دانشکده مهندسی نساجی – دانشگاه صنعتی اصفهان

ساختمان فیزیکی الیاف

دکتر مصطفی یوسفی

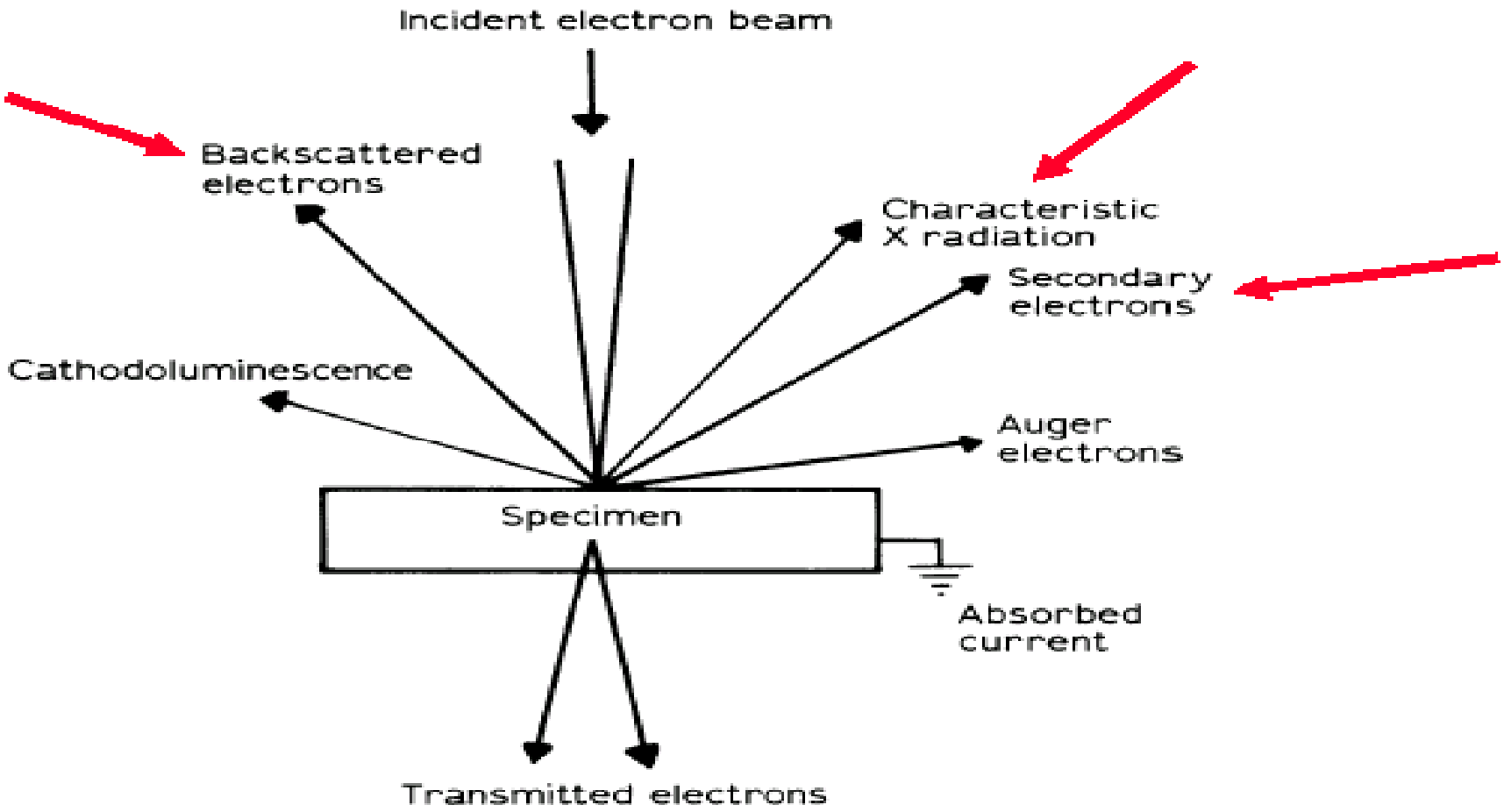
میکروسکوپ الکترونی پویشی

Scanning Electron Microscope

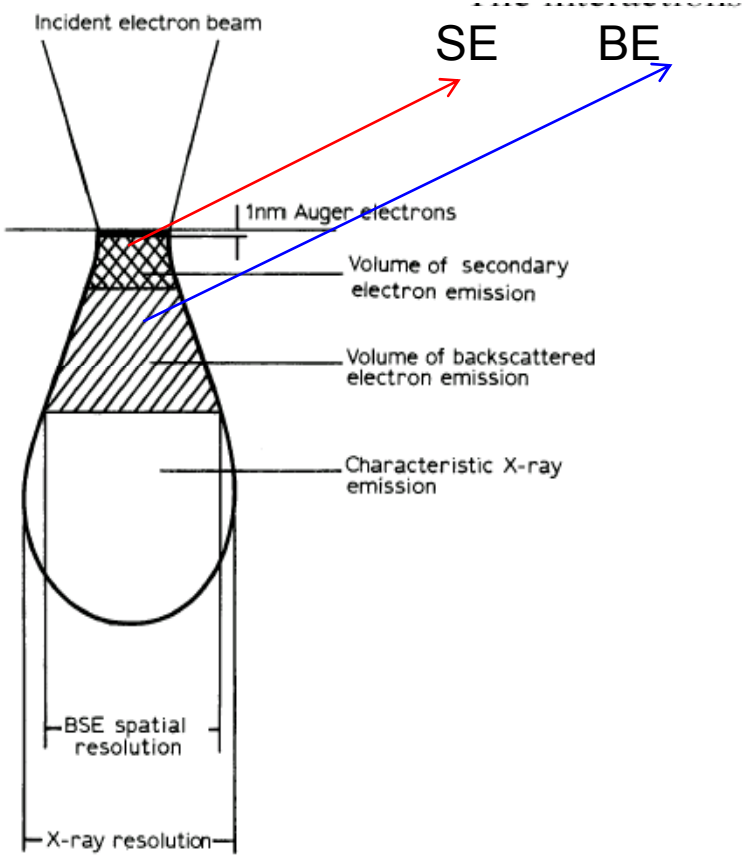
مصطفی یوسفی

دانشکده نساجی دانشگاه صنعتی اصفهان

برخورد پرتو الکترونی با نمونه



برخورد الکترون با نمونه می تواند الاستیک یا غیرالاستیک باشد



Zones in the specimen that are sources of signals generated by the electron beam.

- **برخورد الاستیک :**

✓ **بین الکترونهای برخورد کننده و هسته می باشد.**

✓ **الکترونهای برخورد کننده با زاویه زیادی منحرف میشوند.**

✓ **انرژی هدر رفته کم است.**

- **برخورد غیرالاستیک:**

✓ **بین الکترونهای برخورد کننده والکترونهای لایه های خارجی نمونه می باشد.**

✓ **الکترونهای برخورد کننده با زاویه کمی منحرف میشوند.**

✓ **انرژی هدر رفته زیاد است.**

الکترونهای ثانویه: (secondary electrons- SE)

- از برخورد غیر الاستیک ناشی می شوند.
- انرژی آنها فقط 3-5ev می باشد.
- به آسانی جمع آوری (detect) می شوند.
- بیشترین عمق گریز (escape date)در فلزات ۵ نانو متر و درمواد عایق ۵۰ نانو متر می باشد.

