بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

روش های پیشرفته مطالعه مواد و آزمایشگاه

جلسه هفتم
(میکروسکوپ های الکترونی)

دکتر رضا اسلامی فارسانی

مقدمه

- انسان برای بررسی ساختار میکروسکوپی مواد اطراف خود از حس بینایی استفاده می کند.
- چشم انسان به کمک ثبت و ضبط نور انعکاسی از مواد می تواند به ماهیت و چگونگی ساختار بیرونی آنها پی ببرد، اما چشم تنها حد مشخصی از تشخیص و دریافت را نسبت به مشاهدات خود دارا می باشد.
- این محدودیت را می توان از طریق بکارگیری ابزارهای واسط برطرف نمود.

یکی از این ابزارها که نخستین بار در سال 1940 میلادی بکار گرفته شد، میکروسکوپ های الکترونی می باشند.

مقدمه

در میکروسکوپ های الکترونی برای روشن نمودن سطح نمونه و بررسی ساختار آن از تابش الکترون استفاده می شود.

در حالی که در میکروسکوپ های نوری، پرتو نوری این وظیفه را به عهده دارد.

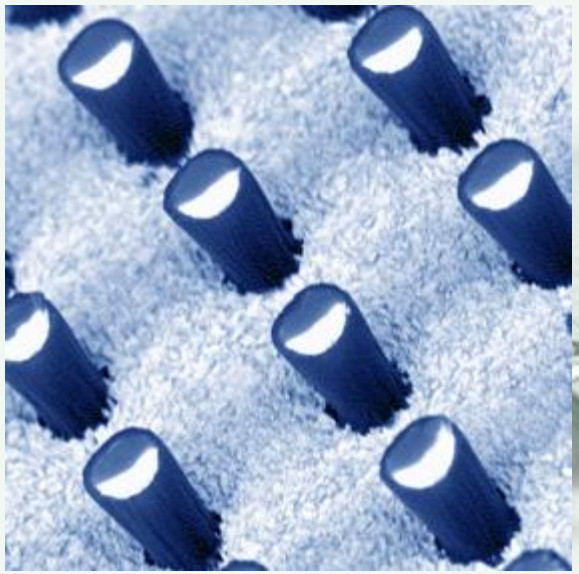
عمق میدان

Depth of Field

عمق میدان عبارت است از گسترِدگی محدوده‌ای که جلوتر یا عقب‌تر از سوژه اصلی، فوکاس هستند.

عمق میدان در حقیقت نشان دهنده تغییرات در عمق نمونه برای رسیدن به فوکاس قابل قبول است.

در میکروسکوپ های الکترونی در یک بزرگنمایی مشخص، عمق میدان حدود 500 برابر بیشتر از میکروسکوپ های نوری است.



حد تفکیک

Resolution Limit

حد تفکیک عبارت است از کوچکترین فاصله بین دو نقطه که بتوان به فوکاس قابل قبولی دست یافت.

هرچه مقدار حد تفکیک کمتر باشد می توان در بزرگنمایی های بالاتر نقاط کوچکتری را از هم تشخیص داد.

میکروسکوپ نوری

$$\Delta R = \frac{0.61\lambda}{n\sin\alpha}$$

Abbes equation

ΔR: حد تفکیک λ: طول موج

n: ضریب انکسار نور α: زاویه همگرایی

حد تفکیک

$$\Delta R = \frac{0.61\,\lambda}{\alpha}$$

میکروسکوپ الکترونی

چون میکروسکوپ های الکترونی در شرایط خلاء کار می کنند بنابراین مقدار ضریب شکست نور معادل یک است. $n = 1$

