

روش‌های ایجاد تصویر و الگوی پراش توسط TEM

با توجه به گوناگونی مفاهیم مرتبط با رفتار بین نمونه و الکترون، تکنیک‌های متعددی مرتبط با کار میکروسکوپ الکترونی عبوری وجود دارد. بر این اساس و جهت تصویرسازی در TEM، در ابتدا یک الگو با استفاده از پرتوهای عبوری و یا پراکنده شده، که با استفاده از دریچه‌ها انتخاب می‌شوند، تهیه شده و سپس تحت تاثیر عدسی‌های مناسب به منظور به دست آوردن تصویری با کنتراست بالا قرار می‌گیرد. این فرایند انتخاب پرتو، تکنیک‌هایی مانند اندازه‌گیری‌های میدان روشن و میدان تاریک و تصویربرداری با رزولوشن بالا (HR-TEM) را از یکدیگر تفکیک می‌کند. در این بین پراش الکترون یکی از مهمترین پدیده‌های است که در میکروسکوپ‌های الکترونی عبوری و در هنگام بررسی نمونه‌های بلوری اتفاق می‌افتد، که با بررسی آن طیف وسیعی از داده‌ها در مورد ویژگی‌های ساختاری مواد نشان داده خواهد شد.

۱- تصاویر ایجاد شده در میکروسکوپ الکترونی عبوری

۱-۱- تصاویر زمینه روشن

در یک نمونه نازک در آزمون TEM، تعدادی از الکترون‌های اولیه‌ای که به نمونه برخورد می‌کنند، از آن عبور کرده، ولی با این وجود محدوده زاویه‌ای انتشار برخی از آنها به گونه‌ای است که تحت تاثیر پراکنش الاستیک و غیر الاستیک قرار دارد. تاثیر دریچه (aperture) جهت دستیابی به تصاویر زمینه روشن این است که الکترون‌هایی که با هر نوع مکانیزمی تحت زاویه‌های بزرگتر پراکنش یافته‌اند را متوقف می‌نمایند. هنگامی که دریچه در محور کانونی قرار گرفته و نمونه برداشته شود (در غیاب نمونه)، یک زمینه روشن دیده می‌شود که به عنوان زمینه روشن معروف است. نواحی ضخیم‌تر یا چگال‌تر نمونه نیز پراکنش قوی‌تری داشته و در تصویر به صورت تاریک، به این دلیل که روزه اجازه عبور اینگونه پرتوها را نمی‌دهد، ظاهر می‌شوند. با این نوع تصاویر، کنتراست جرم و پراش در تصاویر ریزساختارهای داخلی به خوبی نمایان می‌شوند. حد خصوصیتی که توسط این نوع تصاویر قابل تفکیک می‌باشد، ممکن است تا یک نانومتر هم برسد. لازم به ذکر است که نمونه‌های آمورف، بلورین، بیولوژیک یا فلزی، کنتراست جرم- ضخامت را به گونه‌های مختلف نشان می‌دهند، بنابراین از این نوع تصاویر معمولاً در بررسی حالت‌های بلوری، وضعیت دانه‌ها و نقایص بلوری استفاده می‌شود [۲].

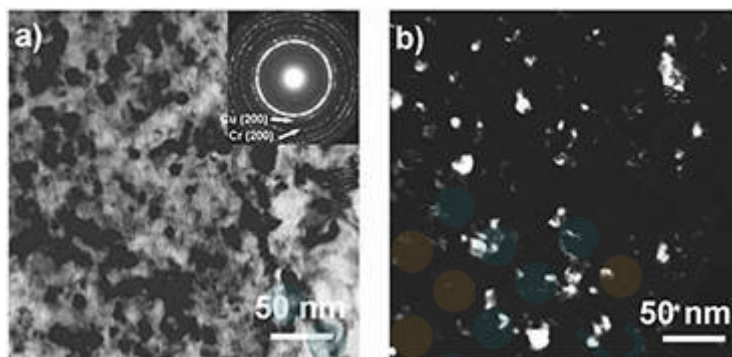
مکانیزم کنتراست ناشی از ضخامت-جرم در اغلب میکروسکوپ‌های مورد مصرف در بیولوژی به کار گرفته شده است. در این میکروسکوپ‌ها نمونه نازک توسط یک فلز سنگین مانند اسمیوم (osmium) آغشته می‌شود تا بخش‌های خاصی از نمونه که مورد نظر می‌باشند از جرم بالاتری برخوردار گردیده و در تصویر از بخش‌های دیگر متمایز شوند [۱].