الکترونهای منعکس شده: (backscattered electrons- BSE)

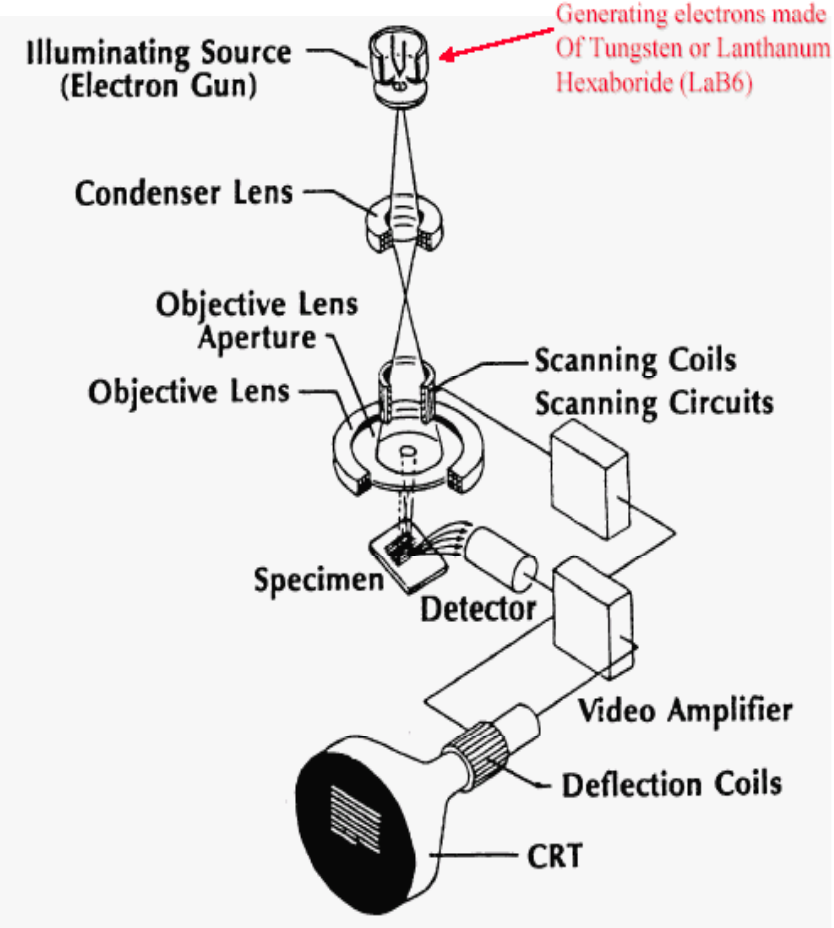
- از برخورد الاستیک ناشی می شوند.
- انرژی الکترونهای BSE حدود ٪۸۰-۶۰ ٪ انرژی الکترونهای اولیه است.
- به دتکتور های مخصوص برای آشکارسازی الکترونهای BSE نیاز است.
- بیشترین عمق گریز (escape date) با عدد اتمی رابطه عکس دارد. دامنه تغییرات آن از کسری از میکرومتر تا چند میکرومتر می باشد. عدد اتمی بیشتر عمق گریز بیشتر.

←

اشعه ایکس: (X-ray)

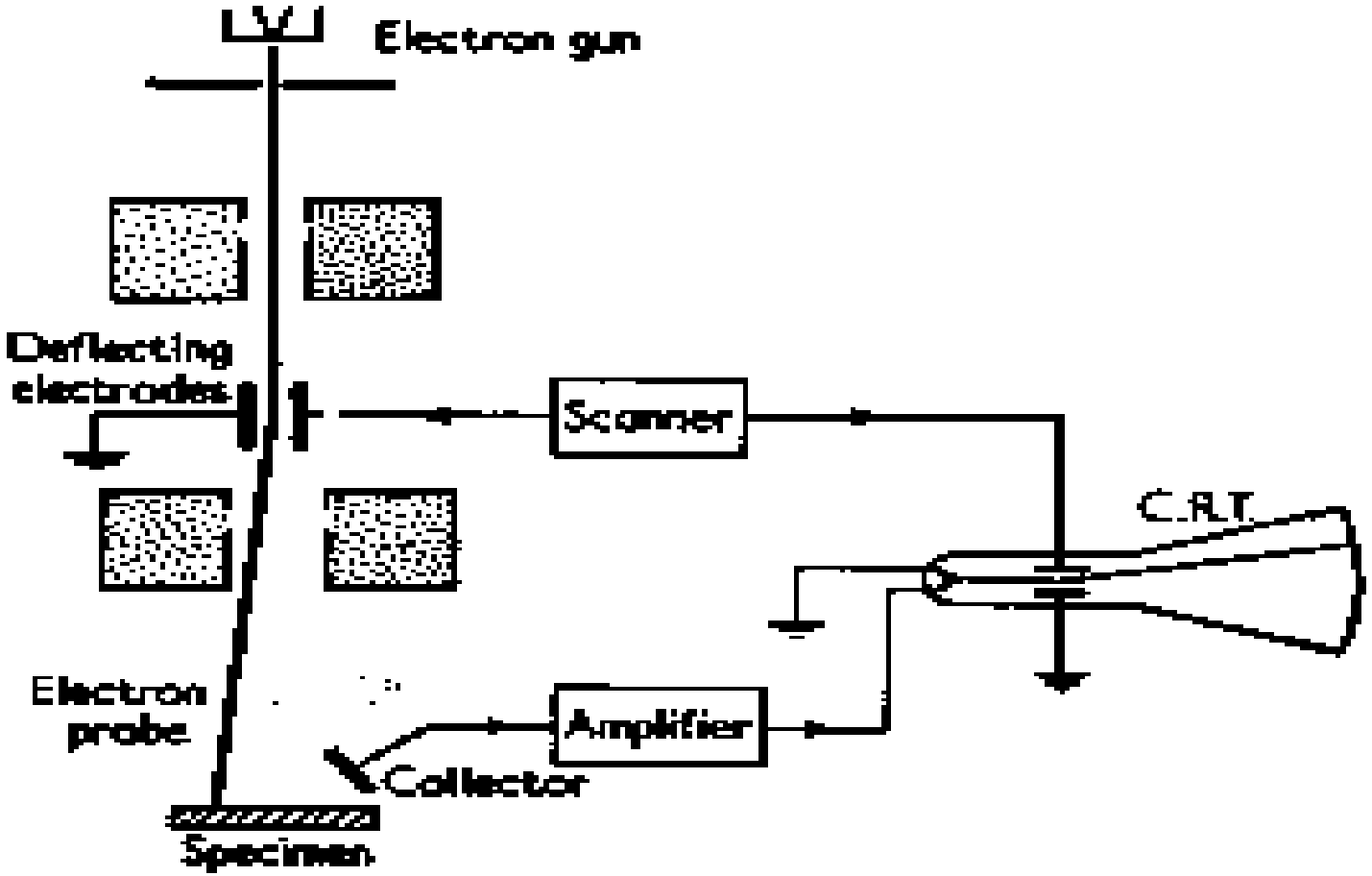
- دارای عمق گریز (escape date) بالا به علت مشکل بودن جذب می با شد.
- از انرژی و طول موج اشعه ایکس می توان برای آنالیز شیمیایی استفاده کرد:

energy-dispersive spectroscopy, EDS,
wavelength-dispersive spectroscopy, WDS



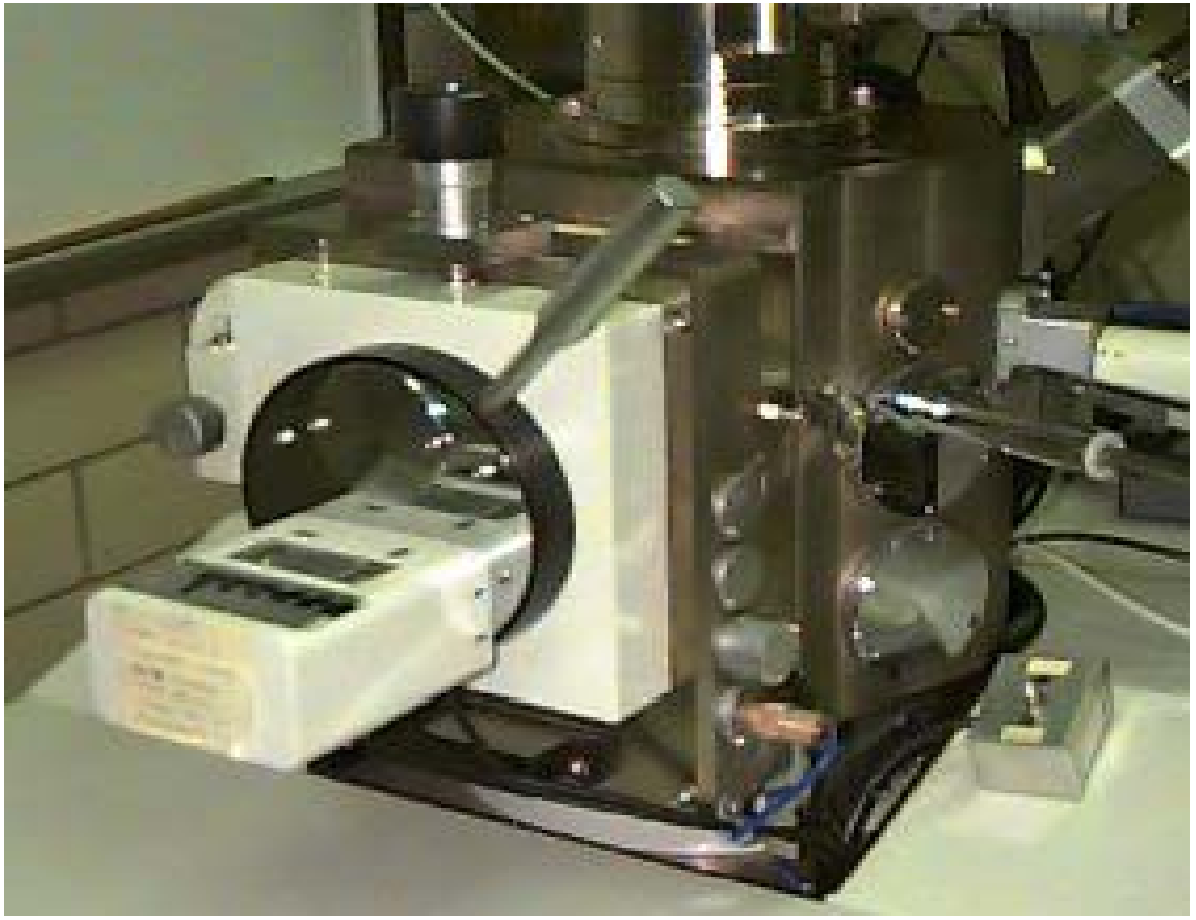
پرتو الکترونی تولید شده توسط تفنگ الکترونی به وسیله دو عدسی متمرکز کننده بر روی سطح نمونه کانونی می شود. عدسی دوم که معمولا شیئی نامیده می شود پرتو الکترونی را به صورت بسیار باریک با قطر ۱۰-۲۰ نانومتر در می آورد. قسمت ایجاد کننده پویش(scannin coils)باعث پویش این پرتو بر سطح نمونه می شوند. الکترونهای SE و BSE که ازسطح نمونه منعکس می شوند توسط دتکتور جمع آوری و سپس بر روی لامپ تصویر تشکیل تصویر می دهند.

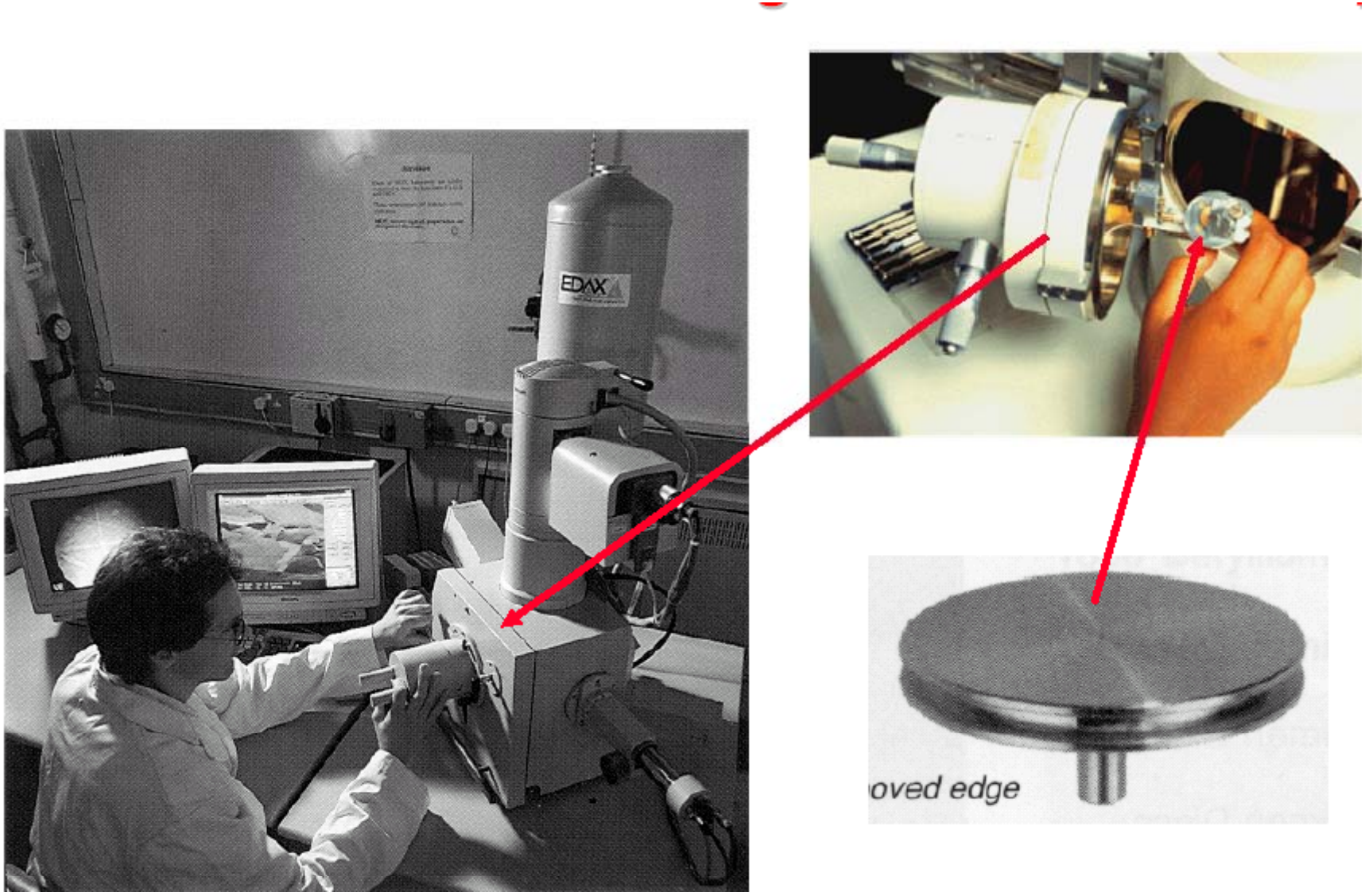
SEM


Electron gun
Deflecting electrodes
Scanner
C.R.T.
Electron probe
Amplifier
Collector
Specimen

SEM Microscope

محفظه قرار گیری نمونه




EDAX
oved edge

مشخصات میکروسکوپ SEM

- **بزرگنمائی: نسبت سطح پویش شده به سطح نمایش داده شده**
  - ✓ در بیشتر میکروسکوپها= X ۱۰۰-۲۰۰.۰۰۰ یا بیشتر
  - ✓ بزرگنمائی مفید = حدود X ۲۰.۰۰۰
- **قدرت تشخیص: کوچکترین فاصله بین دو نقطه که بصورت دو نقطه مجزا قابل تمایز و تشخیص است.**
  - ✓ حد تئوری قدرت تشخیص= ۵۰ آنگستروم (۵ نانومتر)
  - ✓ قدرت تشخیص عملی = ۲۰۰ آنگستروم (۲۰ نانو متر)

قدرت تشخیص میکروسکوپ الکترونی پویشی در درجه اول بستگی به قطر پرتو الکترونی دارد.
برای اینکه دو نقطه با فاصله d از هم تشخیص داده شوند قطر پرتو باید کمتر از d باشد.

- **تباین (contrast)** نسبت اختلاف شدت سیگنال دو نقطه از نمونه به شدت متوسط سیگنال می باشد.

- **تباین سطحی(*Topographic Contrast*)** عمدتا" توسط سیگنال حاصل ازالکترونهای ثانویه به وجود می آید که ازسطح نمونه می آیند. الکترونهای ثانویه میتوانند ازسطح بیشتر مواد ازعمق حد اکثر ۵ نانومتر فرار کنند.

