیسک فلزی (به طور معمول از جنس مس، نیکل یا طلا) است که سطح آن با یک لایه نازک از مواد پشتیبان مانند کربن یا فورموار پوشیده شده است. همان طور که در شکل (۴) مشاهده می شود ویژگی بارز گرید هولی، وجود شبکه ای منظم از سوراخ ها یا حفره ها روی این لایه پشتیبان است. این سوراخ ها به طور معمول دایره ای شکل و هم اندازه هستند و به صورت یکنواخت در سراسر سطح گرید توزیع شده اند. ظاهر کلی این گرید شبیه به یک صفحه تخت با الگویی تکرار شونده از دایره های خالی است. این ساختار منظم باعث می شود که نمونه ها بتوانند درون سوراخ ها یا روی نواحی اطراف آن ها قرار بگیرند. سوراخ ها امکان تصویربرداری از نمونه ها را در غیاب هرگونه زیرلایه فراهم می کنند و این موضوع به کاهش آرتیفکت ها و افزایش کنتراست کمک می کند. قطر سوراخ ها و فاصله بین آن ها بسته به نوع گرید هولی ممکن است متفاوت باشد، اما به طور معمول در محدوده چند ده نانومتر

ساختار گرید

- ♦ **هولی:** دارای سوراخ‌های منظم برای تصویرگیری مستقیم از نمونه‌های ضخیم؛
- ♦ **لیسی:** الگوی توری نامنظم که برای نمونه‌های با ظرافت بالا و حساس بهتر است.

اندازه مش

اعدادی مانند ۲۰۰، ۳۰۰ و یا ۴۰۰ مش که در توصیف گریدها به کار می‌روند، بیانگر تعداد خانه‌ها یا حفره‌های شبکه در هر اینچ مربع از سطح گرید هستند. هر چه این عدد بالاتر باشد، یعنی تعداد خانه‌ها بیشتر و اندازه آن‌ها کوچک‌تر است. گریدهایی با مش بالاتر، مانند مش ۴۰۰ به دلیل اندازه کوچک‌تر خانه‌ها، توانایی بیشتری در نگهداری نمونه‌های ظریف دارند و از افتادن آن‌ها جلوگیری می‌کنند؛ اما در مقابل، میدان دید در آن‌ها محدودتر است و ممکن است جست‌وجوی ناحیه مناسب برای تصویربرداری دشوارتر شود. در مقابل، گریدهایی با مش پایین‌تر، مانند مش ۲۰۰ دارای خانه‌هایی بزرگ‌تر و بازتر هستند که میدان دید وسیع‌تری فراهم می‌کنند، ولی نگهداری نمونه روی آن‌ها به‌ویژه برای ساختارهای سبک یا بسیار نازک، دشوارتر است. بنابراین، انتخاب اندازه مش باید با توجه به نوع نمونه، اندازه آن و نیاز تصویربرداری صورت گیرد.

حفره‌های کوچک و پراکنده تشکیل شده‌اند که به آن‌ها اجازه می‌دهد تا از نمونه‌های ظریف و حساس پشتیبانی کنند. از طرف دیگر، گریدهای هولی دارای حفره‌های بزرگ‌تری هستند که برای نمونه‌های بزرگ‌تر یا ضخیم‌تر مناسب‌ترند.

- ♦ **کاربردها:** گریدهای لیسی بیشتر در زیست‌شناسی و برای نمونه‌های نازک و حساس استفاده می‌شوند، در حالی که گریدهای هولی بیشتر در تحقیقات مواد و فناوری‌نانو که نیاز به فضای بیشتر دارند، به کار می‌روند.

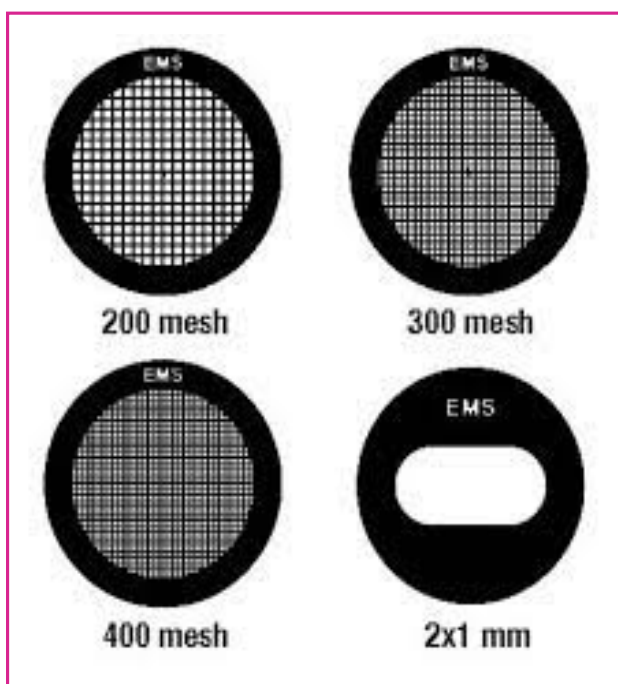
- ♦ **مشخصات فنی:** گریدهای هولی ممکن است در شرایطی که نیاز به پوشش ضخیم‌تری از کربن دارند، مناسب‌تر باشند؛ در حالی که گریدهای لیسی برای نمونه‌های نازک‌تر و ساختارهای ظریف‌تر عملکرد بهتری دارند.

