



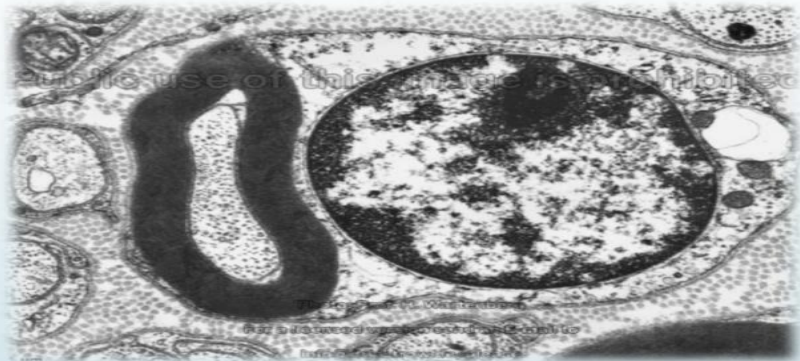
University of Isfahan
Biological Science and Technology
Department of Cell and Molecular Biology
Cellular and Molecular Laboratory
Farzaneh Forouharfar

عنوان

TEM

بررسی ساختار و عملکرد میکروسکوپ
الکترونی ترانسمیشن و آماده‌سازی نمونه
جهت مشاهده در میکروسکوپ

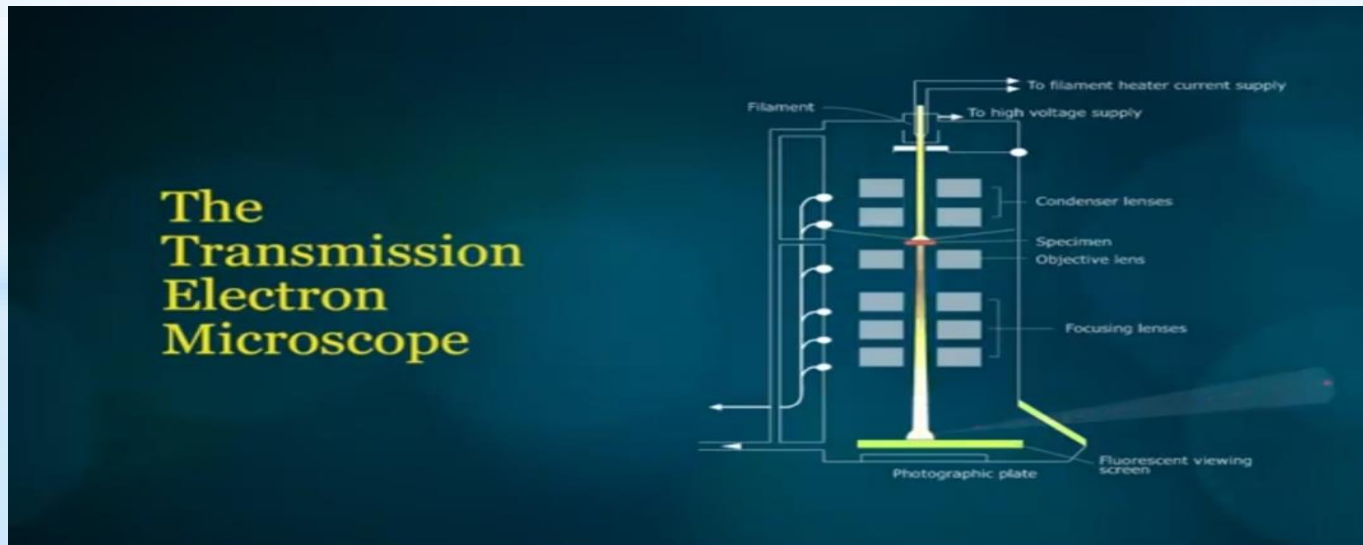
Tem Microscopy



اهداف

آشنایی با ساختار و عملکرد میکروسکوپ الکترونی ترانسمیشن
یا گذاره TEM

بررسی مراحل آماده‌سازی نمونه جهت مشاهده
بررسی مزایا و محدودیت‌های استفاده از TEM در تحقیقات
سیتولوژیکی



مقدمه

از نیازهای اساسی در مطالعات سیتولوژیکی موجودات مختلف وجود میکروسکوپی با بزرگنمایی و توان تفکیک بالا می‌باشد.

میکروسکوپ‌های نوری قادر به تفکیک اجزاء بسیار نزدیک به هم در نمونه نیستند و تنها راه افزایش قدرت تفکیک استفاده از پرتوهایی با طول موج کوتاه‌تر است. این مسئله منجر به ابداع میکروسکوپ الکترونی شد. در این نوع میکروسکوپ‌ها از الکترون جهت ایجاد تصویر استفاده می‌شود. علی‌رغم اینکه اساس کلی یکسانی با میکروسکوپ‌های دیگر دارند، دارای ساختار به مراتب پیچیده‌تر از آن‌ها می‌باشند.

در میکروسکوپ الکترونی به جای پرتوهای نوری معمولی که طول موج متوسط حدود ۵۵۰۰ آنگستروم دارند، از پرتوهای الکترونی با طول موج کوتاه‌تر حدود ۰/۰۵ آنگستروم استفاده می‌شود. پرتوهای الکترونی جریانهایی از ذرات با بار منفی هستند که مثل نور خاصیت موجی و ذره‌ای دارند، اما برخلاف پرتوهای نوری قادر به عبور از شیشه یا شکسته شدن توسط شیشه یا عدسی نیستند.

این نوع میکروسکوپ‌ها انواع مختلفی دارند، اما دو نوع مهم و اساسی آن عبارت‌اند از: SEM و TEM

1. میکروسکوپ الکترونی گذاره یا ترانس‌میشن

(Transmission Electron Microscope - TEM)

(با استفاده از پرتوی الکترونی با طول موج بسیار کوتاه، امکان مشاهده ساختارهای داخلی سلول با وضوح بالا را فراهم می‌کند. در TEM، الکترون‌ها از درون نمونه فوق‌العاده نازک عبور کرده و تصویری دقیق از ساختارهای داخلی آن ایجاد می‌کنند و از فراساختار (Ultrastructure) نمونه اطلاعات دقیقی بدست می‌آید.

2. میکروسکوپ الکترونی نگاره

(Scanning Electron Microscope - SEM)

از پرتو الکترونی برای برخورد با سطح نمونه استفاده می‌کند. پس از برخورد به سطح نمونه، الکترون‌های برگشتی و پراکنده شده را جمع‌آوری کرده و تصویر سه‌بعدی از سطح نمونه ایجاد و اطلاعات دقیقی بدست می‌آید. (مثل تزئینات روی دانه گرده یا ساختار سطح رسوب‌ها و سنگ‌های مختلف). در این میکروسکوپ نیازی به برش‌گیری نمونه نمی‌باشد و مراحل آماده‌سازی نمونه بسیار ساده‌تر از آماده‌سازی جهت مشاهده در میکروسکوپ الکترونی گذاره می‌باشد.

هر کدام از انواع فوق مدل‌های مختلفی دارند که کارایی خاص خود را دارا می‌باشند.

مقایسه و کاربرد کاربرد

1. اصول کار

میکروسکوپ الکترونی ترانسمیشن TEM جهت مشاهده ساختارهای داخلی سلول‌ها، اندامک‌ها، ویروس‌ها، نانوذرات کاربرد دارد.

میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM جهت بررسی ساختار سطحی و توپوگرافی نمونه‌ها کاربرد دارد.

میکروسکوپ TEM از یک پرتو الکترونی با انرژی بالا برای عبور از نمونه استفاده می‌کند. الکترون‌ها از نمونه عبور کرده و تصویر را به صورت مقطع نازک از نمونه تشکیل می‌دهند. این میکروسکوپ قادر است به وضوح بسیار بالا ساختارهای داخلی نمونه را نمایش دهد.

میکروسکوپ SEM از پرتو الکترونی برای برخورد با سطح نمونه استفاده می‌کند. الکترون‌ها پس از برخورد به سطح نمونه، الکترون‌های برگشتی یا پراکنده شده را جمع‌آوری کرده و تصویر سه‌بعدی از سطح نمونه ایجاد می‌کنند.

2. دقت و وضوح

میکروسکوپ TEM دارای وضوح بسیار بالاتر است و می‌تواند ساختارهای داخلی نمونه‌ها را در مقیاس نانومتری تا بالاتر (حد وضوح پیکومتری).

میکروسکوپ SEM دارای وضوح کمتری نسبت به TEM است و معمولاً قادر به مشاهده جزئیات ساختاری در سطح نمونه نیست.

3. نوع تصویر

TEM تصاویری دوبعدی از مقاطع نازک نمونه‌ها ایجاد می‌کند. این تصاویر معمولاً با کنتراست بالا هستند.

SEM تصاویری سه‌بعدی از سطح نمونه ایجاد می‌کند که جزئیات سطحی را به‌طور دقیق نشان می‌دهد.

4. آماده‌سازی نمونه

آماده‌سازی نمونه برای **TEM** پیچیده‌تر است. نمونه‌ها باید به‌طور فوق‌نازک برش داده شوند (در حدود 100-50 نانومتر) و معمولاً نیاز به فرآیندهای پیچیده مانند ثابت‌سازی، دی‌هیدراته‌سازی و شفافیت دهی و ... دارند.

آماده‌سازی نمونه برای **SEM** معمولاً ساده‌تر است. نمونه‌ها نیاز به برش‌های نازک ندارند و فقط باید به‌طور مناسب به‌صورت خشک و سطح آن تمیز باشد. در برخی موارد، نمونه‌ها باید پوشش‌دهی فلزی (مثلاً طلا یا پلاتین) شوند تا هدایت الکتریکی مناسب ایجاد شود.

5. نمونه‌های قابل مشاهده

TEM به‌طور عمده برای مشاهده ساختارهای داخلی نمونه‌های بسیار نازک مانند بافت‌های زیستی، مواد نانو، کریستال‌ها و دیگر نمونه‌های ریز استفاده می‌شود.

SEM برای مشاهده سطوح نمونه‌ها و بررسی ویژگی‌های سطحی، مثل بافت‌های سطحی، لبه‌ها و ساختارهای سه‌بعدی مناسب است. این میکروسکوپ برای نمونه‌های حجیم‌تر و بدون نیاز به برش نازک مناسب است.

مقایسه TEM با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

ویژگی	TEM	SEM
نوع تصویر	دوبعدی از داخل نمونه	سه بعدی از سطح نمونه
قدرت تفکیک	بسیار بالا (تا 0.1 نانومتر)	متوسط (1 تا 10 نانومتر)
آمادگی نمونه	پیچیده و حساس	نسبتاً ساده
کاربرد اصلی	بررسی ساختار داخلی سلول‌ها	بررسی مورفولوژی سطحی
مشاهده نمونه‌های زنده	امکان‌پذیر نیست	امکان‌پذیر نیست