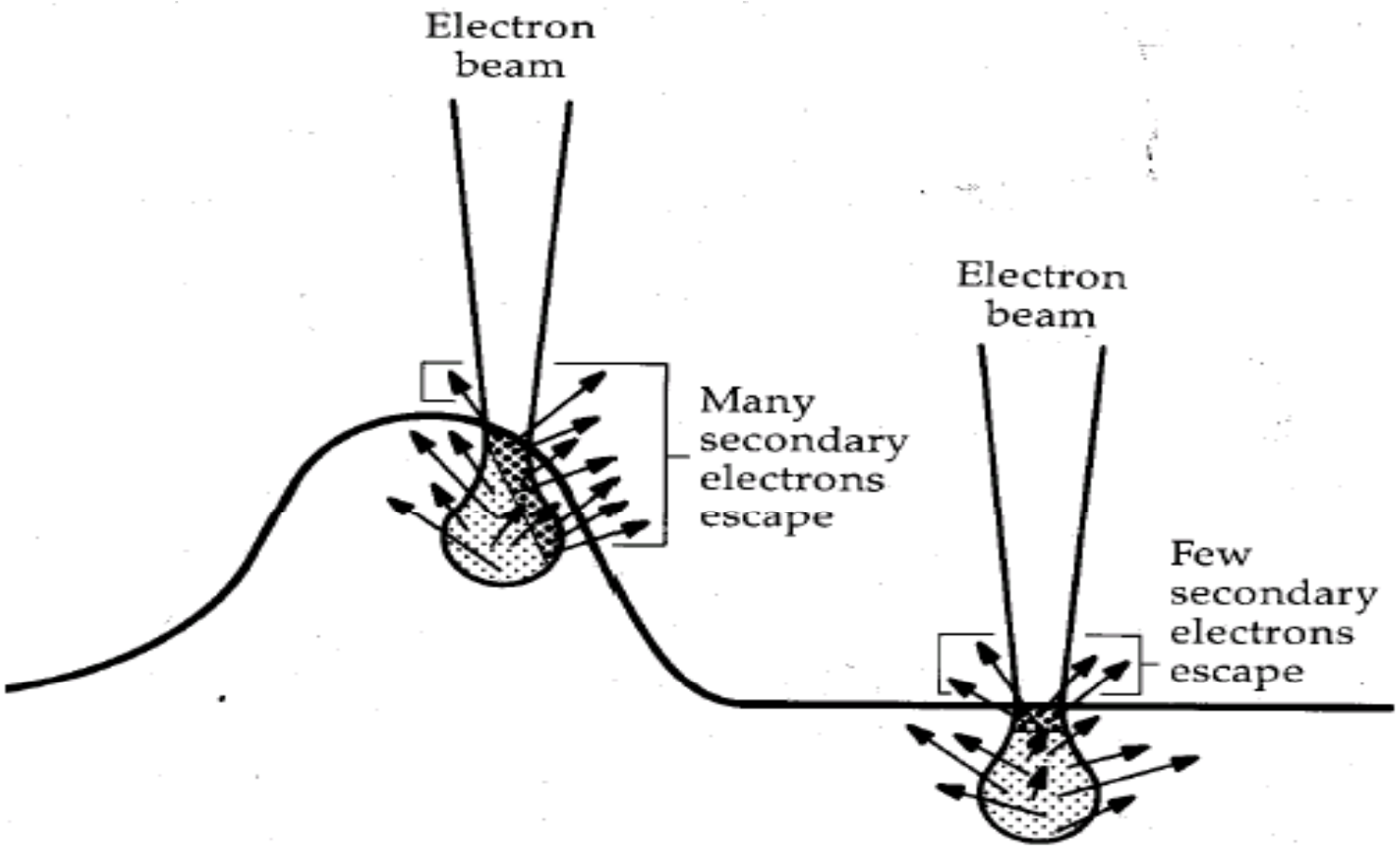
- **تباین ترکیبی (*Compositional Contrast*)** عمدتا" توسط سیگنال حاصل ازالکترونهای BSE به وجود می آید و تغییرات در عدد اتمی نمونه را (هسته اتمهای تشکیل دهنده نمونه) نشان می دهد.

  عدد اتمی بیشتر ⟵ الکترونهای BSC بیشتر

  در سطوح صاف فقط از تباین ترکیبی استفاده میشود.

SE image: Provide topographic contrast

تصویر حاصل از SE: تباین سطحی



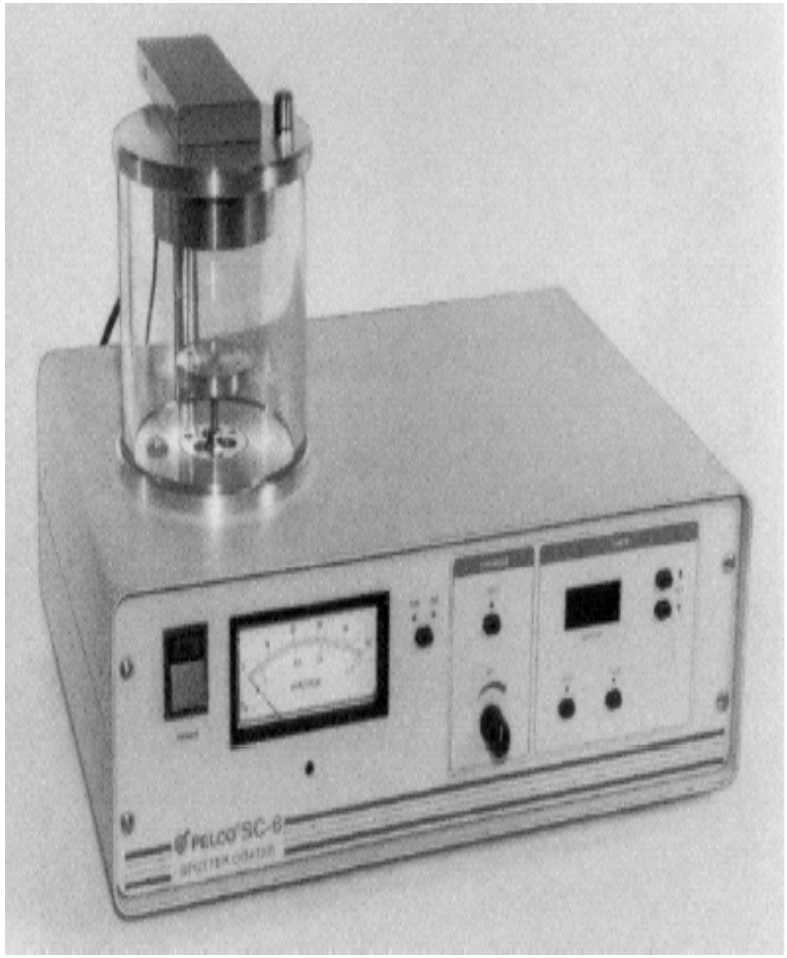
تهیه نمونه در میکروسکوپ الکترونی پویشی

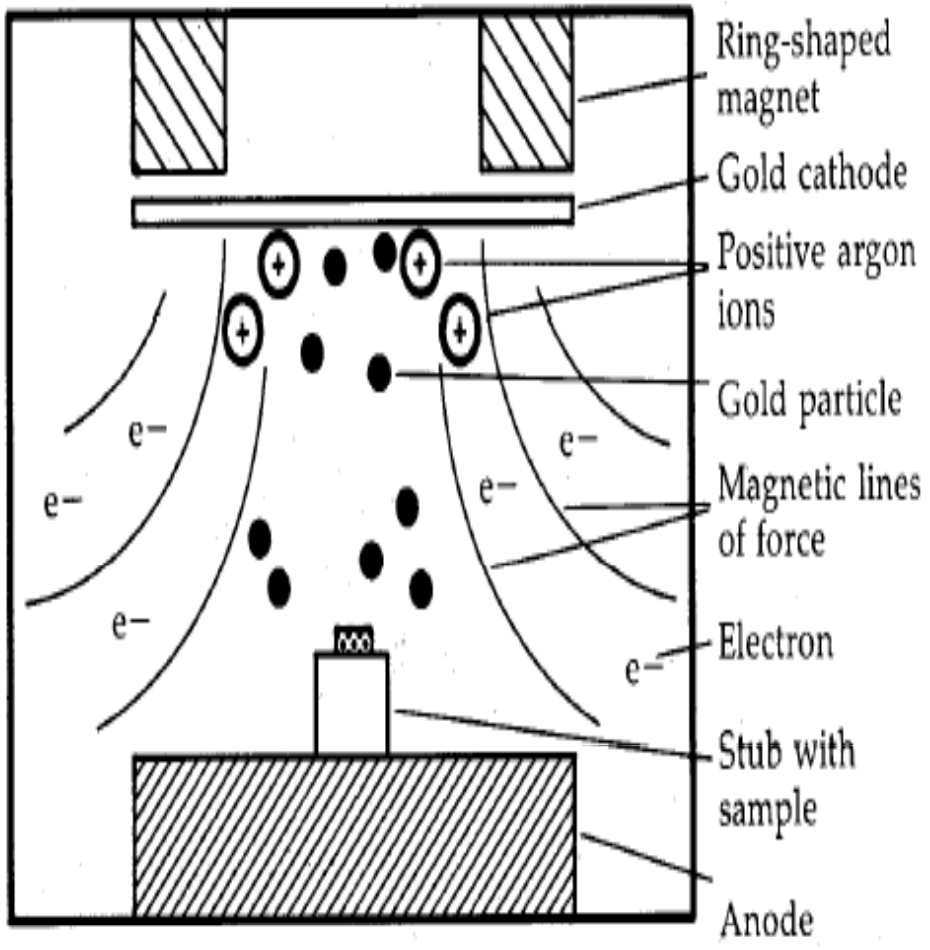
- هادی جریان ---- آماده
- عایق ها ..... روکش دهی