نکات فنی در انتخاب گرید

پیش از تهیه گرید برای تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی عبوری، توجه به ویژگی‌های فنی و ساختاری آن ضروری است. انتخاب درست گرید نه تنها بر کیفیت تصاویر اثر می‌گذارد، بلکه می‌تواند از آسیب به نمونه جلوگیری کرده و کارایی فرآیند تصویربرداری را افزایش دهد. عوامل مختلفی مانند جنس بدنه گرید، نوع پوشش، ساختار سطح و اندازه مش در این انتخاب نقش دارند. هر یک از این مشخصات باید با نوع نمونه و هدف آزمایش هماهنگ باشد. در ادامه، نکات کلیدی برای انتخاب گرید مناسب معرفی شده‌است.

جنس گرید

- ♦ **مس:** رایج‌ترین و مقرون به صرفه‌ترین گزینه؛ مناسب برای بیشتر کاربردهای عمومی؛
- ♦ **طلا:** مقاوم‌تر در برابر اکسید شدن؛ مناسب برای نمونه‌های حساس به آلودگی یا نیازمند پایداری بیشتر؛
- ♦ **مولیبدن:** مقاوم در برابر دماهای بالا؛ مناسب برای تصویربرداری در شرایط خاص.
- نوع پوشش گرید
- ♦ **کربن:** کنتراست بالا، رسانای خوب، مناسب برای نمونه‌های معدنی یا نانوذرات فلزی؛
- ♦ **فورموار:** شفاف و نازک، مناسب برای نمونه‌های زیستی یا حساس؛
- ♦ **کربن روی فورموار:** ترکیب مزایای هر دو؛ استحکام و کنتراست بیشتر.



شکل (۵): طرح‌های مربوط به گریدهایی با مش‌های مختلف.

کیفیت پوشش و یکدستی فیلم

می‌توانند تأثیر منفی قابل توجهی بر کیفیت تصاویر نهایی میکروسکوپ الکترونی عبوری داشته باشند. استفاده از چنین گریدهایی به‌طور معمول باعث ایجاد آرتیفکتهای ناخواسته در تصاویر می‌شود که ممکن است به شکل نویزهای اضافی، لکه‌ها یا نواحی تار و غیرشفاف ظاهر شوند. این آرتیفکتهای می‌توانند اطلاعات واقعی نمونه را مخدوش کرده و تفسیر داده‌ها را دشوار یا حتی گمراه‌کننده نشان دهند. علاوه‌بر این، گریدهای بی‌کیفیت ممکن است دوام و پایداری لازم را نداشته باشند و در حین فرآیند آماده‌سازی یا تصویربرداری، دچار آسیب‌دیدگی شوند که خود، عامل بروز مشکلات بیشتر خواهد بود. بنابراین، استفاده از گریدهای با کیفیت بالا که دارای پوشش یکنواخت، ساختار مناسب و مقاومت کافی هستند، برای به‌دست آوردن تصاویر واضح، دقیق و قابل اطمینان ضروری است. این امر به پژوهشگران کمک می‌کند تا نتایج قابل اتکایی در تحلیل‌های میکروسکوپی خود داشته باشند و از اشتباهات ناشی از آرتیفکتهای تصویری جلوگیری کنند.