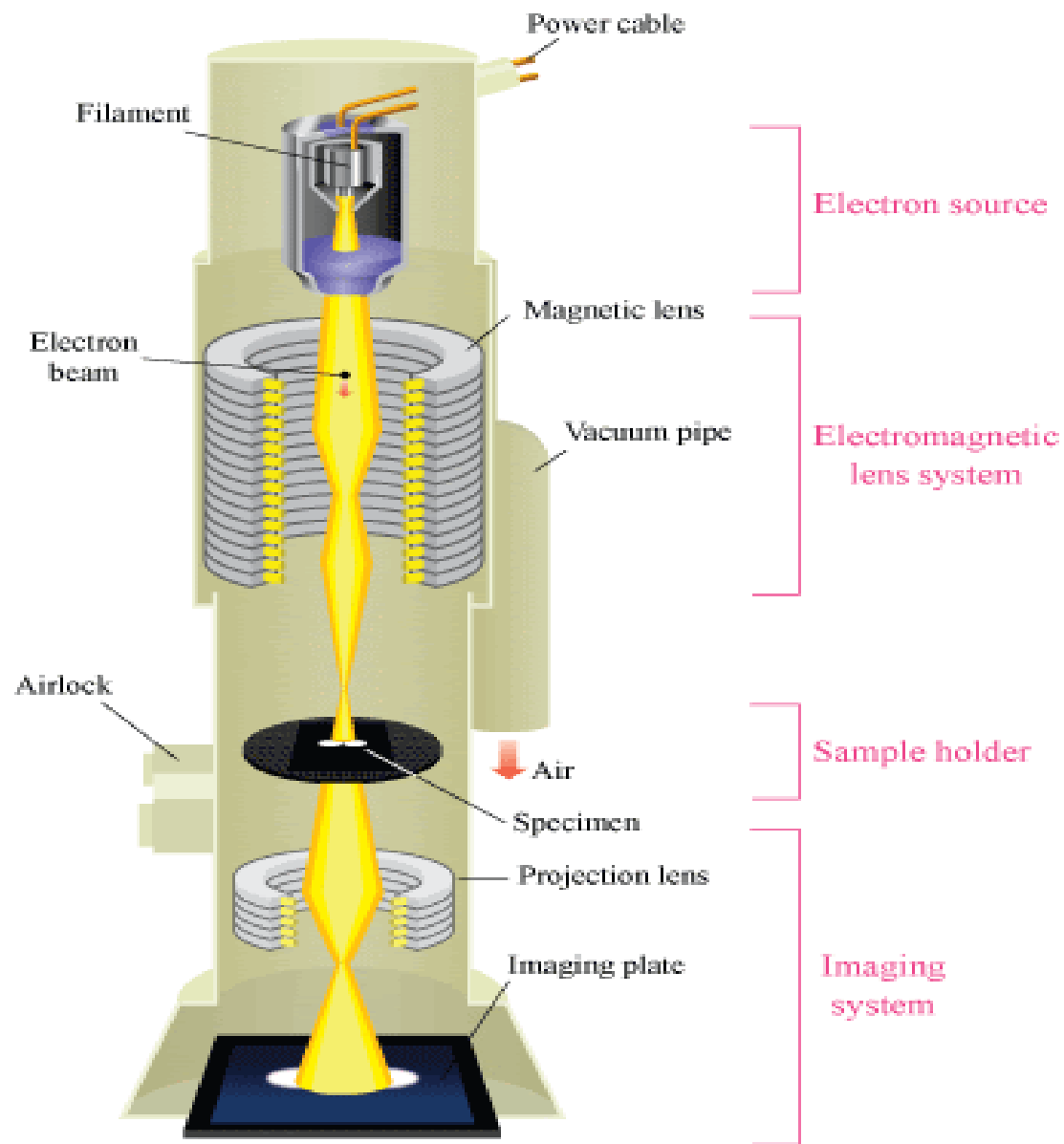
ساختار داخلی میکروسکوپ الکترونی ترانسمیشن و طرز تشکیل تصویر
ساختار میکروسکوپ TEM به ترتیب از بالا به پایین شامل بخش های زیر است:

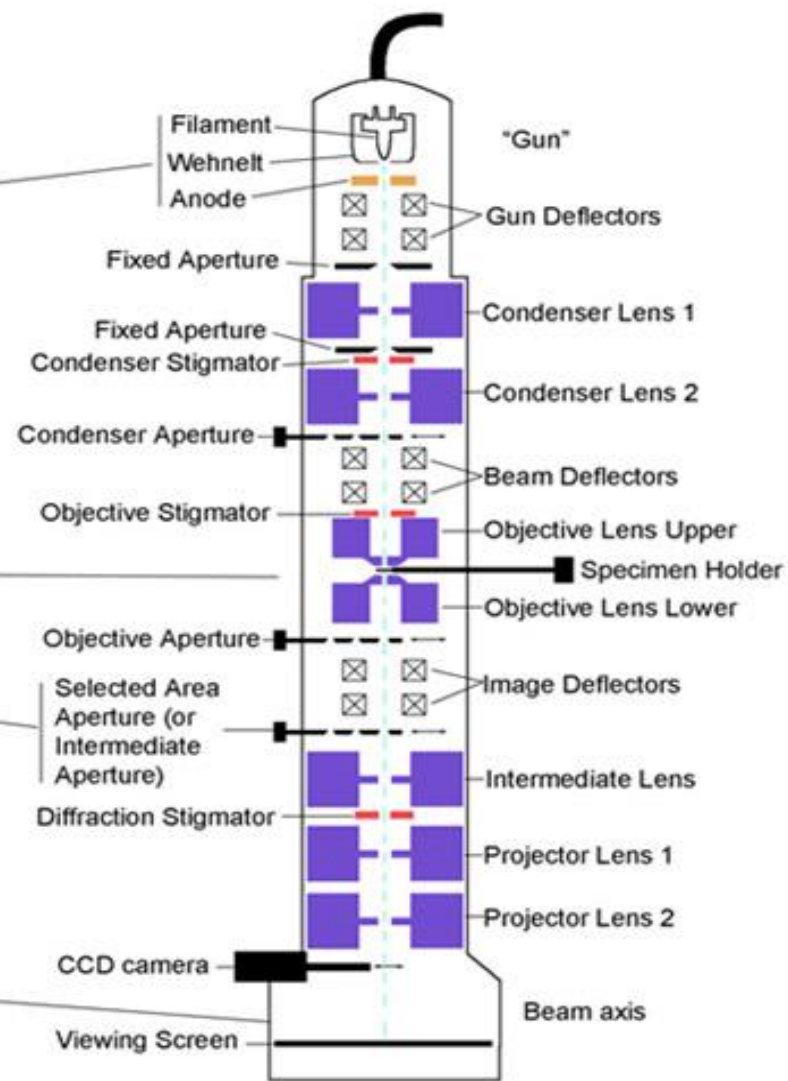
- 1. تفنگ الکترونی (Electronic Gun):** تولید پرتوی الکترونی پرانرژی با استفاده از رشته تنگستن
- 2. کندانسورها (Condenser Lenses):** متمرکز کردن پرتو الکترونی بر سطح نمونه
- 3. نگهدارنده نمونه (Specimen Holder):** قرار دادن نمونه بسیار نازک (50-100 نانومتر) برای عبور پرتو
- 4. لنزهای شیئی (Objective Lens):** ایجاد تصویر اولیه از نمونه
- 5. لنزهای میانی و پروجکشن (Intermediate & Projector Lenses):** بزرگنمایی تصویر اولیه و انتقال به صفحه فلورسنت یا دوربین
- 6. سیستم آشکارسازی (Detector):** شامل صفحه فلورسنت، دوربین CCD یا سیستم دیجیتال برای ثبت تصویر

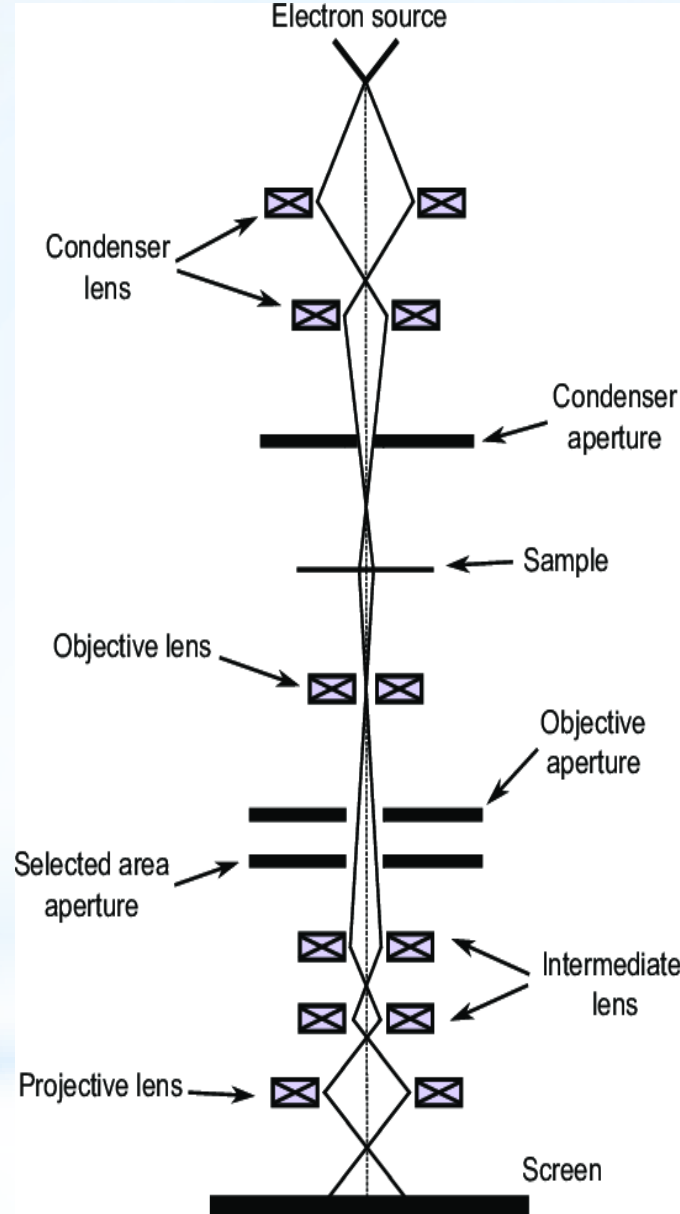
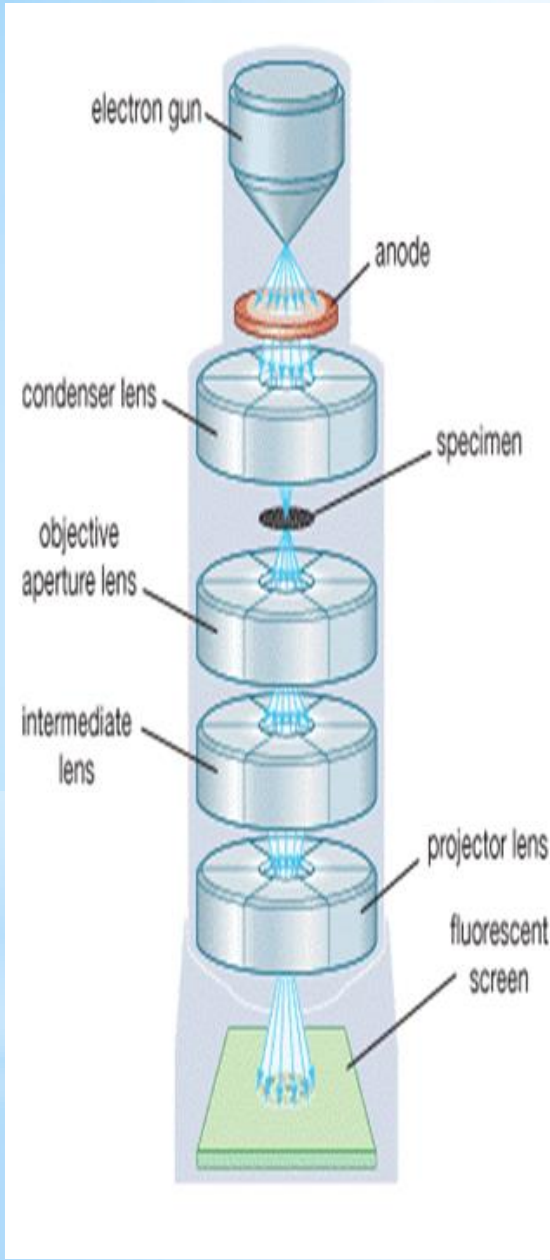
در میکروسکوپ TEM جهت تنظیم مسیر حرکت الکترون‌ها از عدسی‌های الکترومغناطیسی (سولنوئید solenoid) استفاده می‌شود که به جای عدسی‌های شیئی کاربرد دارند. به جای عدسی چشمی هم یک عدسی پروژکتوری قرار دارد که تصویر را روی صفحه فلورسنت منعکس می‌سازد. با تغییر شدت جریان در سیم پیچ‌های الکترومغناطیسی می‌توان، قدرت این عدسی‌های الکترومغناطیسی را تغییر داد و با تغییر قدرت عدسی‌های پروژکتور می‌توان بزرگنمایی تصویر را کم یا زیاد نمود. سیستم عملکردی میکروسکوپ الکترونی باید در محیطی عاری از هوا (خلأ) باشد. زیرا الکترون‌ها ذراتی باردار هستند و در اثر برخورد با مولکول‌های باردار هوا جذب یا منحرف می‌شوند. نمونه میکروسکوپ الکترونی باید نازک و حدود ۲۵۰ آنگستروم ضخامت داشته باشد تا الکترون‌ها بتوانند به‌آسانی از آن عبور کنند. برای نمونه‌های ضخیم‌تر به ولتاژ بالا نیاز است. در نوعی از میکروسکوپ‌های الکترونی به نام میکروسکوپ الکترونی ولتاژ بالا (High Voltage Electron Microscope)، می‌توان ولتاژی تا حدود یک میلیون ولت به خاطر افزایش عمق نفوذ الکترون‌ها فراهم نمود. اولین میکروسکوپ الکترونی که ساخته شد، درست مانند میکروسکوپ نوری که شعاع نور را از داخل نمونه مورد مطالعه عبور می‌دهد، شعاع الکترون را از داخل مقطع بسیار نازکی عبور می‌دهد. چون تراکم مواد در تمام قسمت‌های نمونه مورد مطالعه یکسان نیست، میزان الکترونی که از قسمت‌های مختلف عبور می‌کند، متفاوت است. در نتیجه تصویری تاریک و روشن آن بدست می‌آید.