۱-۲- تصاویر زمینه تاریک

همانطور که ذکر شد در تصاویر زمینه روشن، دریچه‌شینی برای متوقف کردن تمامی پرتوهای پراش یافته مورد استفاده قرار می‌گرفت و تنها به الکترون‌های انحراف نیافته اجازه می‌داد تا در ایجاد تصویر مشارکت نمایند. در حالت جدید اگر دهانه به گونه‌ای جابجا

شود تا برای انتخاب پرتوهای پراش یافته خاص مورد استفاده قرار گیرد، تصویری حاصل می شود که به دلیل آنکه در غیاب نمونه، زمینه تاریک باقی می ماند تصویر زمینه تاریک گفته می شود. در تصاویر زمینه تاریک از الکترون های خاص پراش یافته براگ، برای تشکیل تصویر استفاده می شود. در این صورت امکان مرتبط شدن اطلاعات پراش با فازها و یا نواحی خاصی از نمونه، امکان پذیر می شود. مهمترین موارد کاربرد این تصاویر در کنتراست پراش و مشخص نمودن نقایص بلوری می باشد [۳].

شکل ۱، تصویر زمینه روشن و زمینه تاریک میکروسکوپ الکترونی کامپوزیت CuCr را نشان می دهد.



شکل ۱ a) - زمینه روشن b) زمینه تاریک کامپوزیت CuCr [۳].

۲- پراش الکترون توسط ماده

تکنیک های پراش الکترون، مبنای بسیاری از تحقیقات ماده محسوب می شوند. تهیه الگوی پراش و تصاویر از الکترون های عبوری با انرژی بالا نیز از اهمیت زیادی در تعیین ساختار مواد بلوری مواد ناشناخته برخوردار است. یک پرتو الکترونی که از میان یک نمونه نازک عبور می نماید دارای سه مولفه زیر می باشد:

۱- پراکنش الاستیک (کشسان) الکترون ها

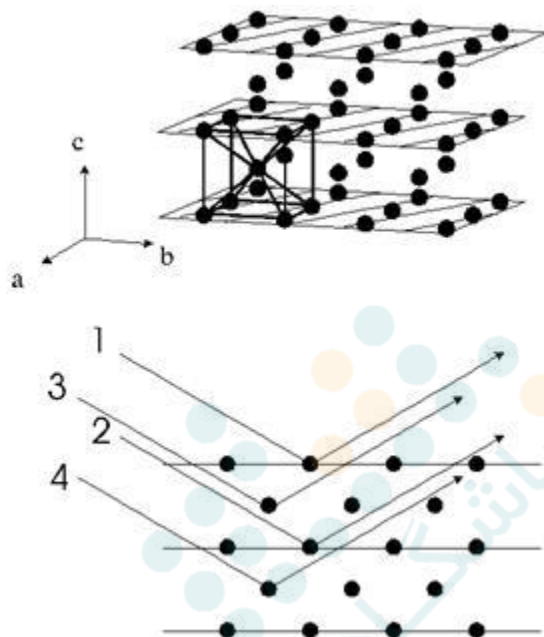
۲- پراکنش غیرالاستیک (غیرکشسان) الکترون ها

۳- الکترون هایی که وارد هیچ برهمکنشی با نمونه نمی شوند.

از آنالیز توزیع فضایی الکترون های پراش یافته که به عنوان الگوی پراش الکترون معروف است می توان اطلاعات با ارزشی در مورد نحوه قرارگیری اتم ها در نمونه بدست آورد.

معادله احتمال پراکنش کشسان نشان می دهد که شدت پراکنش کشسان یک اتم خاص، زمانی بیشتر است که زاویه پراکنش (θ) برابر صفر باشد و با افزایش θ ، به صورت یکنواخت، شدت پراکنش کاهش می یابد. بنابراین انتظار می رود که الگوهای پراش مواد جامد با یکدیگر مشابهت هایی نشان دهد. البته الگوهای پراش مواد بلورین مختلف با یکدیگر تفاوت های زیادی را نیز نشان می دهند که به اختصار در مورد آنها بحث خواهد شد.

مقطعی از نمونه بسیار نازکی از این ماده در شکل ۲ نشان داده شده است. برهمکنشی بین یک پرتو الکترونی با یک بلور کامل، که همه اتم‌های آن در شبکه سیستم مکعبی قرار دارند، را در نظر می‌گیریم. اکنون اگر پرتو الکترونی به این نمونه بتابد، توسط برخی از اتم‌های تشکیل دهنده به طور کشسان پراکنش می‌یابد.