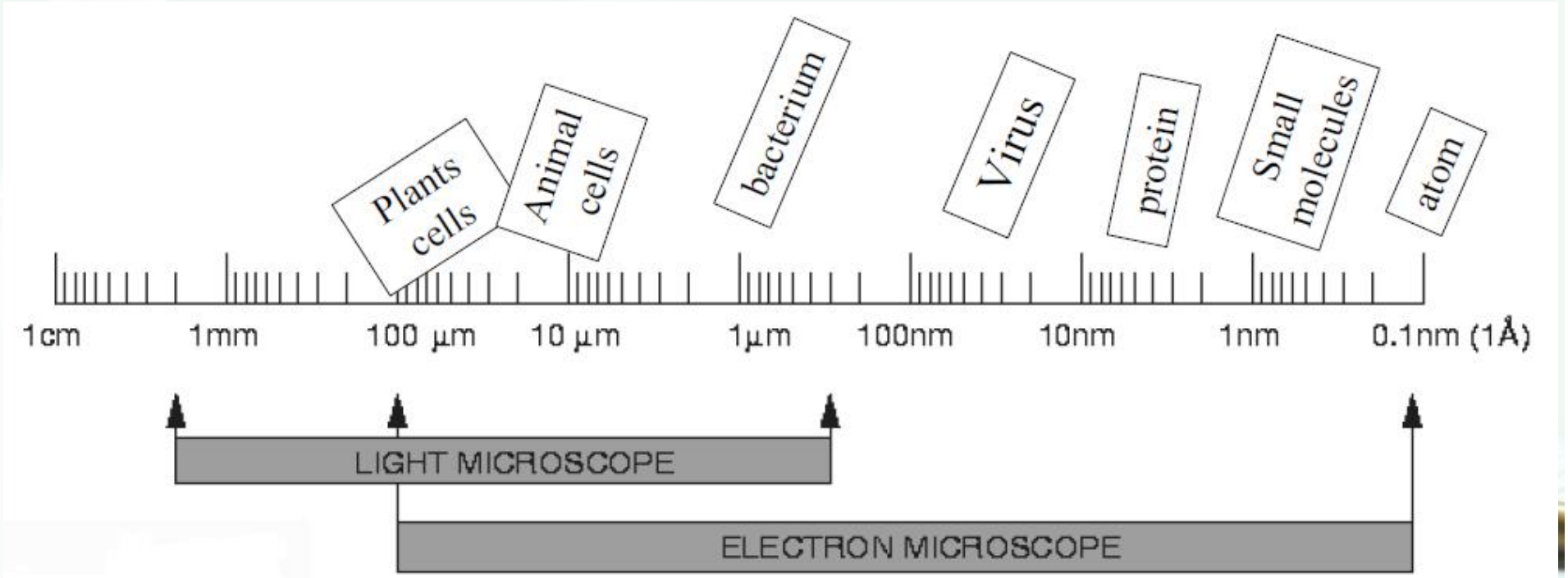
در میکروسکوپ های الکترونی زاویه انکسار اشعه بسیار کوچک است.

$$\sin\alpha = \alpha$$

طول موج نور حدود 500 نانومتر و
طول موج الکترون حدود 0/002 – 0/02 نانومتر است.

حد تفکیک

مقایسه حد تفکیک در میکروسکوپ های الکترونی و نوری



اجزای میکروسکوپ های الکترونی

مهمترین اجزاء میکروسکوپ های الکترونی عبارتند از:

- تفنگ الکترونی (منبع تولید الکترون)
- لنزهای مغناطیسی و روزنه
- پمپ ها و سیستم خلاء
- دتکتورها