میکروسکوپ الکترونی دارای یک قسمت لوله‌ای شکل است که الکترون می‌تواند آزادانه از آن عبور کند. منبع الکترون در میکروسکوپ الکترونی یک سیستم قوسی شکل از جنس تنگستن می‌باشد که کاتد را تشکیل داده و در درجه‌ی حرارت ۲۵۰۰-۲۰۰۰ سانتیگراد از خود الکترون ساطع می‌کند. از آنجاییکه حرکت الکترون‌ها از کاتد به طرف آند همراه با بی‌نظمی است در اطراف کاتد سیلندر ونلت (Wehnelt cylinder) تعبیه می‌شود. این سیلندر در اطراف کاتد فضای تخلیه الکترون ایجاد می‌کند، بنابراین الکترون‌ها بعد از سیلندر جریان الکترونی ثابتی به دست می‌آورند. این عمل با ایجاد اختلاف پتانسیل از 20000 تا 10000 ولت، بین کاتد و آند صورت می‌گیرد. در نتیجه یک شعاع الکترونی به‌سوی پایین قسمت لوله‌ای شکل، شتاب داده می‌شود. به این سیستم، تفنگ الکترونی می‌گویند.

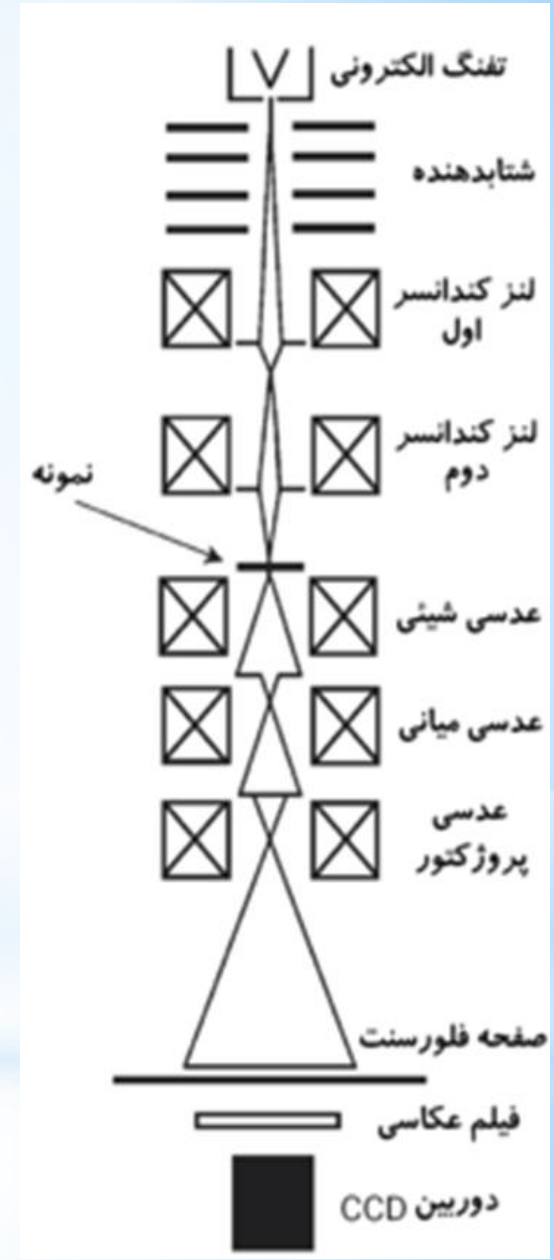
در طول لوله، عدسی‌هایی همگرا، اندازه و روشنایی شعاع الکترونی را قبل از برخورد با نمونه مورد مطالعه کنترل می‌کنند. مقطع مورد بررسی، روی یک صفحه مشبک دایره شکلی به نام گرید (Grid) قرار داده می‌شود. شعاع الکترونی پس از عبور از مقطع و قبل از این‌که به حد بزرگنمایی نهایی برسد، از میان عدسی‌هایی شیئی، عبور کرده و تنظیم می‌شود. سپس توسط عدسی‌هایی بر روی صفحه زیر میکروسکوپ منعکس می‌شود. در زیر این صفحه یک دوربین عکاسی قرار دارد که از تصویر روی صحنه عکس می‌گیرد و نهایتاً تصویر تشکیل شده در میکروسکوپ الکترونی معرف اختلاف در طرز پراکندگی الکترون‌ها به وسیله‌ی اجزاء مختلف نمونه حاصل گردد.







نمای طولی میکروسکوپ الکترونی گذاره (TEM)





مواد و وسایل مورد نیاز

مواد و وسایل مورد نیاز

گلو تار آلدئید 2.5%

اسید اُسمیک 1%

بافر فسفات یا کاکودیلات یا PBS

اتانول با درجات مختلف (30% ، 50% ، 70% ، 90% ، 100%)

پروپیلن اکسید

رزین

قالب برای قالب گیری نمونه

دستگاه اولترامیکراتوم (Ultramicrotome)

دستگاه نایف میکرو یا سازنده کارد Knife maker

کارد شیشه ای یا کارد الماسی

گریدهای مسی یا طلا یا نیکلی

آب دی یونیزه

استات اورانیوم (Uranyl acetate)

سیترات سرب (Lead citrate)

Tissue Processing for Electron Microscopy

آماده‌سازی نمونه‌های سیتولوژیکی جهت مشاهده در میکروسکوپ الکترونی جهت مشاهده نمونه‌های مختلف گیاهی، جانوری یا انسانی در میکروسکوپ الکترونی گذاره، ابتدا بایستی قسمتی از نمونه که باید مورد بررسی قرار گیرد، توسط میکروسکوپ نوری کنترل گردد. سپس

1. قسمت‌های اضافی حذف و نمونه به ابعاد ۱ میلیمتر جهت برش‌های طولی و عرضی برای مراحل زیر آماده شوند.

2. ثابت‌سازی نمونه ((Fixation))

برای جلوگیری از تخریب و حفظ ساختارهای سلولی، نمونه‌ها باید به سرعت فیکس شوند. ثابت‌سازی به‌طور معمول با استفاده از محلول‌های شیمیایی انجام می‌شود برای تثبیت بافت‌ها در یک حالت طبیعی و حفظ ساختار آنها.

روش:

. فیکساسیون یا تثبیت اولیه (First Fixation): گلوتارآلدئید)

(Glutaraldehyde): برای تثبیت و حفظ ساختار پروتئین‌ها.

نمونه در محلول گلوتارآلدئید 2.5% به مدت 2 تا 4 ساعت در دمای 4 درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرد.

۱. شستشو: نمونه با بافر فسفات 3 بار، هر بار 10 دقیقه شستشو داده می‌شود.
۲. فیکساسیون یا تثبیت ثانویه (Post Fixation): osmium tetroxide استفاده از اسید اُسمیک 1% به مدت 1 تا 2 ساعت در دمای اتاق جهت تثبیت چربی‌ها و غشاهای سلولی.
3. شستشو (Washing):

پس از ثابت‌سازی، نمونه‌ها باید به‌طور کامل شسته شوند تا هرگونه باقی‌مانده از مواد ثابت‌کننده حذف شود. این شستشو معمولاً با استفاده از محلول بافر فسفات یا کاکودیلات یا PBS انجام می‌شود.

4. دی‌هیدراته‌سازی یا آبگیری (Dehydration):
برای آماده‌سازی نمونه‌های TEM، نمونه‌ها باید در یک فرآیند تدریجی از آب به الکل منتقل شوند تا آب موجود در بافت‌ها به‌طور کامل حذف شود. و در مراحل بعدی موجب فساد بافتی نگردند. معمولاً این فرآیند شامل شستشو در درجات مختلف الکل انجام می‌شود: از الکل 10% و 30% الی 50% الکل 70% الکل 90% الکل و 100% الکل (دو بار آبگیری در این غلظت)

نمونه‌ها به ترتیب و به مدت ۱۵-۱۰ دقیقه در الکل اتانل (یا استون) با درصدهای فوق‌الذکر گرفته و سپس ۲ بار متوالی و هر بار به مدت ۱ ساعت در الکل ۱۰۰ درصد (مطلق) اتانل قرار می‌گیرند تا آبگیری نمونه به‌طور کامل انجام شود و آب موجود در بافت باعث فساد بافتی در مراحل بعد نگردد و همچنین با تبخیر در طی روند کار ساختار سلولی بهم نریزد.

5- شفافیت دهی (Clearing):

نمونه‌ها دوبار و هربار به مدت ۲۰ دقیقه در محلول اکسیدپروپیلن (Propylene Oxide) قرار گرفته تا درون سلول‌ها و اطراف آن‌ها شفاف گردند.

6- نفوذ تدریجی ماده قالب‌گیری (Infiltration):

در این مرحله نمونه‌ها در محلولی با ترکیب رزین (Resin) و پروپیلن‌اکساید قرار می‌گیرند، به طوریکه به ترتیب در زمان‌های متوالی (حداقل ۲۰ دقیقه) می‌بایست درصد پروپیلن‌اکسید از ۹۰ درصد و رزین از ۱۰ درصد به پروپیلن‌اکسید ۱۰ درصد و رزین ۹۰ درصد تغییر پیدا کند. نهایتاً نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در ظرفی حاوی رزین خالص قرار می‌گیرند. (رزین ترکیب تجارتي است که جهت قالب‌گیری نمونه‌ها، نفوذ تدریجی آن به داخل بافت، اطراف سلول و درون سلول از آن استفاده می‌شود).

7- قالب‌گیری (Embedding):

قالب‌گیری نمونه‌ها در رزین ۱۰۰ درصد در قالب‌های مخصوص استوانه‌ای (Rod Capsule) یا مسطح (Flat Mold) انجام می‌شود. جهت‌گیری (Orientation) نمونه‌ها در قالب بسیار مهم است، تا بتوان برش‌های صحیح عرضی یا طولی کاملی از نمونه به دست آورد. پس از قرار دادن نمونه‌ها با جهت صحیح در قالب‌ها و پر کردن توسط رزین آن‌ها را به مدت ۴۸ ساعت در آون ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده تا رزین که نمونه را در برگرفته سفت و پلیمریزه شده و استحکام محکمی اطراف نمونه به وجود آورد و در هنگام برش‌گیری نمونه از هم متلاشی نشود.

8- اصلاح (Trimming):

ته کپسولها که حاوی نمونه است بایستی به صورتی اصلاح گردد تا شکل هرم ناقص یا دوزنقه که پایدارترین شکل هندسی در برابر تیغ‌های بسیار تیز شیشه‌ای یا الماسی می‌باشند، به وجود آید.

9- برش‌گیری (Sectioning):

در دو مرحله برش‌گیری انجام می‌شود. ابتدا تهیه برش ضخیم (Thick Section) که حدود ۲۰۰-۳۰۰ نانومتر تهیه و تنظیم می‌شود و سپس مشاهده در میکروسکوپ نوری و حذف قسمت‌های اضافی و آماده کردن نمونه جهت گرفتن برش نازک (Thin Section) تا حدود ۷۰-۸۰ نانومتر جهت بررسی در میکروسکوپ الکترونی گذاره. برش‌گیری توسط دستگاه اولترامیکروتوم که مجهز به میکروسکوپ استریو (لوپ) می‌باشد و به وسیله کارد شیشه‌ای (Glass Knife) یا کارد الماسی (Diamond Knife) که از برنده‌ترین لبه‌های موجود در طبیعت می‌باشند، انجام می‌شود. کارد شیشه‌ای توسط دستگاه سازنده کارد (Knife Maker) آماده می‌شود. پس از تنظیم دستگاه اولترامیکروتوم و گرفتن برش‌های مناسب نمونه‌ها بر روی آب مقطر درون چاهک‌های ویژه و توسط وسیله‌ای از جنس مس یا طلا به نام گرید (Grid) جمع آوری می‌شوند. گریدها دارای خانه‌بندی‌های متفاوتی هستند که با واحد مش (Mesh) بیان می‌شود. به عنوان مثال گرید ۲۰۰ مش یا ۳۰۰ مش.