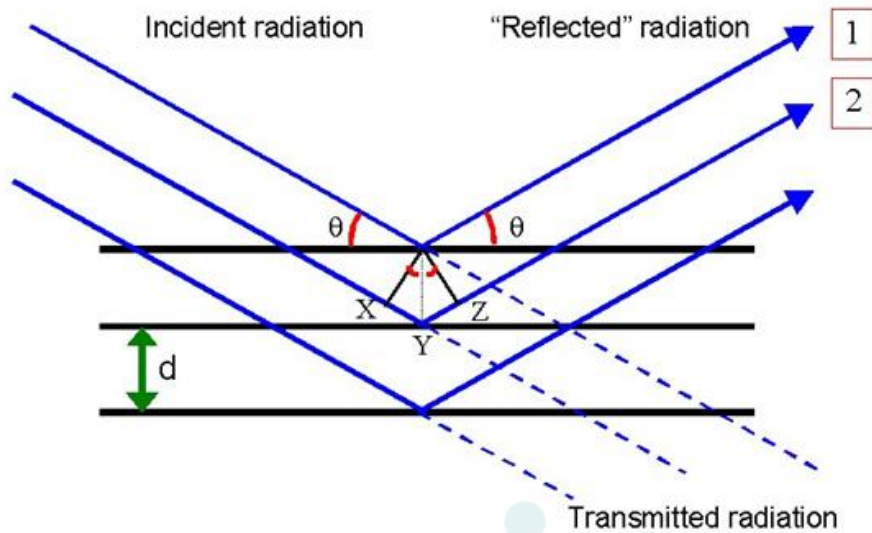
شکل ۲- پراش از صفحه (۰۰۱) یک شبکه مکعبی مرکزدار.

همانطوری که در شکل ۳ نشان داده شده است، هر موج پراکنش یافته‌ای که همفاز باشد با امواج دیگر تقویت و پرتو قوی تری از الکترون‌ها را ایجاد می‌نماید، در صورتی که هر موج پراکنش یافته ناهمفاز، تقویت نخواهد شد. اگر طول مسیر برای هر دو موج پراکنش یافته یکسان و یا طول مسیر با عدد صحیحی از طول موج تفاوت پیدا نماید، امواج پراکنش یافته هم فاز خواهند بود. بنابراین اگر تفاوت مسیر $(xy+yz)$ برابر $n\lambda$ و n هم یک عدد صحیح باشد، مشخص است که $xy+yz=2d\sin\theta$ و بنابراین شرایط برای تقویت به صورت زیر است:

$$n\lambda=2d\sin\theta \quad \text{رابطه (۱)}$$

به رابطه (۱)، قانون براگ گفته می‌شود. در این رابطه d فاصله بین اتم‌هایی است که موجب پراکنش الکترون‌ها می‌شوند و در یک بلور سه بعدی فاصله بین صفحات اتمی است. عدد صحیح n در معادله براگ، نظم پراش می‌باشد و در یک صفحه بخصوص پراش زمانی رخ می‌دهد که $n=1, 2, 3, \dots$ باشد. در پراش الکترون مرسوم است که مرتبه اول پراش یا $n=1$ مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$\lambda=2d\sin\theta \quad \text{رابطه (۲)}$$



شکل ۳- شماتیکی از برهمکنش تشعشع و بلور با استفاده از قانون براگ [۴].

با توجه به اینکه پراش الکترون ها در زوایای کوچکی اتفاق می افتد، رابطه $\sin\theta \approx \theta$ را می توان بیان نمود و بنابراین معادله بالا به صورت زیر تبدیل می شود:

$$\lambda = 2d\theta \quad \text{رابطه (۳)}$$

به دلیل اینکه θ خیلی کوچک می باشد در عمل یک پرتو الکترونی فقط زمانی پراش شدید از صفحات اتمی خواهد داشت که تقریباً موازی با صفحات اتمی حرکت کند. این فاکتور سبب می شود که الگوی پراش الکترون ها از الگوی پراش پرتوهای ایکس که در آنها θ بزرگ است ساده تر باشد.

برای فهم پراش الکترون ها، سیستم عدسی هایی که الگوی پراش را بزرگ می نمایند نادیده گرفته شده است. هنگامی که پرتویی از الکترون ها بر روی یک نمونه بلوری برخورد می کند، بعضی از الکترون ها بدون برهمکنش از نمونه عبور می نمایند و به صفحه یا فیلمی که در فاصله L از نمونه در نقطه O قرار دارد برخورد می نماید. دیگر الکترون ها با زاویه θ توسط سطح بلوری با فاصله d پراش پیدا کرده و این الکترون ها در نقطه A به فیلمی که به فاصله r از O قرار دارد برخورد می نماید. با استفاده از قواعد هندسی برای زاویه کوچک پراش می توان نوشت:

$$r/l = 2\theta \quad \text{رابطه (۴)}$$

با ترکیب این رابطه با رابطه (۳) رابطه زیر بدست می آید:

$$r/L = \lambda/d \quad \text{یا} \quad rd = L\lambda \quad \text{رابطه (۵)}$$

از آنجا که طول دوربین و طول موج پرتوی الکترونی λ مستقل از نمونه می باشد و برای دستگاه ثابت است، $L\lambda$ ثابت بوده و ثابت دوربین نامیده می شود. می توان دید که فاصله نقطه ای که توسط پرتو پراشیده بر روی صفحه ایجاد می شود تا نقطه ای که توسط پرتویی که پراش نکرده است بوجود آمده است، x ، با فاصله صفحاتی که باعث ایجاد پراش شده اند، d ، نسبت معکوس دارد.