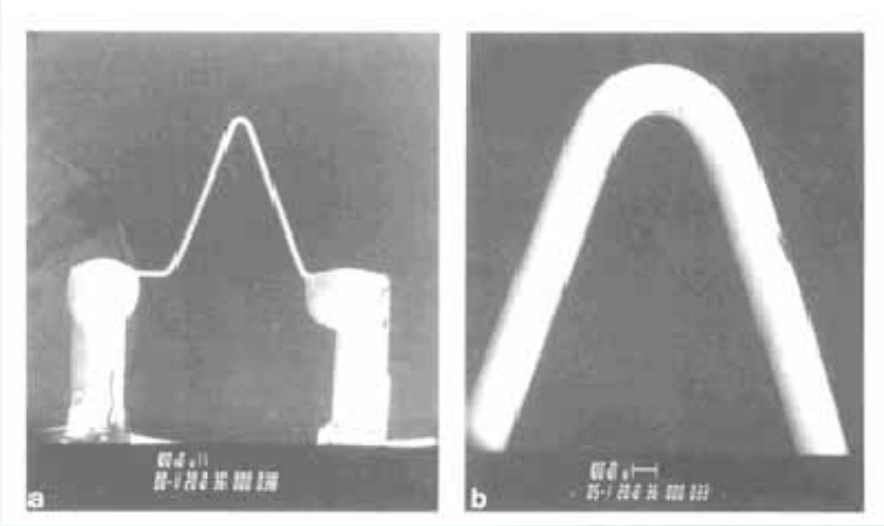
تفنگ الکترونی

Electron Gun

- متداولترین روش برای امکان جداکردن الکترون ها از یک ماده که بتواند آنها را به سمت نمونه شتاب دهد، انتشار حرارتی از یک المان گرم شده است (منابع ترمویونیک: گسیل الکترون در اثر حرارت).
- تنگستن با نقطه ذوب بالا (3660 درجه کلوین) ماده ای مناسب به عنوان منبع تولید الکترون است.
- چون دانسیته جریان حاصل از منبع تولید الکترون به نقطه ذوب وابسته است، در درجه حرارت های بالاتر از 2700 درجه کلوین، یک سیم تنگستنی مقدار زیادی نور و الکترون منتشر می کند.