لازم به ذکر است که جهت مقاومت نمونه‌ها بر روی گرید در برابر بمباران الکترونی در میکروسکوپ، گریدها قبل از جمع‌آوری نمونه باید توسط پوششی به نام فرم وار (Formvar) پوشش داده شوند تا احتمال کنده‌شدن نمونه از روی گرید کاهش یابد.

10- رنگ آمیزی (Staining):

رنگ‌آمیزی در میکروسکوپ الکترونی به معنای عام آن نیست و با رنگ‌های رنگی (Color dyes) صورت نمی‌گیرد. بلکه به منظور دادن تضاد به نمونه، رنگ‌آمیزی توسط فلزات سنگین (Heavy metals) مثل استات اورانیوم (Uranium acetate) به مدت ۲۰ دقیقه و سیترات سرب (Lead citrate) به مدت ۱۰ دقیقه انجام می‌شود. بین دو مرحله و پایان رنگ آمیزی رنگ‌آمیزی نمونه توسط آب مقطر و آب دوبار یونیزه بایستی شست و شو داده شود تا نمونه کاملاً تمیز و عاری از آلودگی شود.

11. قرار دادن نمونه روی گرید TEM:

پس از برش و رنگ‌آمیزی، برش‌های نازک با استفاده از یک قلم یا ابزار دقیق روی گرید قرار می‌گیرند. گرید معمولاً از جنس مس طلا یا نیکل است.

12. خشک‌سازی و حفاظت از نمونه:

پس از قرار دادن نمونه‌ها روی گرید، آن‌ها باید به‌طور کامل خشک شوند. برخی از نمونه‌ها ممکن است نیاز به پوشش‌دهی با لایه‌ای از کربن یا طلا داشته باشند تا ویژگی‌های الکترونیکی آن‌ها بهبود یابد.

13. مشاهده (Observation) تحت میکروسکوپ TEM

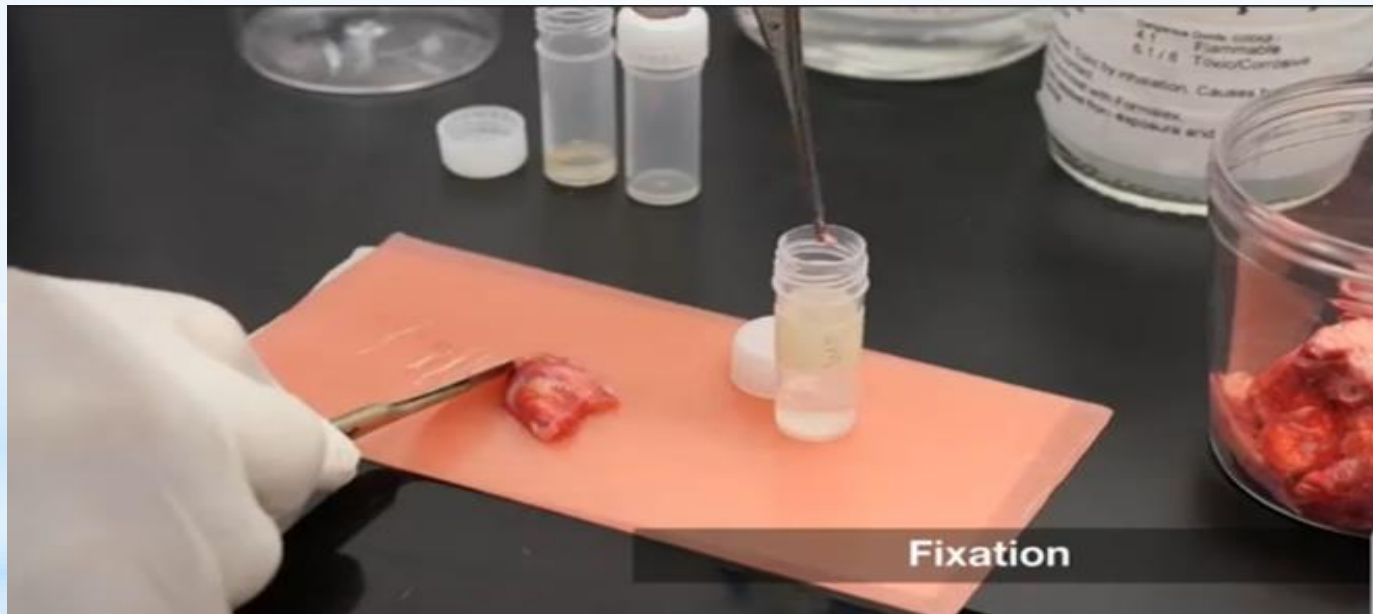
گریدهای حاوی نمونه در نگهدارنده‌های مخصوصی (Holder) قرار گرفته و در جایگاه مخصوص وارد میکروسکوپ شده و مشاهده می‌شوند.

میکروسکوپ، دارای پیچ‌ها و دکمه‌های تنظیم ولتاژ، شدت جریان، بزرگنمایی، درخشندگی، وضوح و سایر تنظیمات برای مشاهده بهتر و دقیقتر نمونه می‌باشد.

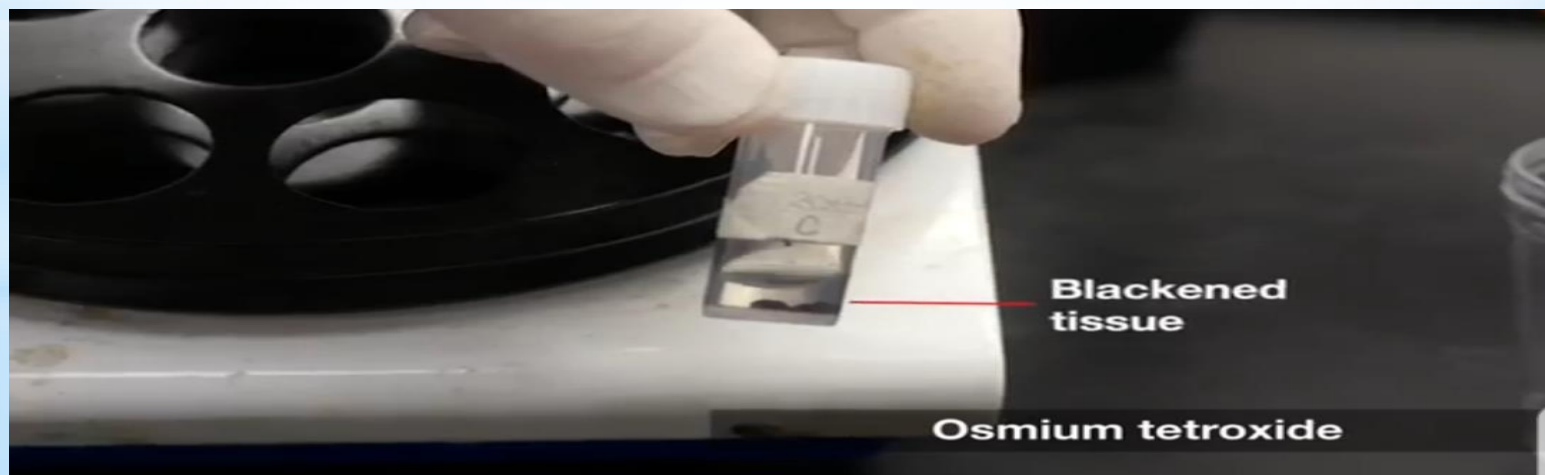
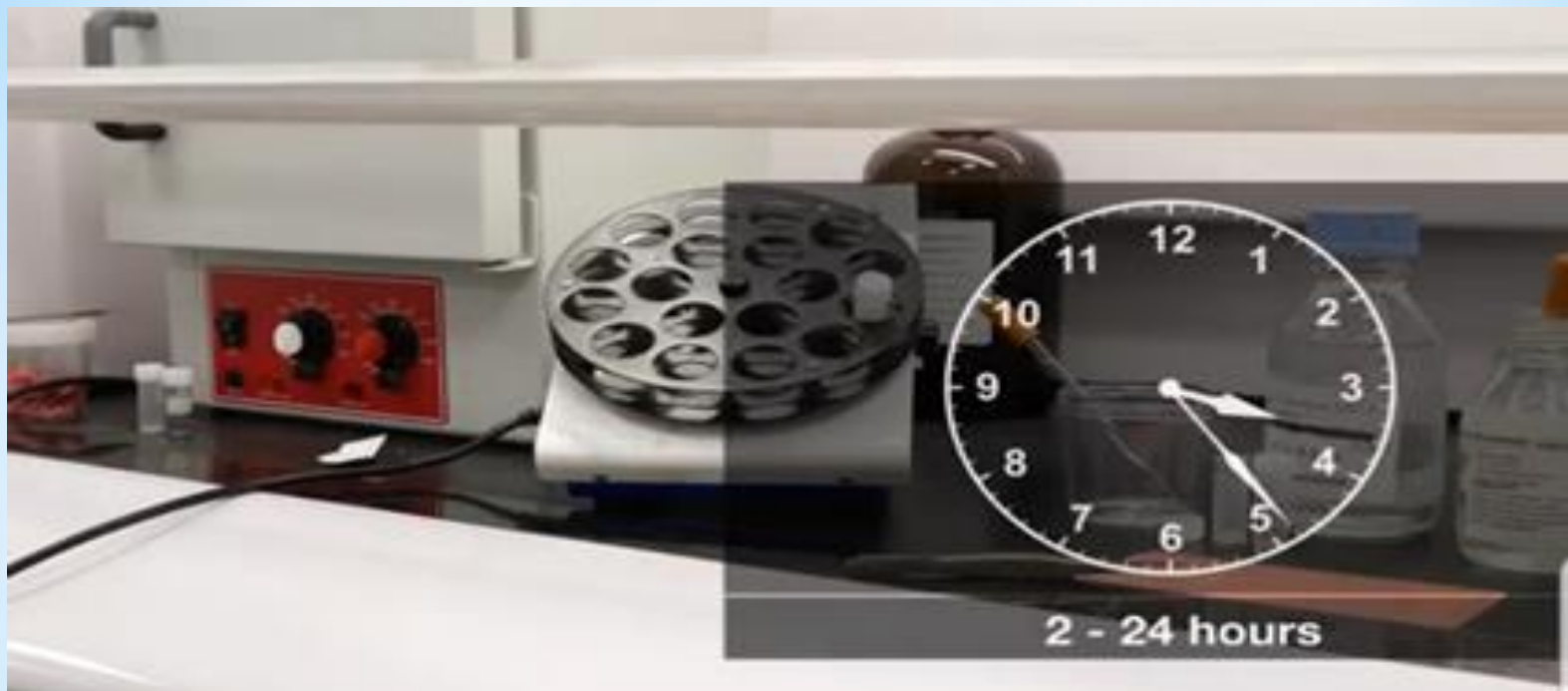
14. عکسبرداری (Photography):

نتایج تحقیقات میکروسکوپ الکترونی حتماً باید بر روی فیلم‌های مخصوص ثبت و عکسبرداری شوند، تا بتوان نتایج را تفسیر و منتشر کرد.