در زمان انتخاب و استفاده از گریدهای TEM، یکی از نکات مهم، بررسی دقیق سلامت پوشش سطحی آن‌ها، به‌ویژه لایه‌های کربن یا فورموار است. این پوشش‌ها نقش حیاتی در نگهداری نمونه، ایجاد کنتراست مناسب و جلوگیری از تخریب یا جابجایی حین تصویربرداری دارند. بنابراین، لازم است قبل از استفاده، سطح گرید از نظر وجود هرگونه آسیب‌دیدگی مانند ترک‌خوردگی، پارگی و یا موج‌دار شدن بررسی شود. پوشش‌های ترک‌خورده یا پاره ممکن است باعث افتادن یا تغییر مکان نمونه شوند، در حالی که پوشش‌های موج‌دار می‌توانند موجب ایجاد آرتیفکت در تصویر و کاهش وضوح شوند. حتی ناهنجاری‌های جزئی در سطح گرید ممکن است کیفیت نهایی تصویربرداری را به‌طور چشمگیری تحت تأثیر قرار دهند. استفاده از گریدی با پوشش سالم و یکنواخت، یکی از عوامل کلیدی برای دستیابی به نتایج دقیق و قابل اعتماد در میکروسکوپ الکترونی عبوری است. گریدهای با کیفیت پایین

نتیجه‌گیری

تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی عبوری یکی از روش‌های پیشرفته در علوم نانو و مواد است که کیفیت نتایج آن تا حد زیادی به انتخاب مناسب گرید بستگی دارد. گریدها با جنس‌های مختلف مانند مس، طلا، مولیبدن و کربن، هرکدام مزایا و محدودیت‌هایی دارند که باید با توجه به نوع نمونه و شرایط آزمایش انتخاب شوند. در ایران، گریدهای مسی به دلیل قیمت مناسب و کارایی قابل قبول، بیشترین استفاده را دارند، اما برای بهبود کیفیت تصاویر، پوشش‌دهی با کربن یا فورموار ضروری است. همچنین، طراحی ساختار گرید (مانند گریدهای لیزی و هولی) نقش کلیدی در پشتیبانی از نمونه‌های ظریف یا حجیم دارد. در نهایت، انتخاب گرید مناسب باید براساس نوع نمونه، حساسیت آزمایش و نیاز به وضوح تصویر انجام شود تا بهترین نتایج با حداقل تداخل و آرتیفکت به‌دست آید. با توجه به پیشرفت‌های اخیر در فناوری TEM، توسعه گریدهای جدید با پوشش‌های بهینه شده می‌تواند دقت و کارایی این روش را افزایش دهد.

پی‌نوشت

1. Transmission Electron Microscope
2. Grid
3. Copper Grids
4. Gold Grids
5. Molybdenum Grids
6. Artifact
7. Formvar
8. Lacey
9. Holey



Author

Davoud Gharailou^{1*}* Davoud.Gharailou@gmail.com

1. Technical Director, TEM Laboratory,
Central Analytical Services, Sharif
University of Technology

How Grid Selection Determines the Quality of TEM Images

Abstract

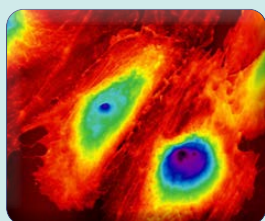
Transmission electron microscopy (TEM) is a key tool for analyzing the nanostructure of materials, and the quality of the resulting images strongly depends on the type of grid used. TEM grids come in various materials such as copper, gold, and molybdenum, and are often coated with substances like carbon or Formvar, each offering specific properties and applications. In Iran, copper grids are the most commonly used option and are typically coated with carbon or Formvar to enhance performance. Grid structure—such as lacey or holey types—is also selected based on the sample type and imaging requirements. Careful selection of the grid and its coating plays a crucial role in improving image clarity, reducing artifacts, and achieving more reliable experimental results.

Keywords

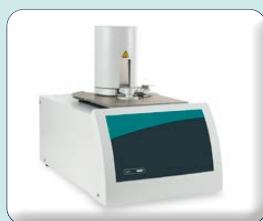
Transmission electron microscopy (TEM), TEM grid, Carbon coating, Formvar, Lacey grid, Holey grid, Image resolution, Electron microscopy artifacts, Sample preparation, Nanostructure imaging.



Investigation of Key Factors Affecting DLS Results and Error Reduction Strategies



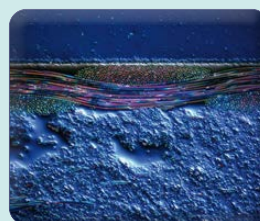
Application of atomic force microscopy in biological research; with a review of its application in conservative dentistry and endodontics.



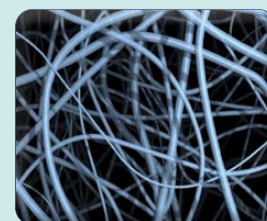
Differential Scanning Calorimetry- Thermal Fractionation Techniques for Polymer Characterization



How Grid Selection Determines the Quality of TEM Images



Investigating the effect of color and color reagents in metallography



Preparation of Polyacrylic acid/ Polyvinyl alcohol Polymer Superabsorbent Using Needleless Electrospinning and Investigation of Effective Device Parameters on Its Morphology