۳- تکنیک های پراش

از جمله تکنیک های پراش که در TEM معمولتر است می توان به روش های زیر اشاره نمود.

۱- الگوهای پراش حلقه ای

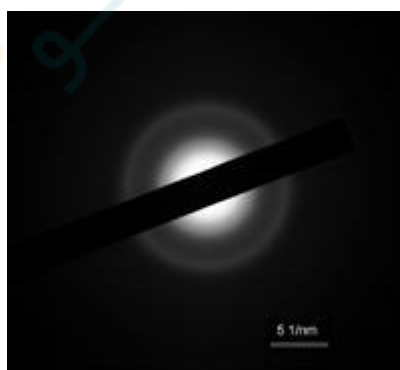
۲- الگوهای پراش نقطه ای

۳- پراش الکترونی پرتوهای همگرا

۴- الگوهای کی کوچی

۳-۱- الگوهای پراش مواد آمورف و بی نظم

الگوهای پراش الکترونی برای گازها، مایعات و مواد جامد آمورف به صورت هاله های پخشیده می باشد. برای فازهایی با چگالی بیشتر نیز نظم اتمی اندکی به صورت آرایه بلوری در نواحی با ابعاد 20 \AA -ممکن است وجود داشته باشد. در این حالت بخشی از الگوی پراش به صورت حلقه ای ظاهر می شود. حلقه های منفرد ممکن است به حدی پهن شوند که همپوشانی پیدا نموده و ظاهر الگو تقریباً همانند نظم و ترتیب تصادفی اتم ها شود. در این حالت الگوهای پراش نه به عنوان ساختار بلوری بلکه به عنوان احتمال رخداد فواصل بین اتمی خاص تفسیر می شوند [۲].



شکل ۴- الگوی پراش الکترونی از یک لایه نازک SiN آمورف [۵].

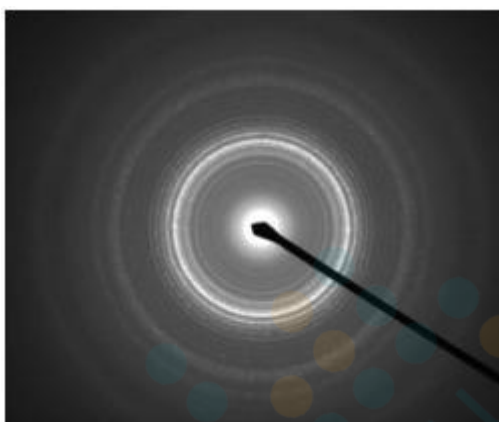
۳-۲- الگوهای پراش حلقه ای مواد پلی کریستال

الگوهای پراش حلقه ای زمانی ایجاد می شوند که تعداد زیادی بلور با جهت گیری متفاوت نسبت به باریکه الکترونی تابیده شده

قرار داشته باشند و پراش الکترونی نیز به طور همزمان رخ دهد که در بلورشناسی و مشخص کردن مواد ناشناخته کاربرد پیدا می کند. در شکل ۵ پراش حلقه ای نشان داده شده است. شعاع و فاصله حلقه ها از یکدیگر در این حالت از فرمول مقابل تبعیت می نماید [۲].

$$Rd = \lambda L$$

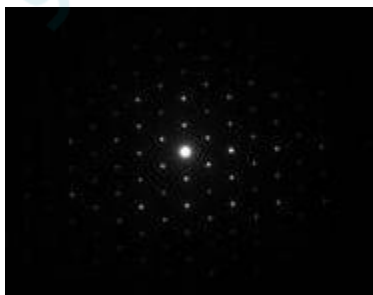
رابطه (۶)



شکل ۵- الگوی پراش یک ماده پلی کریستال.

۳-۳- الگوی پراش نقطه ای: الگوی پراش تک بلورها

اگر صفحات یک بلور تقریباً موازی با پرتو الکترونی قرار گیرند الکترون ها پراش خواهند یافت. بنابراین اگر یک بلور به صورتی جهت گیری پیدا نماید که چندین مجموعه از سطوح آن موازی با پرتو الکترونی قرار گیرند، الگوی پراشی متشکل از آرایش منظم نقاط نورانی ایجاد خواهد کرد (شکل ۶).