– روش تبخیر فلز هادی Evaporating technique
– کندن و نشاندن Sputtering technique

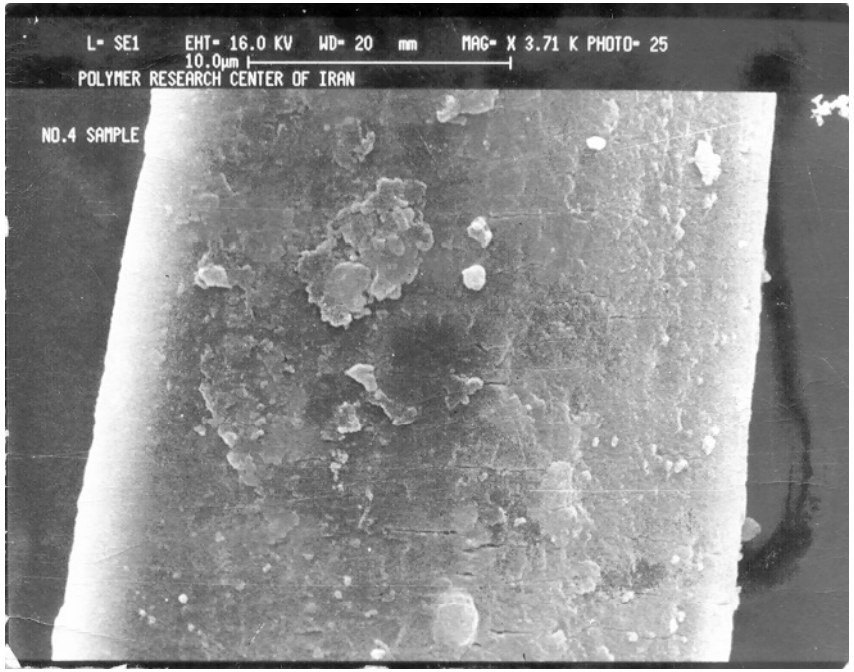
Sputtering a thin gold or carbon layer (~ 10 nm) on a specimen surface can improve the conductivity of specimens. Also you need ensure the conductive layer connected to the base of specimen holder.

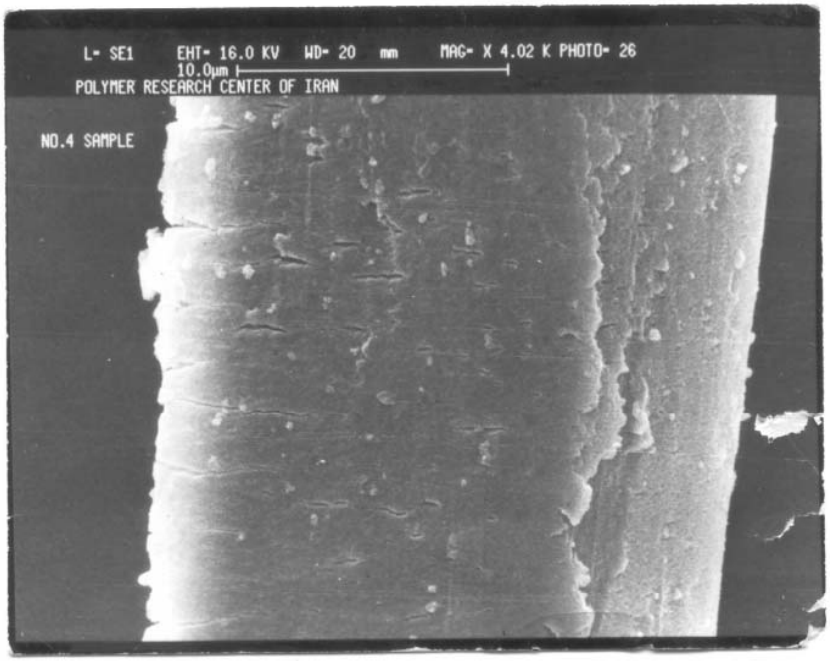
Sputtering Equipment





Examples of SE Images:

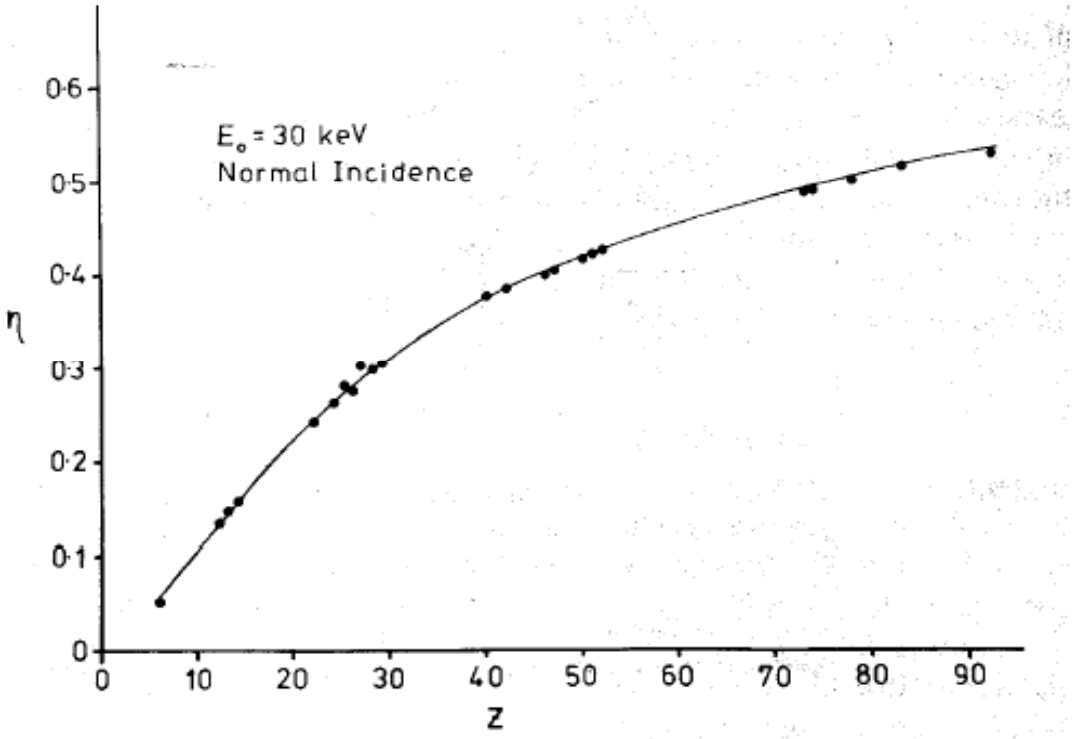




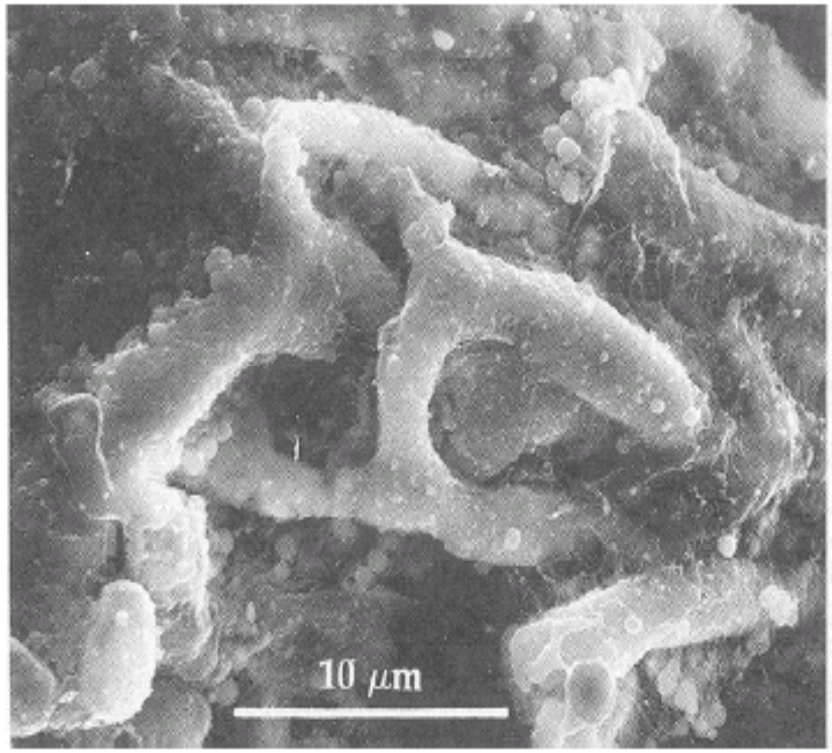
یک لیف پشم گره خورده

Physical Origin of BSE Contrast

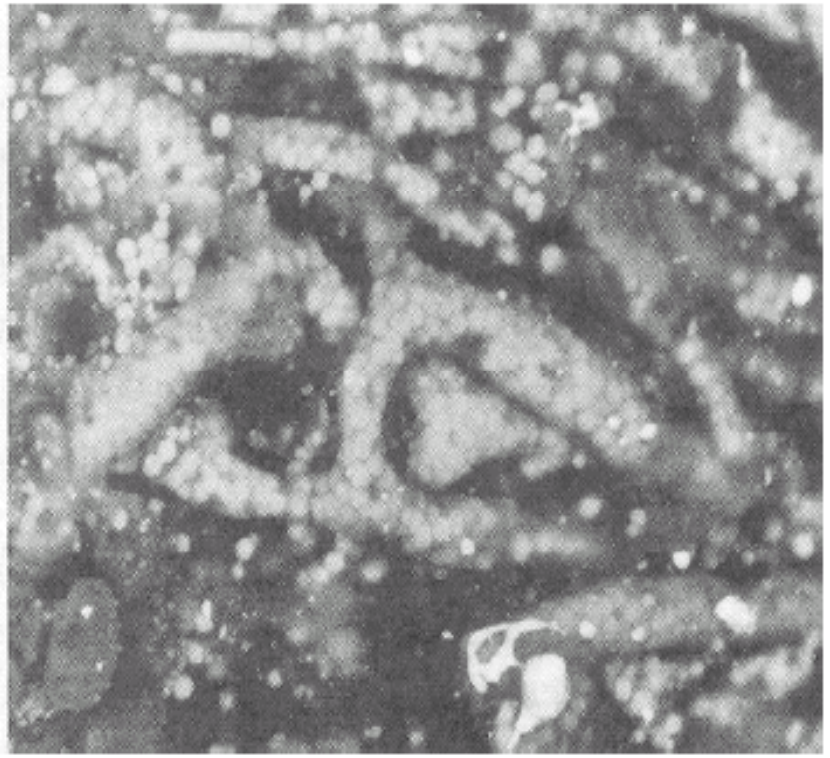
---The backscattering coefficient η increases with increasing atomic number Z.



BSE image: Provides the atomic number contrast
(also lower resolution of topographic contrast).