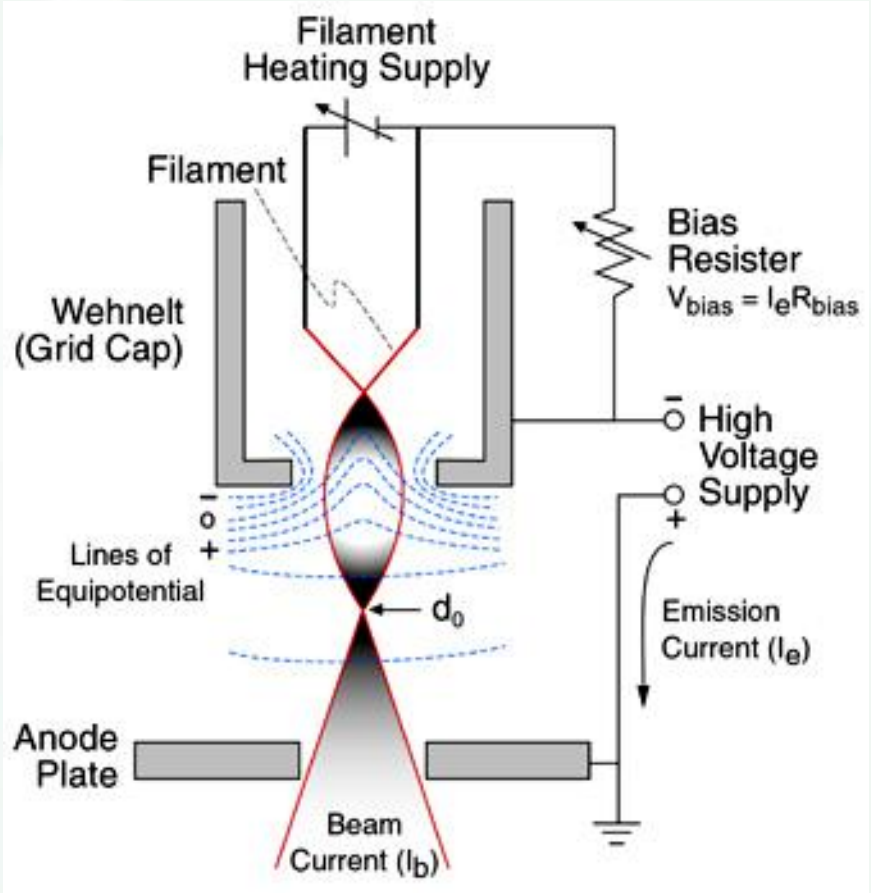
تفنگ الکترونی

- سیم تنگستن مورد استفاده به صورت فیلمان با قطر حدود 0/1 میلیمتر به صورت مارپیچ، رشته سیم به صورت V خم شده و یا سیم تنگستن که انتهای آن به صورت یک نقطه تیز شده است می باشد.



تفنگ الکترونی

- تنگستن با عبور جریان گرم شده و به عنوان کاتد عمل می کند و نسبت به آند در پتانسیل منفی نگاه داشته می شود.



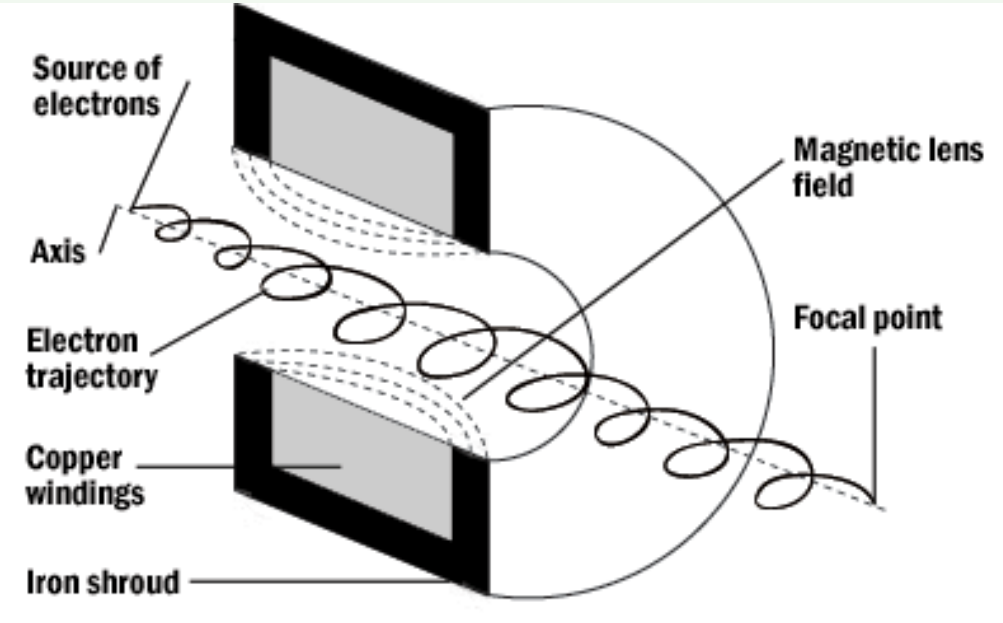
- الکترون های حاصل از فیلمان در اثر حرارت بالا به سرعت به سمت آند شتاب داده می شوند و پرتویی از الکترون ها با انرژی بالا را منتشر می کنند.