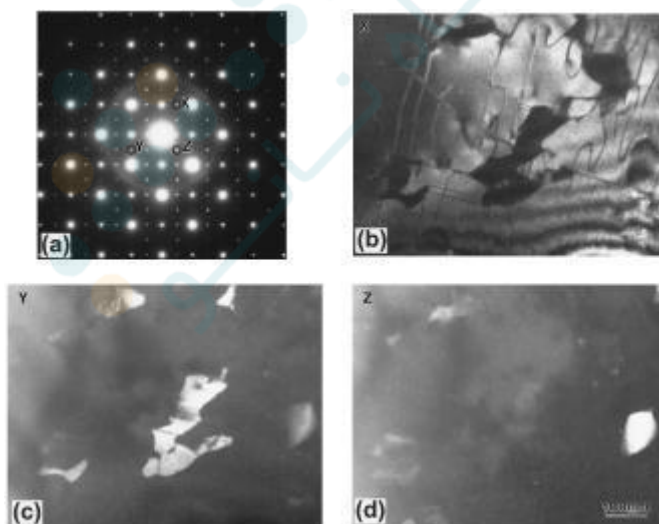
شکل ۶- الگوی پراش تک کریستال. Si

اگر نمونه حاوی چندین بلور با جهت گیری متفاوت باشد، الگوی پراش پیچیدگی بیشتری خواهد داشت. به دلیل اینکه پراش فقط در صفحات بلوری خاص می تواند صورت گیرد، تعداد فواصل d ممکن و بنابراین فواصل 2θ در الگوی پراش محدود بوده و نقاط

نورانی به طور تصادفی پراکنده می شوند، اما در عوض در حلقه هایی با I ثابت قرار می گیرند. در این حالت، نقاط نورانی در روی حلقه ها به قدری نزدیک به یکدیگرند که حلقه ها به صورت پیوسته است. قابل ذکر است که در بحث فوق فرض بر این بوده است که الگوی پراش از کل نمونه بدست آمده اما در عمل بدست آوردن الگوی پراش از بخش کوچکی از نمونه نیز امکان پذیر می باشد. این الگو زمانی ایجاد می شود که الکترون ها از ناحیه ای از تک بلور در نمونه مورد نظر پراش حاصل نمایند. نقطه مرکزی مربوط به باریکه الکترونی عبوری و دیگر نقاط مربوط به پراش بخش هایی از باریکه الکترونی اولیه می باشند. از الگوی پراش نقطه ای در تعیین ساختار های بلوری، جهت گیری و نیز شناسایی فازهای ناشناخته استفاده می شود [۲].

۳-۴- پراش الکترونی ناحیه گزینشی (Selected Area Electron Diffraction)

پراش الکترونی منبع با ارزشی از داده های دقیق می باشد که برای استنتاج اطلاعات قابل اعتماد در بلور شناسی می تواند مورد استفاده قرار گیرد. البته کیفیت داده ها بستگی به نوع نمونه تحت مطالعه، تکنیک های آماده سازی و افت انرژی پرتوها دارد. پراش الکترونی ناحیه گزینشی از سال ۱۹۶۰ بطور وسیعی مورد استفاده قرار گرفت. در پراش الکترونی ناحیه گزینشی، بر روی نمونه با سیستم تابشی تقریباً موازی انجام می شود. با قرار دادن دهانه کوچکی در سیستم عدسی میکروسکوپ، در ناحیه ای که پراش رخ می دهد، الگوی پراش SAED ایجاد می شود [۲].

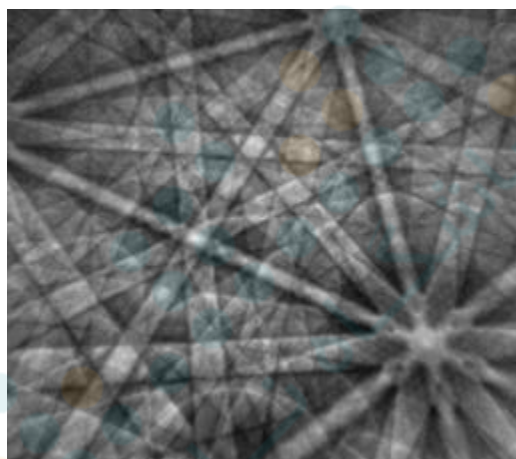


شکل ۷ a) الگوهای پراش الکترونی ناحیه گزینشی از SrRuO_3 نشان دهنده منطقه $[110]$ و نیز b, c, و d) به ترتیب با استفاده از بازتاب های X، Y و Z تصاویر زمینه تاریک گرفته شده است.