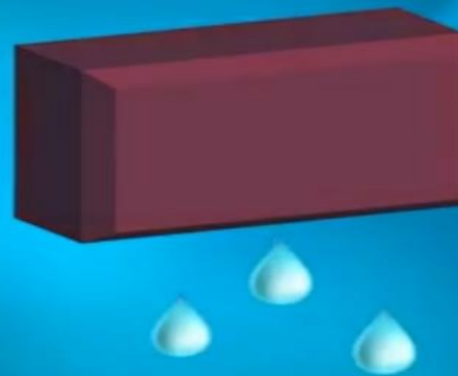
1. Fixation







1. Dehydration



Dehydration

70%

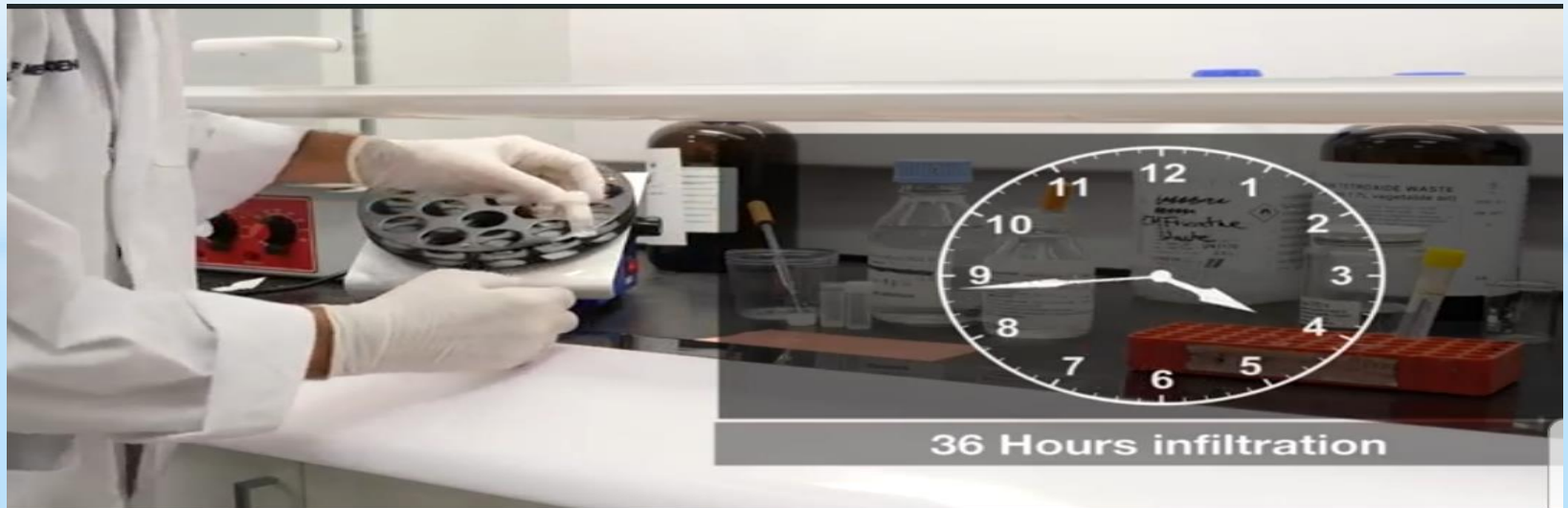


85%

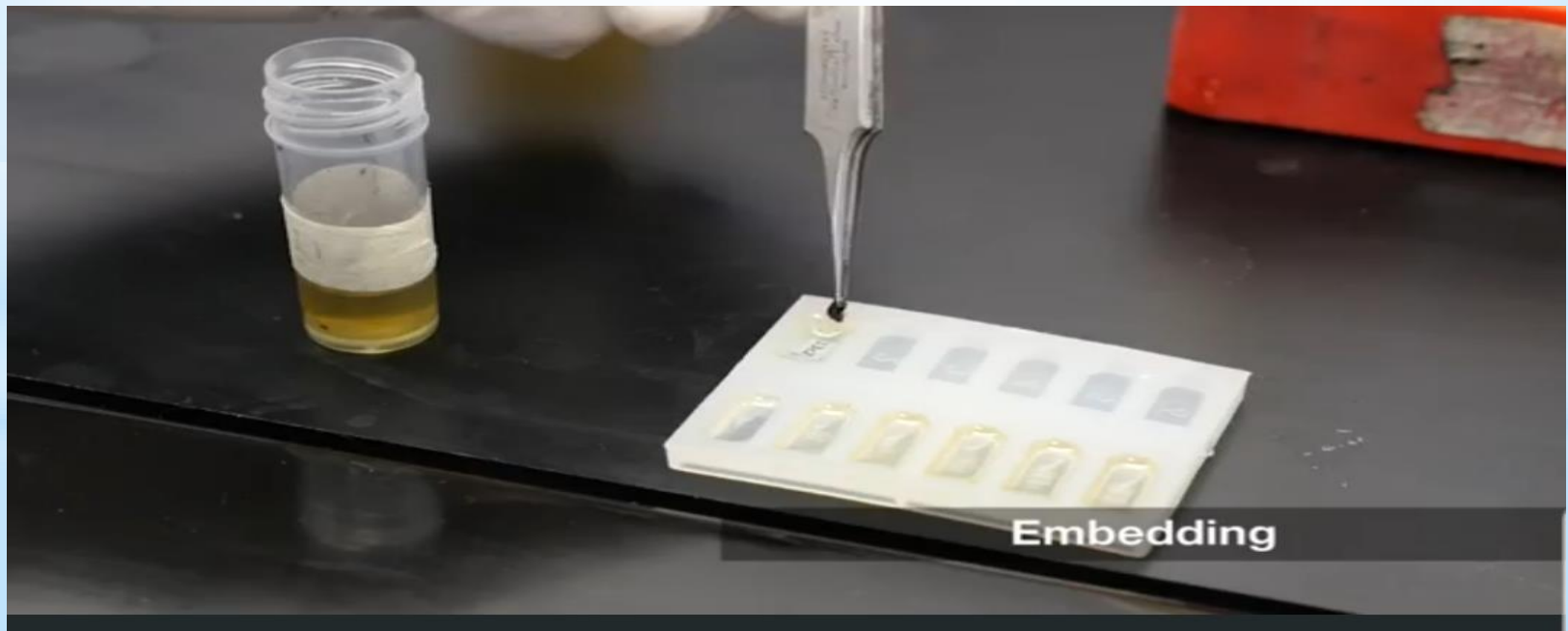


100%

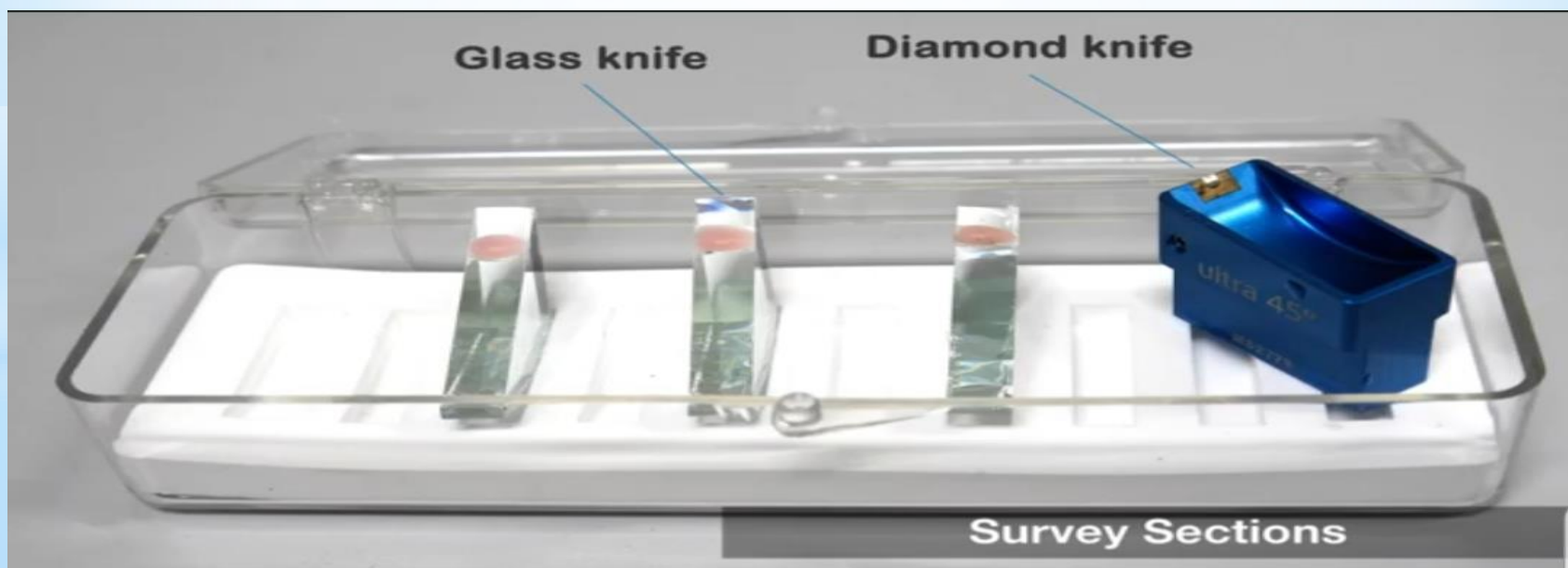
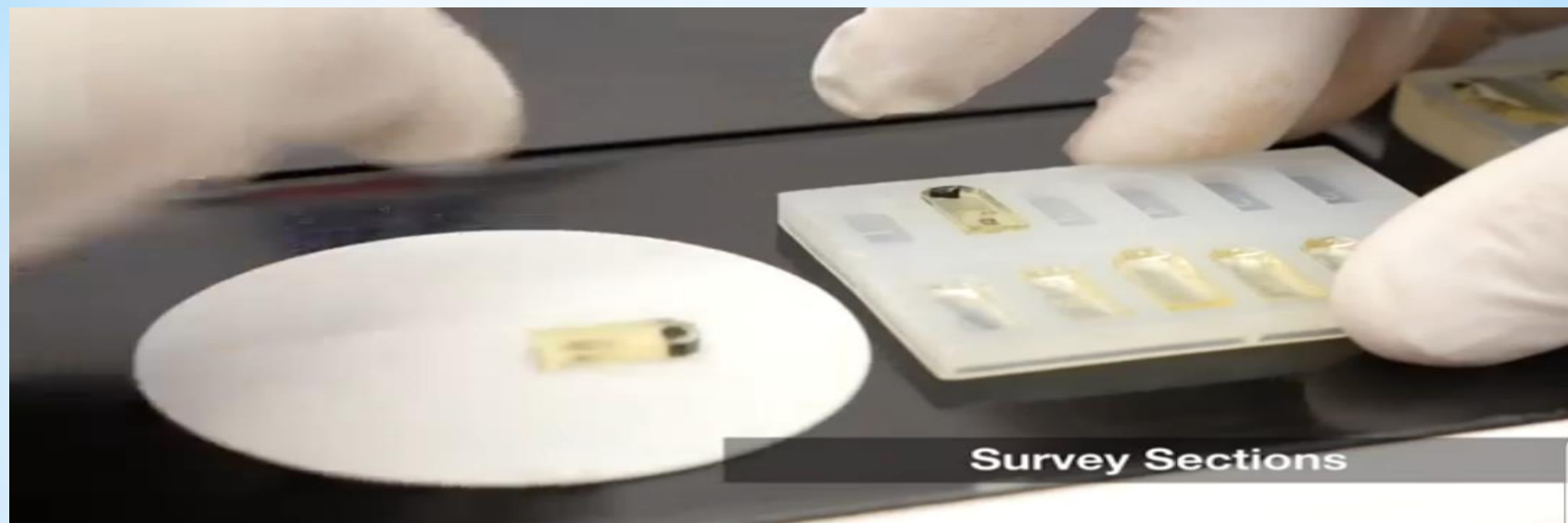