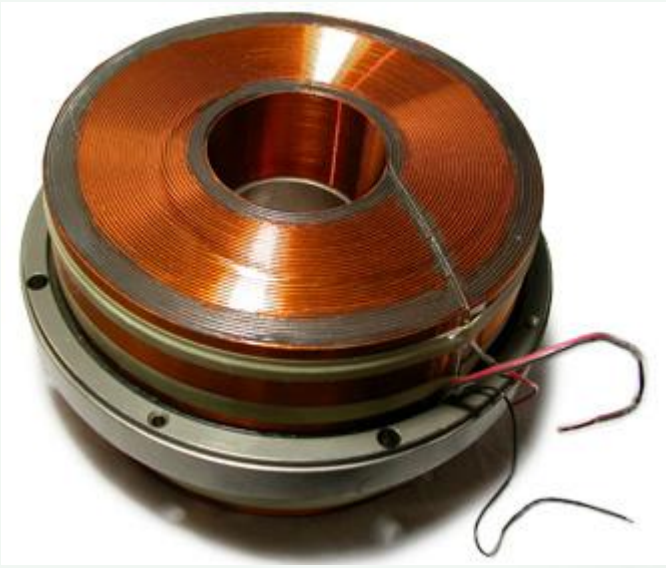
لنزهای الکترومغناطیسی

Electromagnetic Lens

- جهت تمرکز پرتو الکترونی و کاهش قطر آن از لنزهای الکترومغناطیسی استفاده می شود.
- این لنزها شامل یک هسته مغناطیسی نرم که وسط آن سوراخ است و مجموعه ای از سیم پیچ های مسی است که با عبور جریان از این سیم پیچ میدان مغناطیسی در هسته ایجاد می شود.
- الکترون ها با عبور از میان هسته لنز تحت تاثیر میدان مغناطیسی قرار گرفته و به سمت محور لنز همگرا شده و در کانون آن متمرکز می شوند.