۳-۵- الگوهای خطوط کیوچی

با افزایش ضخامت کریستال، زمینه الگوی پراش حالتی پیدا می کند که مربوط به پراش الکترون ها به صورت غیرالاستیک است.

شدت الکترون هایی که به صورت غیرالاستیک متفرق شده اند وابسته به زاویه تفرق می گردد و حداکثر آن در جهت مستقیم می باشد. در نمونه های بلورین برخی از الکترون هایی که به صورت غیرالاستیک متفرق شده اند، ممکن است دوباره به صورت الاستیک تفرق حاصل کنند و همین باعث می شود که خطوط کیکوچی به وجود آیند. بنابراین نقش خطوط کیکوچی و باندهای کیکوچی بیشتر در زمینه الگوهای پراش الکترونی تک بلورها دیده می شوند و این خطوط نقش های غالب در بلورهای نسبتاً ضخیم می باشند. نقاط نورانی پراش یافته و خطوط کیکوچی به خوبی در یک الگوی پراش ممکن است دیده شوند. البته شدت خطوط کیکوچی با زیاد شدن ضخامت نمونه افزایش می یابد ولی برعکس، شدت نقاط نورانی پراش یافته با زیاد شدن ضخامت نمونه کاهش می یابد (شکل ۸) [۲].



شکل ۸- الگوی پراش الکترون های برگشتی کیکوچی.

خطوط کیکوچی به صورت قرینه در دوطرف صفحاتی که موجب پراش شده اند قرار گرفته اند و اگر نمونه چرخانده شود، خطوط حرکت می کنند بطوری که بنظر می رسد به صورت ثابت به نمونه متصل شده اند. اگرچه خطوط کیکوچی بر اثر چرخش نمونه در عرض الگوی پراش حرکت می کنند ولی محل قرارگیری نقاط پراش ثابت باقی می ماند. از این خطوط برای تعیین جهت دانه در دوطرف مرز دانه های فرعی استفاده می شود [۱].

۴-آماده سازی نمونه برای TEM

جهت انجام مطالعات ریزساختاری با میکروسکوپ الکترونی عبوری باید ابتدا آماده سازی های لازم بر روی نمونه انجام گیرد. در این راستا باید نمونه به اندازه کافی نازک شود (با ضخامت چند ده نانو) که این امر کار دشواری است.

از دشواری‌های موجود می‌توان به لزوم بدست آوردن یک ناحیه نماینده نمونه (یا گاهی یک ناحیه ویژه) با خواص استحکام و دوام کافی برای جابجایی نمونه، حداقل برای بررسی در میکروسکوپ اشاره نمود. تکنیک‌های آماده سازی نمونه را می‌توان به دو دسته تقسیم بندی نمود. تکنیک‌های دسته اول شامل کاهش ضخامت نمونه توسط روش‌های شیمیایی یا مکانیکی تا باقی ماندن یک نمونه نازک است. تکنیک‌های دسته دوم شامل برش نمونه در امتداد صفحات کریستالوگرافی به گونه ای که یک نمونه بسیار نازک تا بخش بسیار نازکی از نمونه حاصل شود [۱].

۴-۱- الکتروپولیش و پولیش شیمیایی

متداولترین تکنیک برای نازک کردن مواد هادی الکتروسیسته نظیر فلزات و آلیاژها، الکتروپولیش است. اساس این روش قرار دادن نمونه به صورت آند در سلول الکترولیت است. با عبور جریان، نمونه به صورت آند عمل کرده و ضخامت آن کاهش می‌یابد. چنانچه ترکیب شیمیایی الکترولیت و ولتاژ کاری مناسب انتخاب شود نمونه نه تنها نازک تر بلکه صاف تر هم می‌شود. نهایتاً سوراخی در نمونه به وجود می‌آید و چنانچه نواحی اطراف آن به اندازه کافی صاف باشند (یعنی خوب پولیش شده باشند) برای مشاهده در TEM به اندازه کافی نازک خواهند بود. در دستگاه‌های الکتروپولیش اتوماتیک معمولاً از نمونه‌های دیسکی شکل به قطر ۳ mm که لبه‌های ضخیم تر آنها منطقه نازک تر مرکزی را تقویت می‌کند، استفاده می‌شود. این دیسک‌ها مستقیماً در نمونه گیر میکروسکوپ قرار می‌گیرند. معمولاً لازم است که نمونه‌های نازکی که تهیه شده اند با دیسک‌های مشبک ۳ mm ساخته شده از مس یا سایر موادی که با آنالیز تداخل نمی‌کنند، تقویت شوند. اصلی‌ترین محدودیت الکتروپولیش عدم توانایی آن در مقابل مواد غیرهادی است. بنابراین نازک کردن شیمیایی با استفاده از مخلوط اسیدها بدون اعمال پتانسیل غالباً برای سرامیک‌ها، شیشه‌ها و نیمه هادی‌ها بکار می‌رود [۱].