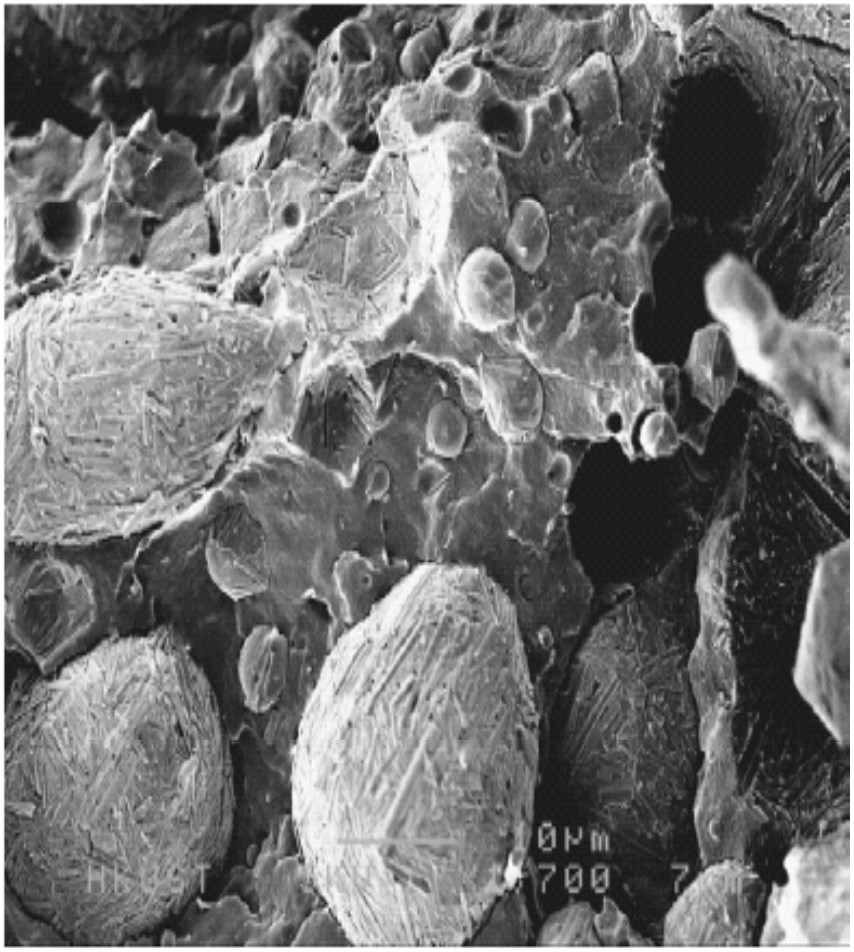
SE image of fungal hyphae



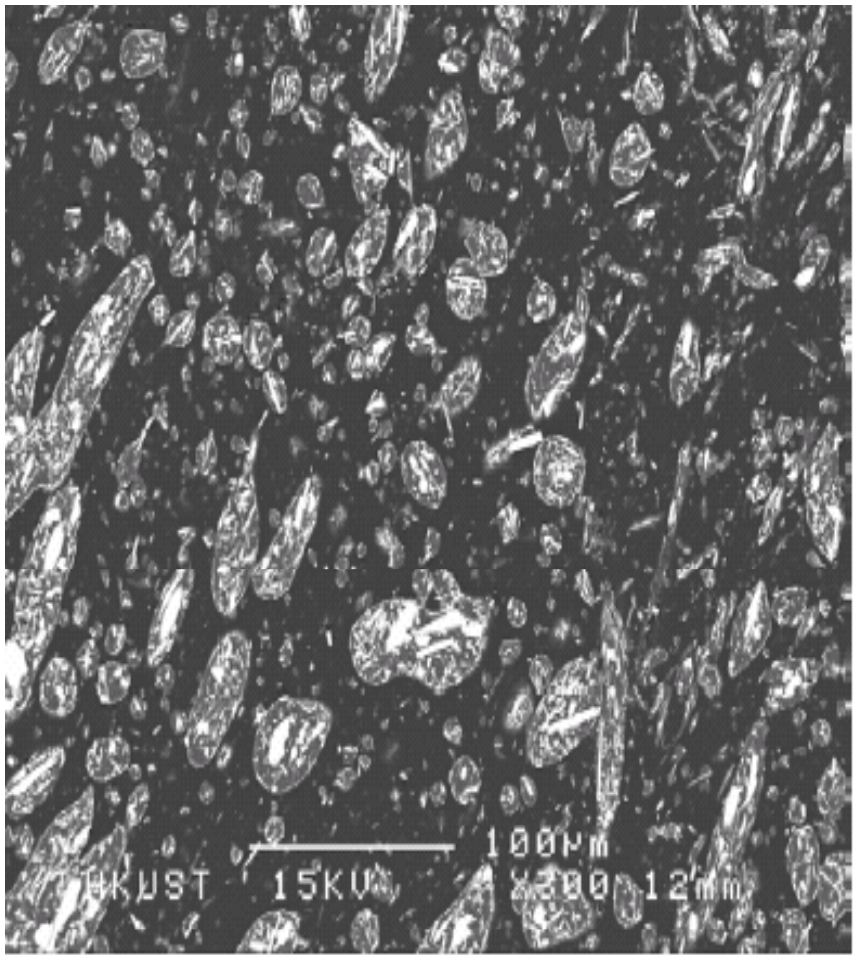
BSE image of fungal hyphae

Comparison of SE and BSE Images

SE Image



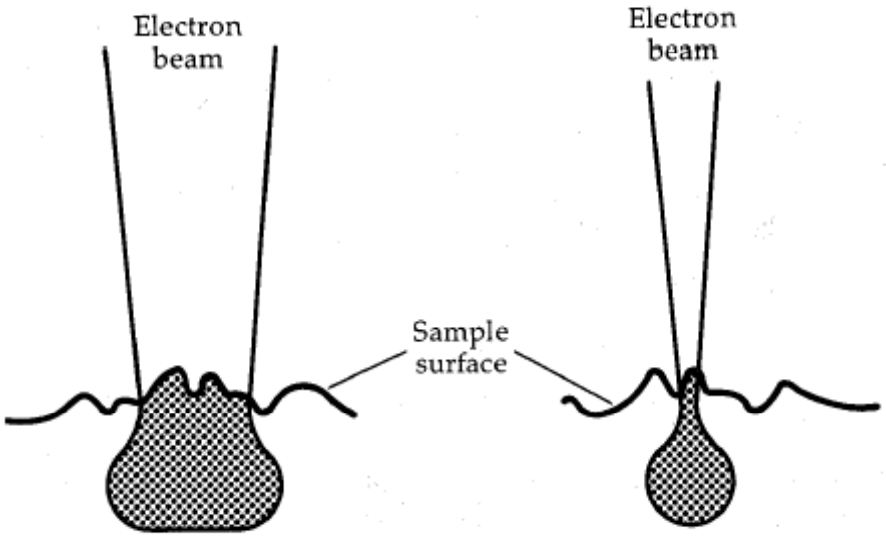
BSE IMAGE



روشهای بهبود قدرت تفکیک (resolution) درSEM

- کاهش قطر پرتو الکترونی
- استفاده از ولتاژ مناسب
- تغییر زاویه برخورد پرتو
- افزایش جریان پرتو
- بهترین تفکیک (resolution) برای SE ۵ نانومتر و برای BSE ۲۵ نانومتر می باشد
- افزایش زمان برخورد که منجربه افزایش بازتاب الکترونها می شود
- کاهش خطای عدسی ها

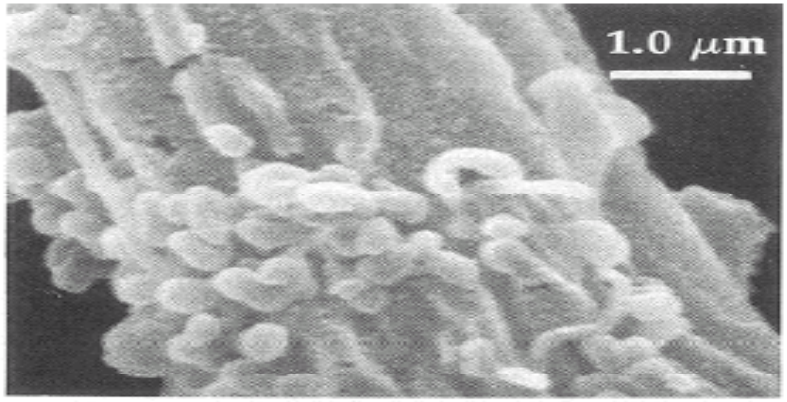
کاهش قطر پرتو



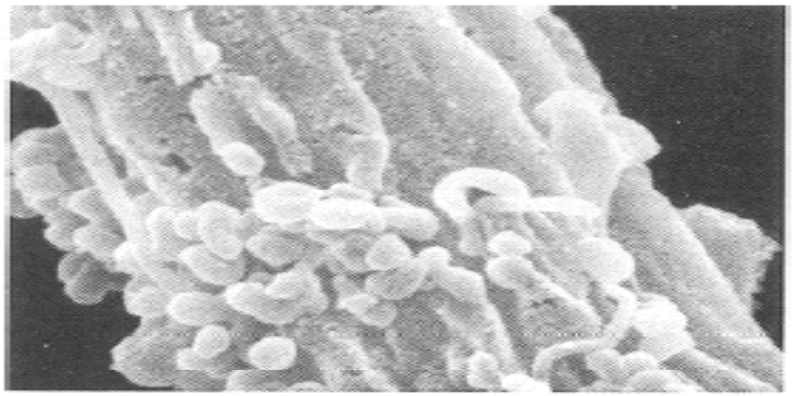
قطرحداقل قطر پرتو تابعی از طول موج پرتو الکترونی و ضریب خطای کروی عدسی (Cs) می باشد.

$$d_{\min} = 1.29\lambda^{3/4} C_s^{1/4}$$

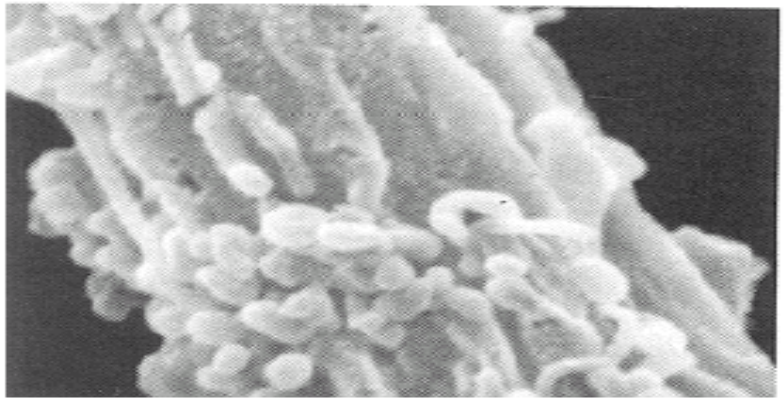
تصاوير زير اثر قطر پرتو را بر كيفيت تصوير نشان مي دهند