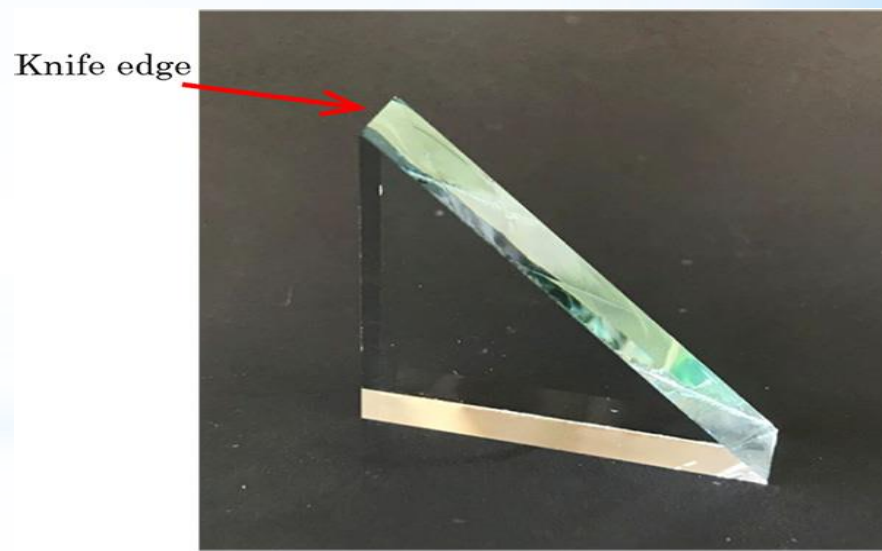
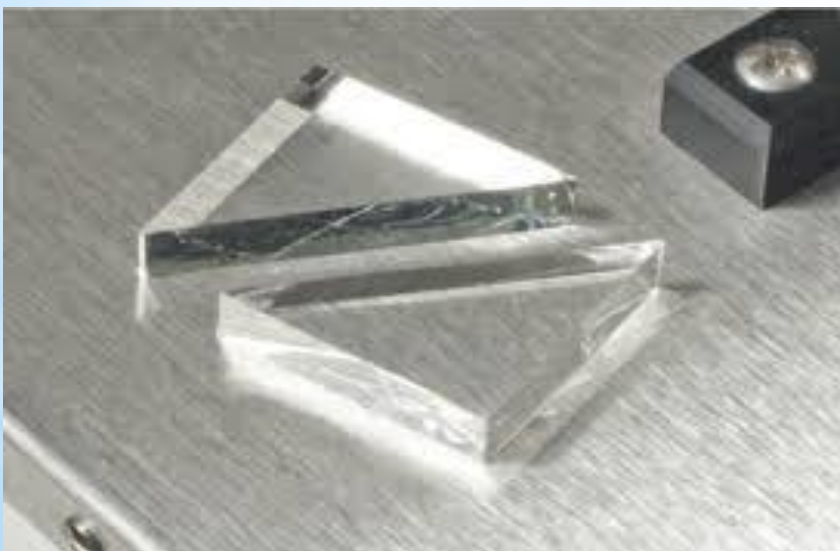
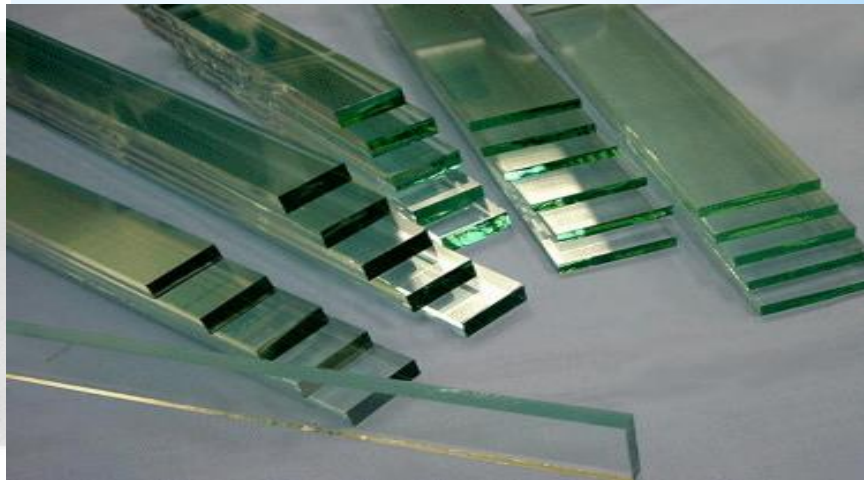


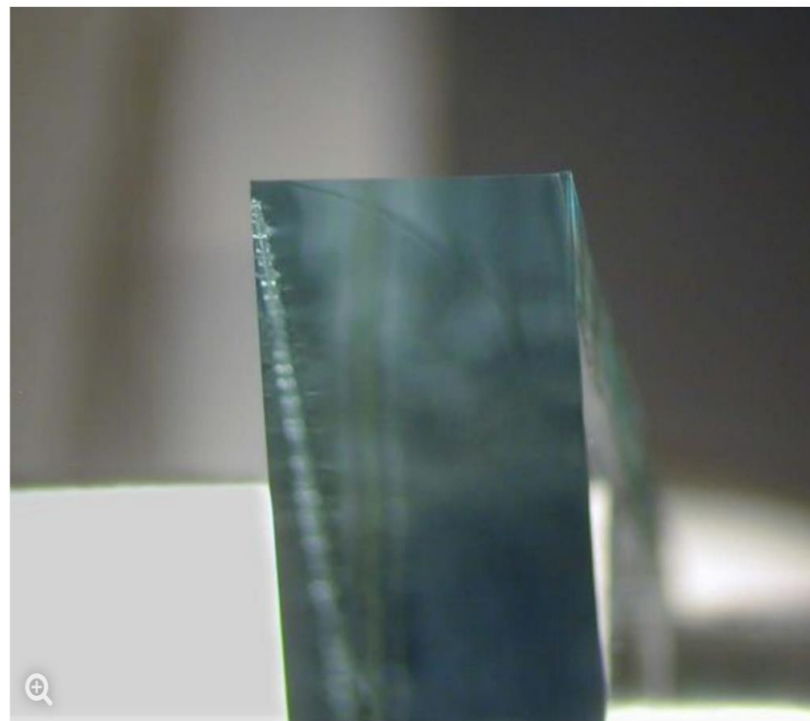
1. Embedding

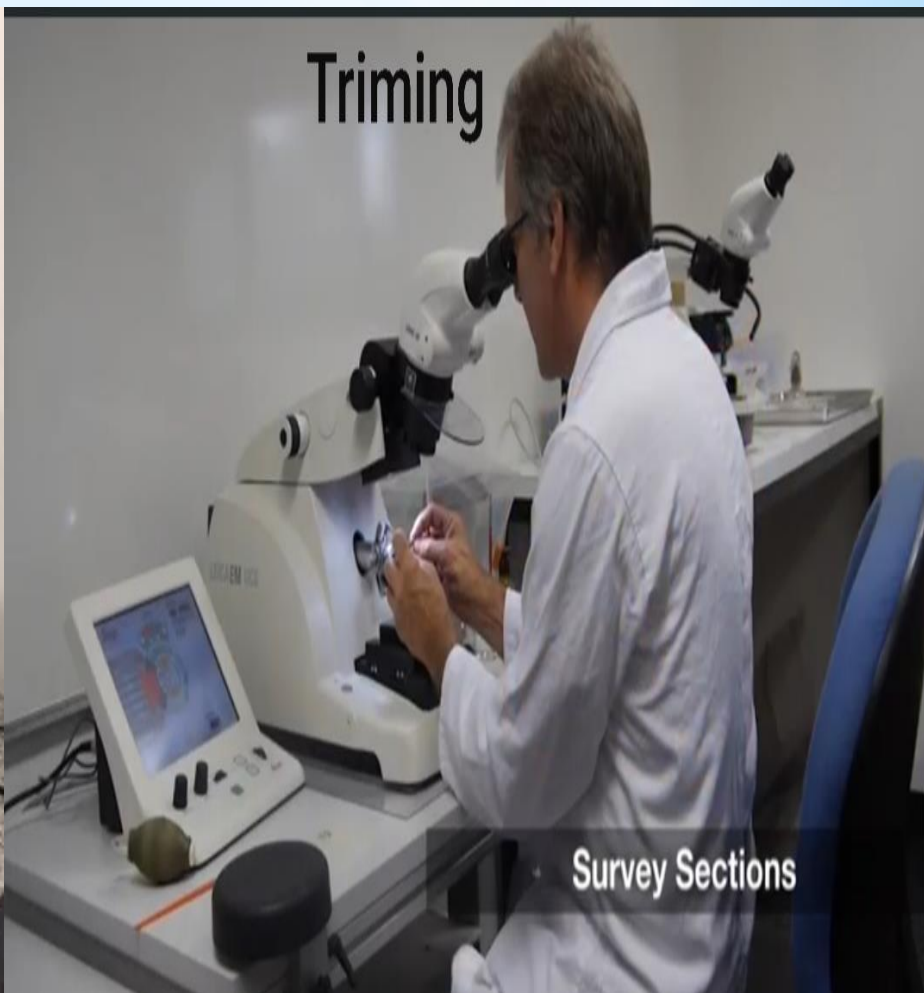


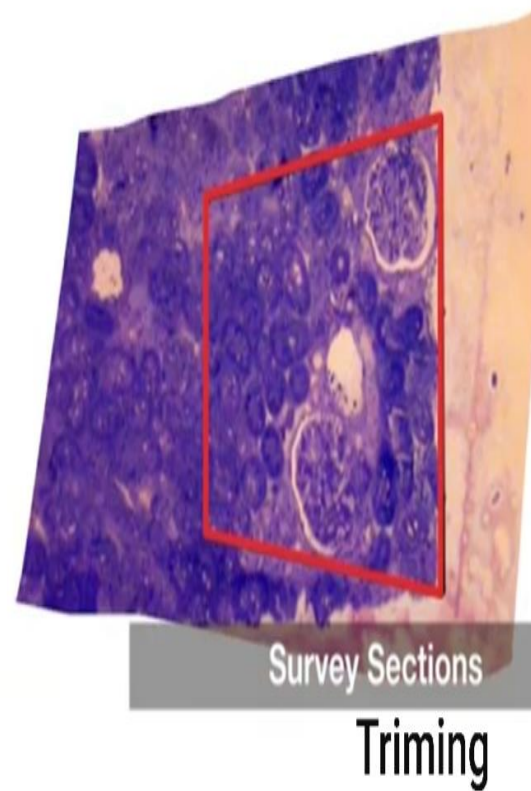
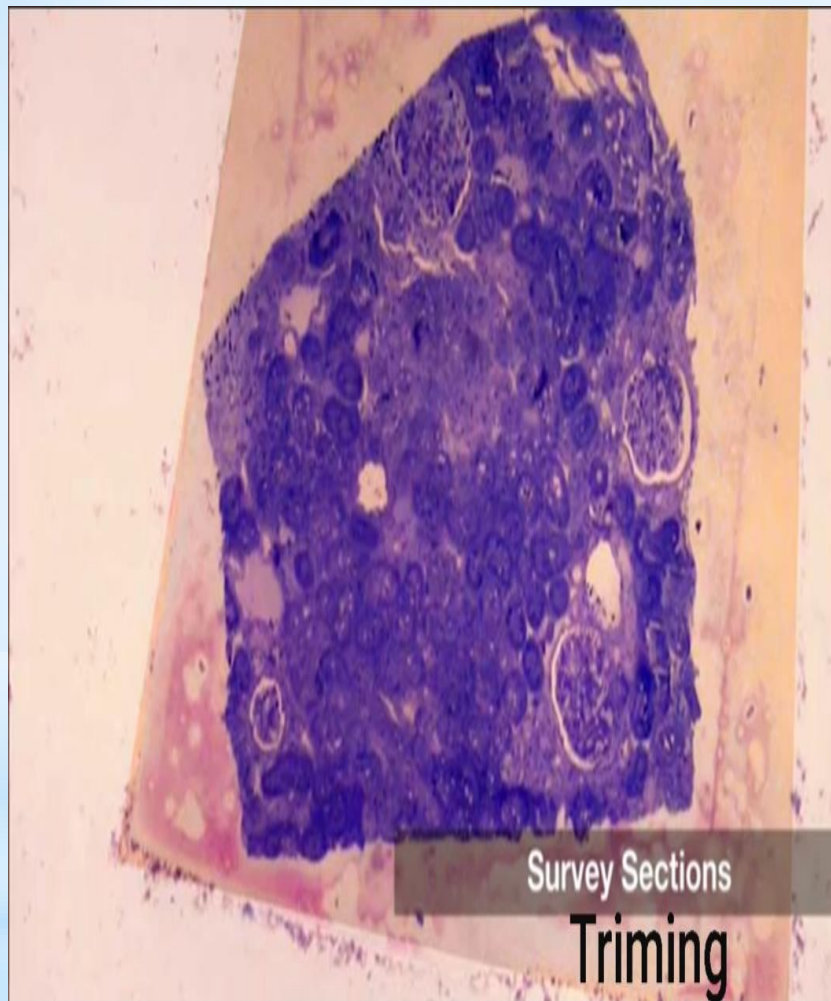