۴-۲- پولیش مکانیکی

اغلب نمونه‌های TEM، در اولین مرحله فرایند نمونه سازی به صورت مکانیکی ساییده یا پولیش می‌شوند. ساییدن معمولاً با استفاده از کاغذهایی که لایه ای از ذرات سخت (غالباً SiC) روی یک طرف آنها چسبانده شده است صورت می‌گیرد. این ورق‌های سمباده بر مبنای اندازه ذرات، از کسری از میلیمتر تا چند میکرون درجه بندی شده اند. این کاغذهای سمباده روی صفحه چرخانی که آب کمی جهت روانسازی بر روی آن جریان دارد، نصب می‌شود. نمونه می‌تواند با چسب یا موم ترموپلاستیک روی پایه مخصوصی نصب می‌شود تا نرخ نازک کردن آن، کنترل شود. نمونه ابتدا با کاغذ سمباده خشن، صاف شده و در مراحل بعدی با کاغذ سمباده‌های نرم تر خسارت وارد شده بر نمونه توسط مرحله قبل برطرف می‌شود. برای آخرین مرحله پولیش از پودر الماسه با اندازه یک میکرون یا کمتر به صورت معلق در روغن یا آب نصب شده بر روی فیلم پلاستیکی، استفاده می‌شود. می‌توان با روش‌های مکانیکی- شیمیایی پولیش ظریف تری هم انجام داد. برای این کار غالباً از مخلوط کلئیدی ذرات معلق سیلیکا در مایع قلیایی استفاده می‌شود.

روش های مختلفی بر پایه این فرایند وجود دارد. این تکنیک بطور گسترده ای برای تهیه نمونه هایی از مقاطع نیمه هادی ها به کار می رود [۱].

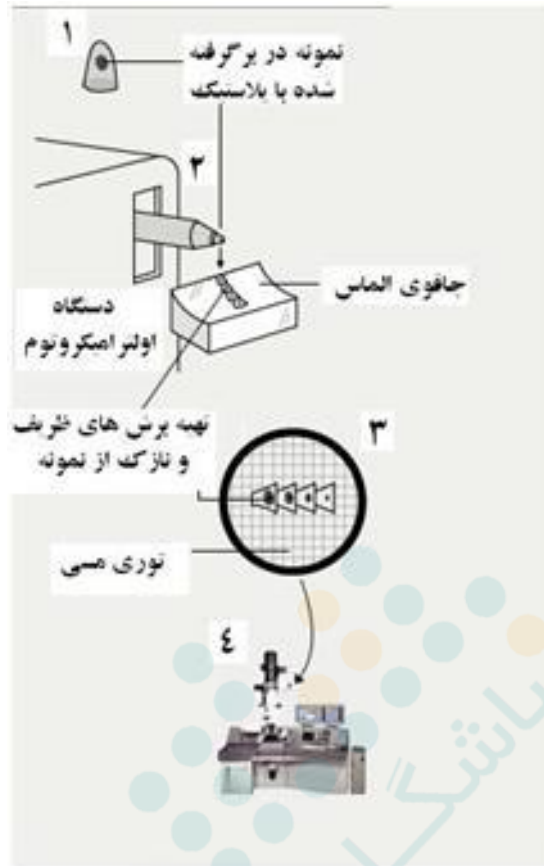
۳-۴- سایش یونی و اتمی

چنانچه پرتویی از یون ها یا اتم های پرانرژی به یک نمونه تابانده شود، احتمال بیرون انداختن اتم های نمونه وجود دارد. این فرایند که کند و پاش (sputtering) نامیده می شود، می تواند برای نازک کردن نمونه به کار رود. معمولاً از دو نوع تفنگ برای نازک کردن نمونه های TEM استفاده می شود، تعدادی از این تفنگ ها از گاز (معمولاً آرگون) استفاده می کنند و در برخی از تفنگ های یونی انتشار میدان از گالیم مایع استفاده می شود .

۴-۴ اولترامیکروتومی

اولترامیکروتومی، دستگاه برش زنی ظریفی است که از دستگاه های مورد استفاده برای مقاطع بافت ها جهت بررسی در میکروسکوپ بیولوژیکی، توسعه یافته است. در اولترامیکروتومی نمونه ای با سطح کمتر از $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ که کاملاً ثابت شده است از مقابل یک کارد با شیشه یا الماس ثابت عبور می کند (شکل ۹) .