A



B



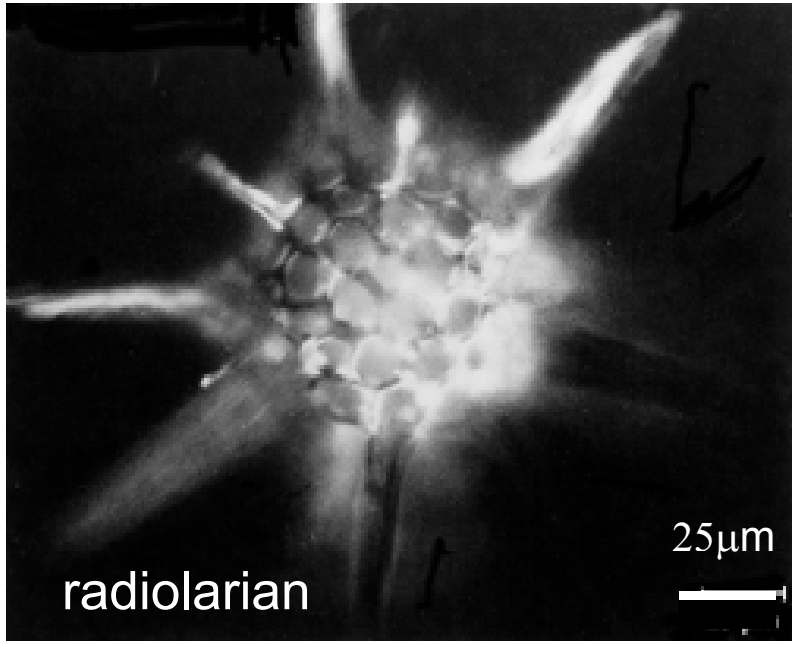
C

A) using smallest spot,

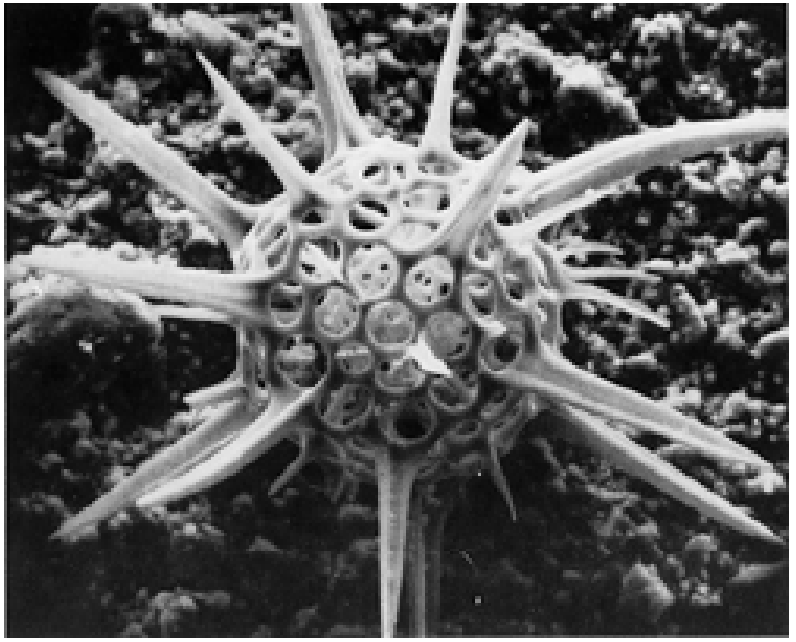
B) using a slightly larger size of spot

C) using a large size of spot

Optical Microscopy vs Scanning Electron Microscopy



OM



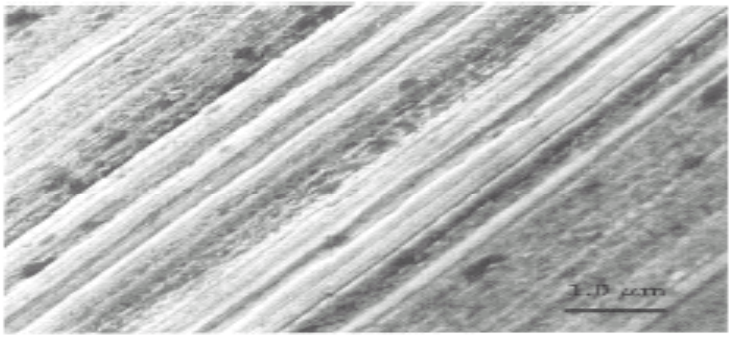
SEM

Small depth of field
Low resolution

Large depth of field
High resolution

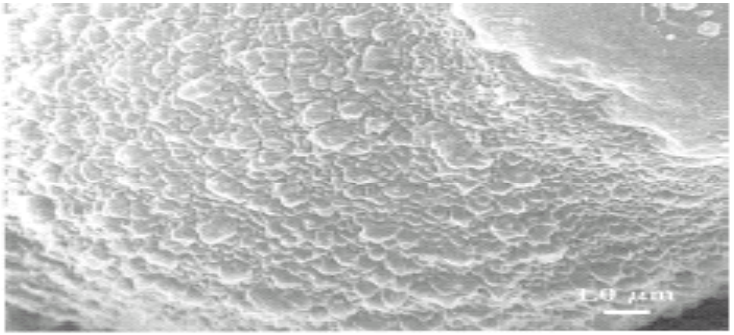
اثر ولتاژ شتاب دهنده بر resolution

برای نمونه های پلیمری وبیولوژیکی باید از ولتاژ کمتری استفاده شود



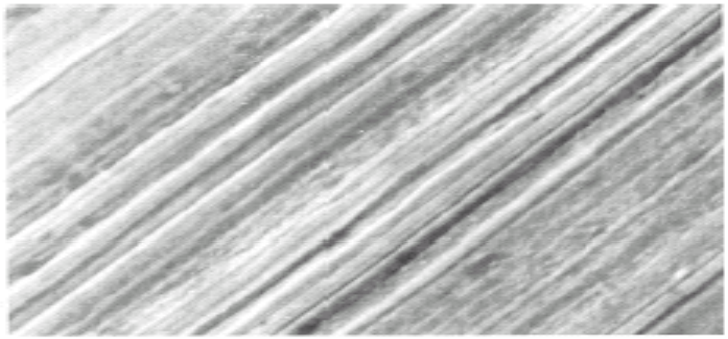
A

Pure gold at a 35-keV



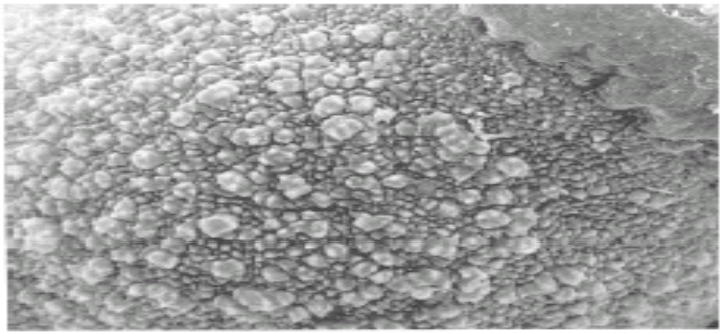
C

Red-oak pollen at 35-keV



B

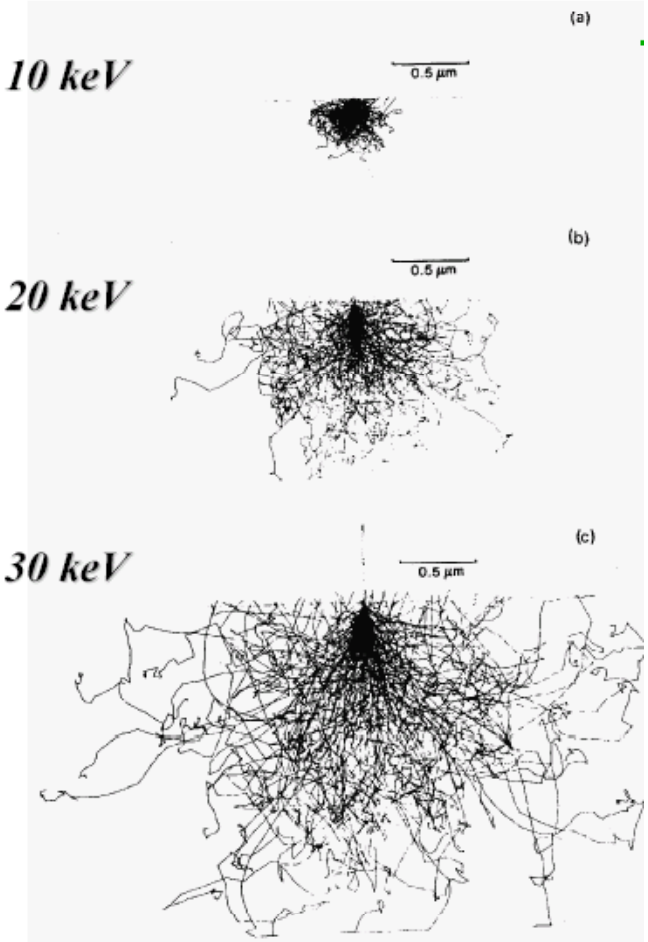
Pure gold at a 10-keV



D

Red-oak pollen at 10-keV.

اثر ولتاژ شتاب دهنده بر resolution



- ولتاژ بیشترالکترونهای با طول موج کمتر تولید میکند
  تفکیک بهتر ←——

- ولتاژ بیشتر باعث افزایش حجم برخورد الکترونها و نمونه می شود ←——تفکیک بدتر

Effect of Electron Beam Angle on Resolution

زاویه کمتر پرتو باعث افزایش حجم برخورد الکترونها و نمونه و درنتیجه کاهش resolution می شود.