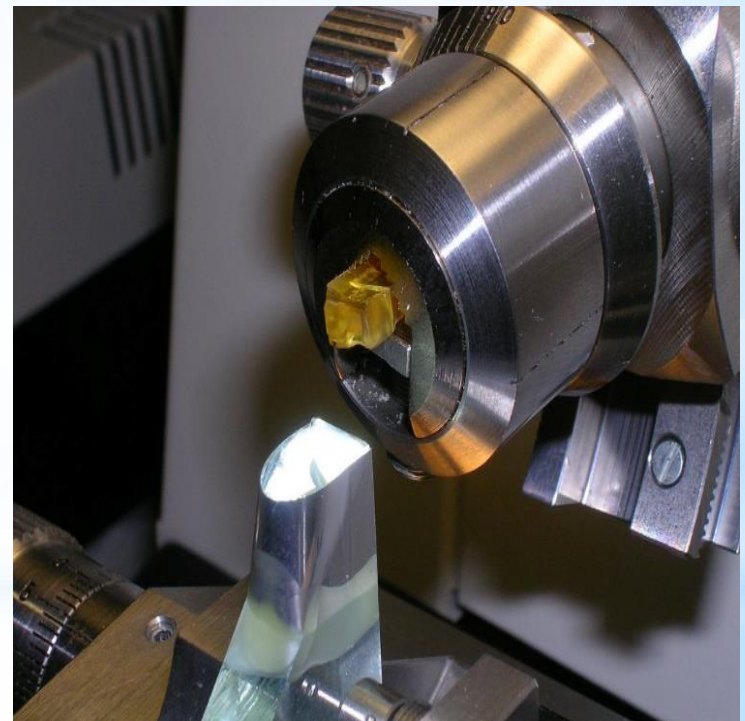




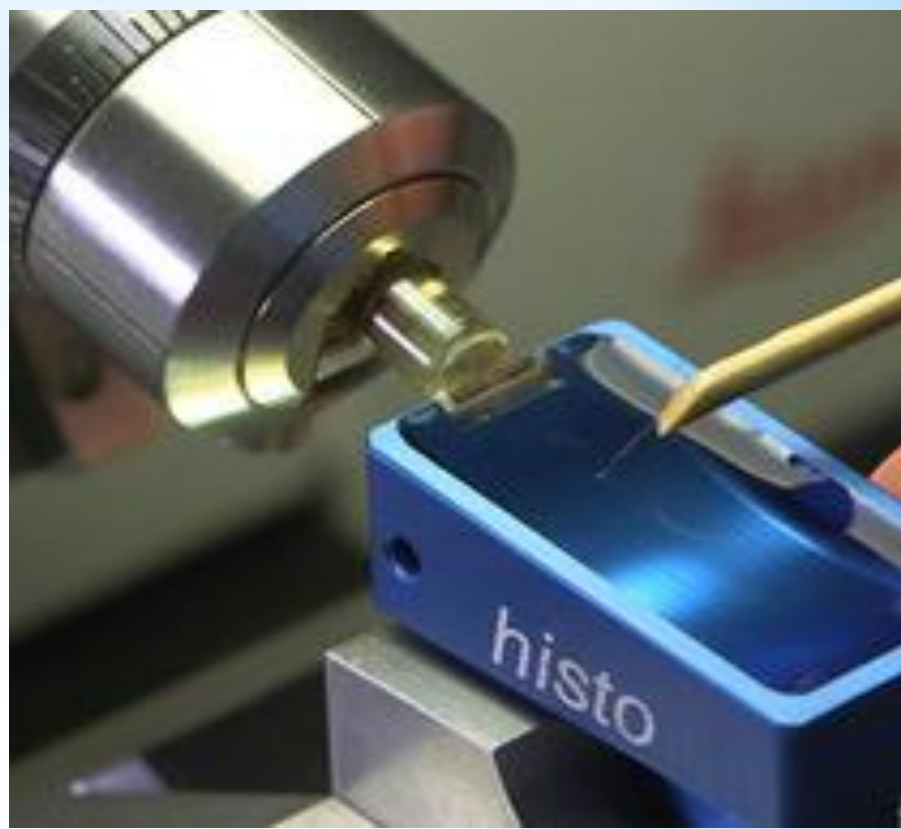


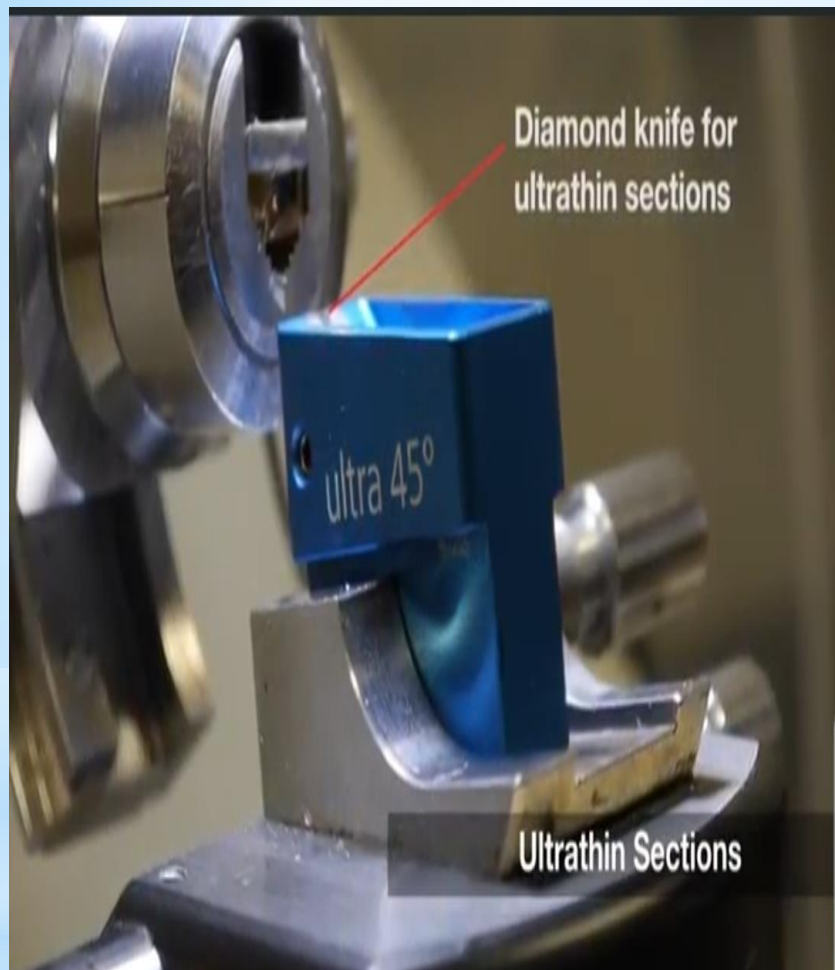


1. Sectioning





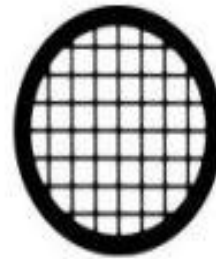




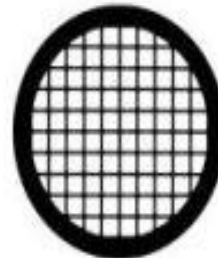
انواع گرید



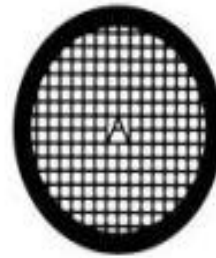
50 mesh



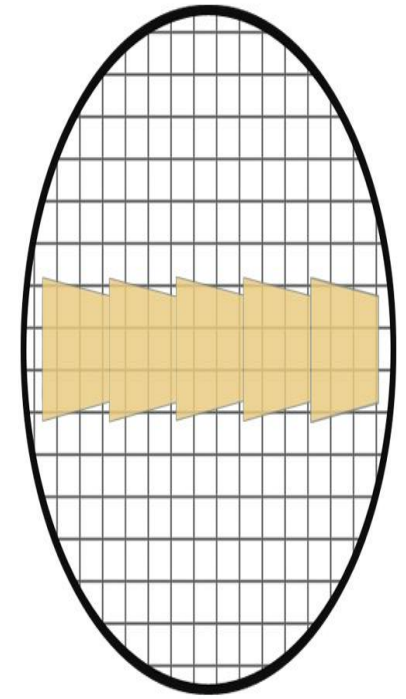
75 mesh



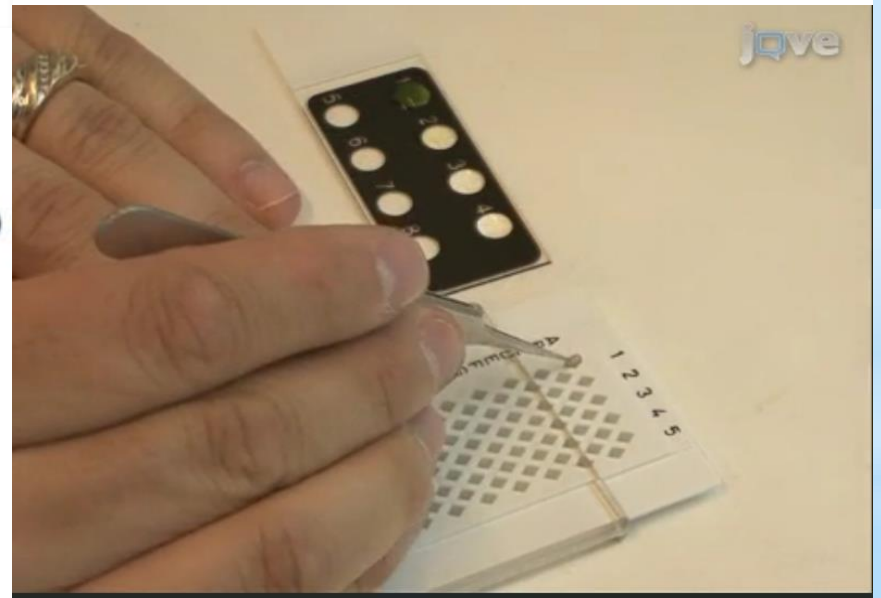
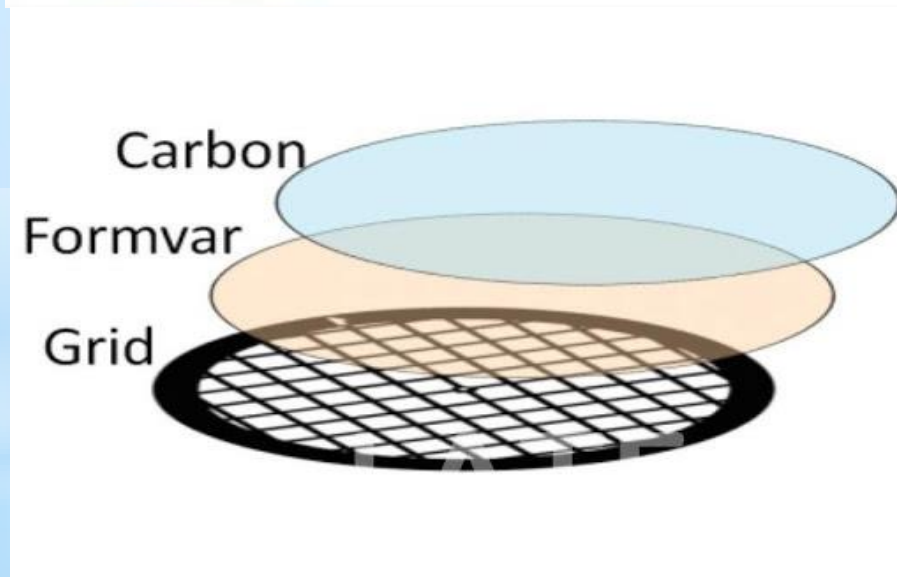
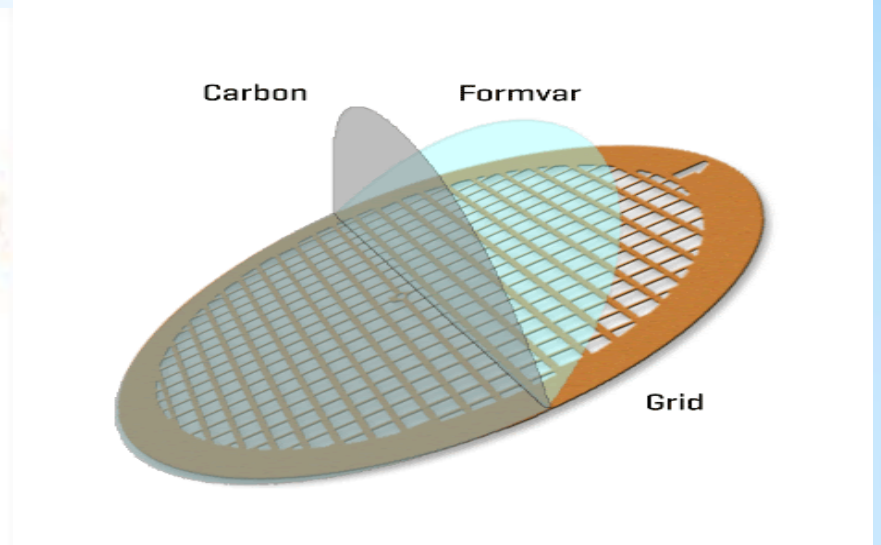
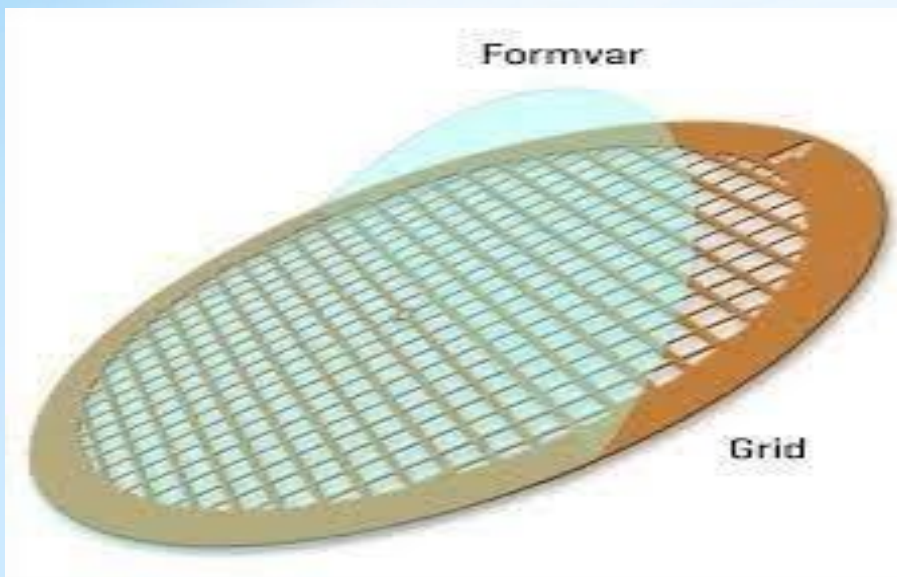
100 mesh