این روش را می توان علاوه بر مقاطع بافت، برای بسیاری دیگری از نمونه ها نیز بکار برد. این روش به صورت گسترده ای برای تهیه نمونه های پلیمری برای TEM به کار می رود و استفاده از آن برای نمونه های فلزی رو به افزایش است. به منظور تثبیت نمونه در حین برش، در بسیاری از موارد لازم است تا نمونه در رزین قرار داده شود. بنابراین ممکن است تهیه یک مقطع نازک زمان نسبتاً زیادی بگیرد [۱].



شکل ۹- آماده سازی نمونه با استفاده از اولترامیکروتوم [۶].

۴-۵- استفاده از رپلیکا

روش دیگری که برای بررسی نمونه های بیولوژیکی و غیربیولوژیکی در TEM وجود دارد شامل تهیه رپلیکا از سطح نمونه است. به جای اینکه تمام نمونه تا حد شفافیت در مقابل الکترون، نازک شود می توان اینکار را با نشان دادن یک لایه نازک از کربن (یا چند ماده دیگر) در خلاء انجام داد. کربن اتمی را می توان از بوجود آوردن قوس الکتریکی بین دو میله کربنی یا کندوپاشی از یک بلوک کربنی، به دست آورد. کربن اتمی که به این صورت تولید شده روی تمام سطوح محفظه خلاء که در دید مستقیم منبع با شد، از جمله نمونه، نشانده می شود. پس از تشکیل یک لایه نازک، این فرایند متوقف می شود. می توان با تقسیم این لایه به قطعات حدود ۱ میلیمتر مربع یا بزرگ تر و شناور کردن آن در مایع، آن را از سطح نمونه جدا کرده و برای بررسی در یک میکروسکوپ روی نگهدارنده قرار داد. با اختلاف ضخامت کربن نشانده شده روی سطوح مختلف یا با لایه نشانی مجدد یک فلز سنگین (نظیر پلاتین) تحت زاویه نسبت به سطح، می توان ساختار نمونه را آشکار نمود. این تکنیک تقریباً به صورت کامل توسط میکروسکوپ پروبی روبشی که سطوح را سریع تر، دقیق تر و مستقیماً بررسی می کند، کنار گذاشته شده است، اما رپلیکای استخراجی که از مشتقات این روش است هنوز به صورت گسترده ای استفاده می شود. اگر نمونه حاوی ذرات ریز فاز نانوویه قابل آشکار شدن توسط

اچ باشد، می توان این ذرات را با استفاده از نمونه بر روی رپلیکا استخراج نمود. بنابراین رپلیکای استخراجی حاوی اطلاعاتی درباره اندازه، شکل و توزیع ذرات در نمونه اصلی خواهد بود [۱].

نتیجه گیری:

در مقاله حاضر به بررسی نحوه تصویر سازی و استنتاج نتایج در میکروسکوپ‌های الکترونی عبوری پرداخته شده است. بر این اساس جهت تصویر سازی از روش‌های تصاویر زمینه روشن و تصاویر زمینه تاریک استفاده می‌گردد. همچنین جهت بررسی نتایج مربوط به الکترون‌های پراش یافته از الگوهای پراش متفاوت استفاده می‌شود. از سوی دیگر نیز باید برای دستیابی به نتایج مطلوب نمونه مورد بررسی تحت شرایط آماده سازی اولیه قرار گیرد که این تکنیک‌ها به دو دسته قرار می‌گیرند. تکنیک‌های دسته اول شامل کاهش ضخامت نمونه توسط روش‌های شیمیایی یا مکانیکی تا باقی ماندن یک نمونه نازک است. تکنیک‌های دسته دوم شامل برش نمونه در امتداد صفحات کریستالوگرافی به گونه ای که یک نمونه بسیار نازک تا بخش بسیار نازکی از نمونه حاصل شود .

منابع و مراجع

۱. پیروز مرعشی، سعید کاویانی، حسین سرپولکی و علیرضا ذوالفقاری، اصول و کاربرد میکروسکوپ‌های الکترونی و روش‌های نوین آنالیز ابزار شناسایی دنیای نانو، چاپ اول، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۳.
۲. مرتضی رزم آرا، مبانی و کاربرد میکروسکوپ‌های الکترونی و روش‌های آنالیز پیشرفته، مشهد، ارسلان، ۱۳۸۴.
3. X. Sauvage, P. Jessner, F. Vurpillot, R. Pippan, Scripta Mater 58 (2008) 1125-1128.
4. <http://homepages.abdn.ac.uk/j.skakle/pages/cdiff/indexx.htm>.
5. <http://www.ammrp.org.au/myscope/tem/background/concepts/imagegeneration/diffractionimages.php>.
6. <http://www.nanoclub.ir/index.php/articles/show/133>.