لنزهای الکترومغناطیسی



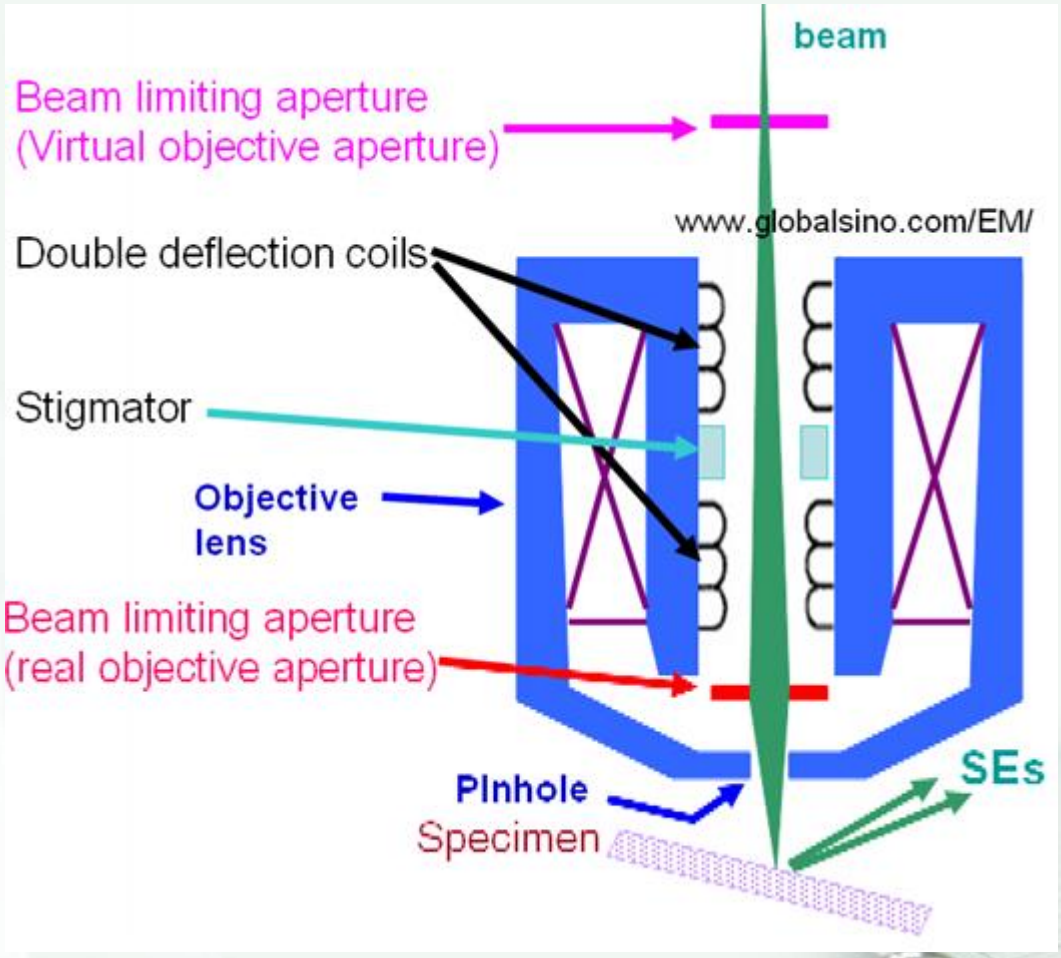


لنز شیئی و روزنه

Objective Lens and Aperture

- لنز شیئی، لنزی است که در مجاورت نمونه قرار دارد و معمولاً قوی ترین لنز میکروسکوپ است.
- برای ایجاد تصویری واضح و با بزرگنمایی مورد نظر و تشکیل الگوهای تفرق مورد استفاده قرار می گیرد.
- روزنه برای کاهش یا تنظیم زاویه نوردهی استفاده می شود و می تواند برای کنترل حد تفکیک، عمق میدان و فوکاس قطر اشعه بکار رود.
- روزنه ها عموماً مدور و داخل یک دیسک فلزی (مولیبدن و پلاتین) قرار گرفته اند.

لنز شیئی و روزنه



پمپ و سیستم خلا

- الکترون ها توسط اتم ها پراکنده شده، لذا جهت جلوگیری از پراکندگی آنها توسط مولکول های هوا یا ذرات ناخالصی (هیدروکربن ها و روغن)، لازم است مجموعه تفنگ الکترونی، لنزها و نمونه، تحت خلاء باشند.

انواع خلاء

- خلاء تقریبی 0/1 - 100 Pa
- خلاء پایین 10^{-1} - 10^{-4} Pa
- خلاء بالا 10^{-4} - 10^{-7} Pa
- خلاء خیلی بالا (بالاتر از 10^{-7} Pa)

پمپ و سیستم خلا

- پمپ های مکانیکی یا چرخشی برای خلاء تقریبی مورد استفاده قرار می گیرند.
- پمپ های چرخشی که به پمپ های پره ای نیز مشهورند، با اعمال فشار روغن بر یک پره خارج از مرکز کار می کنند که با چرخش پره مذکور جابجایی ساده هوا انجام می گیرد.

پمپ و سیستم خلا

- در میکروسکوپ های الکترونی، عموماً ابتدا پمپ های مکانیکی و دیفوزیونی و سپس توربو و یونی برای بخش های مختلف بکار می روند.
- برای خلاء بالا از پمپ های دیفوزیونی، توربومولکولار و یونی استفاده می شود.
- پمپ های یونی عموماً پس از عملکرد نوع دیفوزیونی و کاهش خلاء به کمتر از 10^{-5} تور روشن شده و مستقیما به محفظه تفنگ الکترونی متصل می شوند.

پمپ و سیستم خلا

- پمپ نفوذی مستقیماً در زیر ستون SEM قرار می گیرد و مرحله نهایی ایجاد خلاء را به پشتیبانی پمپ مکانیکی انجام می دهد.

- در پمپ های نفوذی از بخار روغن در ایجاد خلاء استفاده می‌شود که این امر منجر به باقی ماندن مقادیر بخار روغن در محفظه می شود.

پمپ و سیستم خلا

- پمپ های توربومولکولی از اهمیت بالایی برخوردارند، زیرا توانایی بالایی در به حداقل رساندن آلودگی در SEM دارند. این موضوع خصوصاً هنگامی که دقت بالایی در آنالیز عناصر موجود در نمونه نیاز باشد، اهمیت پیدا می کند.