150 mesh



3 mm



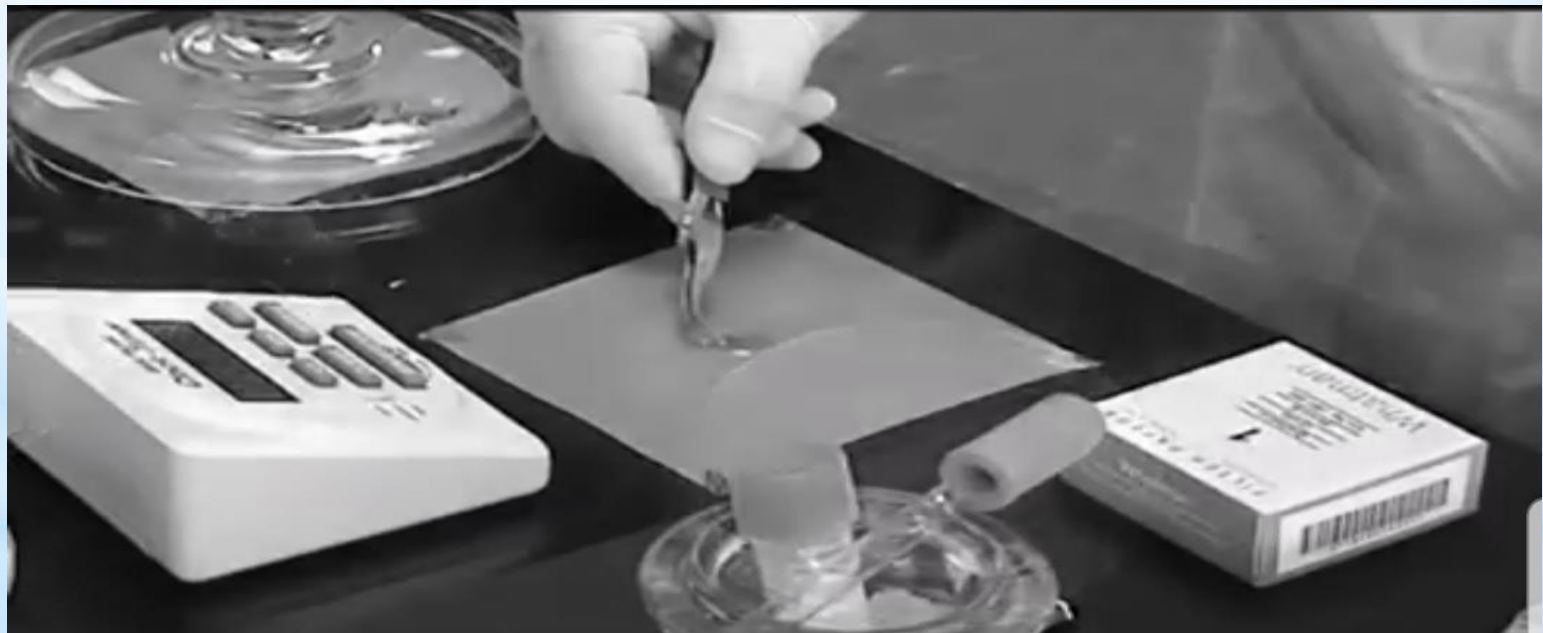
انواع گریدها از نظر جنس و پوشش:

نوع گريد	ویژگی‌ها	کاربرد
گريد مسی (Copper Grid)	پرکاربرد، رسانای خوب، قیمت مناسب	کاربرد عمومی در زیست‌شناسی و علوم مواد
گريد نیکلی (Nickel Grid)	مقاوم به خوردگی، مناسب محیط‌های شیمیایی خاص	آنالیز عنصری، نمونه‌های حساس به مس
گريد طلایی (Gold Grid)	بی‌اثر شیمیایی، رسانای عالی، گران‌قیمت	تصویربرداری با کیفیت بالا، آنالیزهای حساس
گريد آلومینیومی (Aluminum Grid)	سبک‌تر، کمتر رسانا	کاربردهای خاص و کمتر رایج

انواع گريد از نظر مش (Mesh):

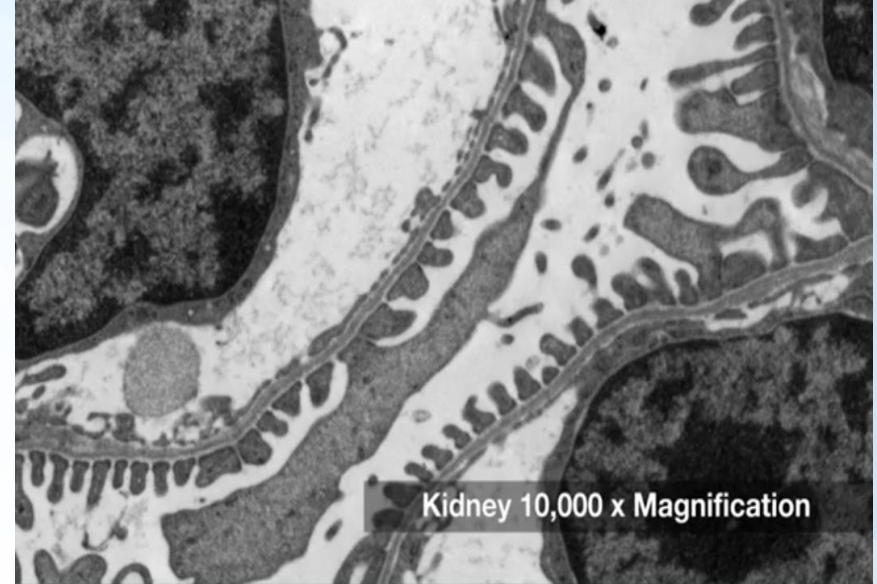
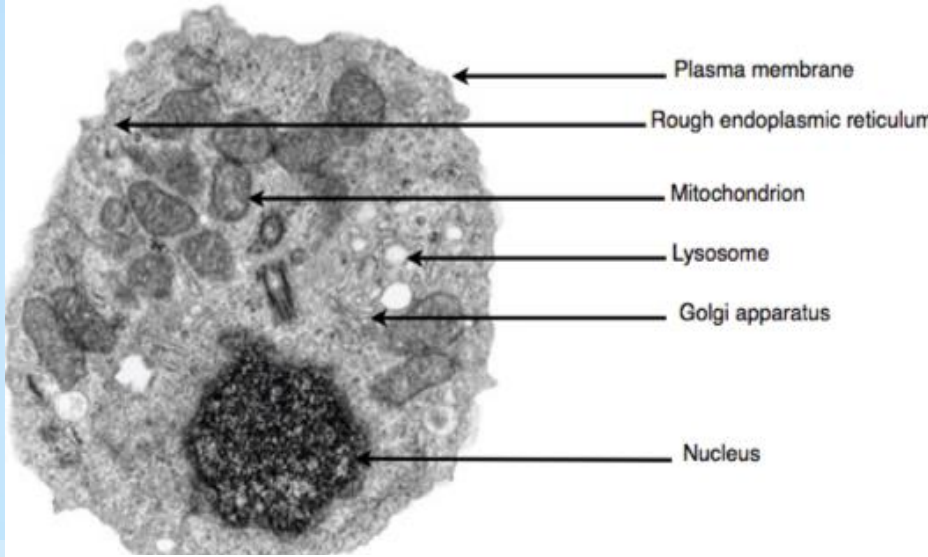
کاربرد	توضیح	مش (Mesh)
برای نمونه‌های بزرگ‌تر یا ضخیم‌تر	سوراخ‌های درشت‌تر، فضای بیشتر	200 mesh
استفاده رایج در اغلب آزمایش‌ها	تعادل خوب بین فضای باز و استحکام	300 mesh
نانوذرات، جزئیات بالا	سوراخ‌های ریزتر، پشتیبانی بیشتر	400 mesh و بالاتر

1. Staining

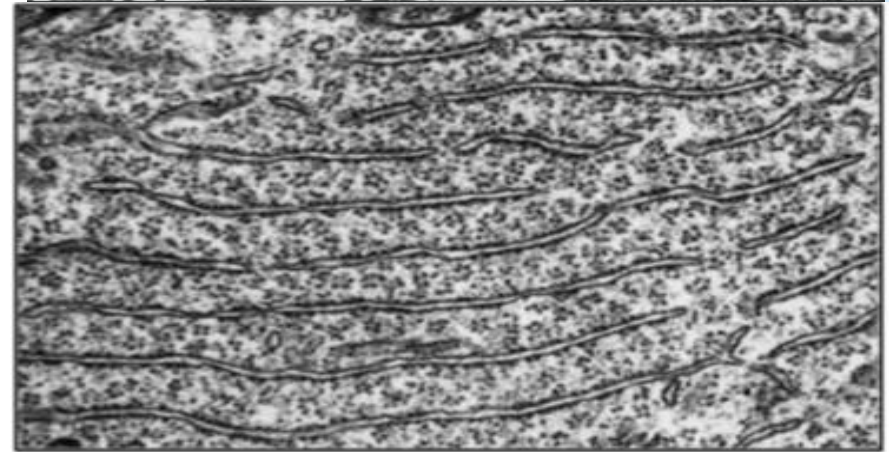




تصاویر در میکروسکوپ الکترونی ترانسمیشن



Golgi Apparatus



Endoplasmic Reticulum

تصاویر در میکروسکوپ الکترونی اسکن

