

Pásztázó elektronmikroszkóp

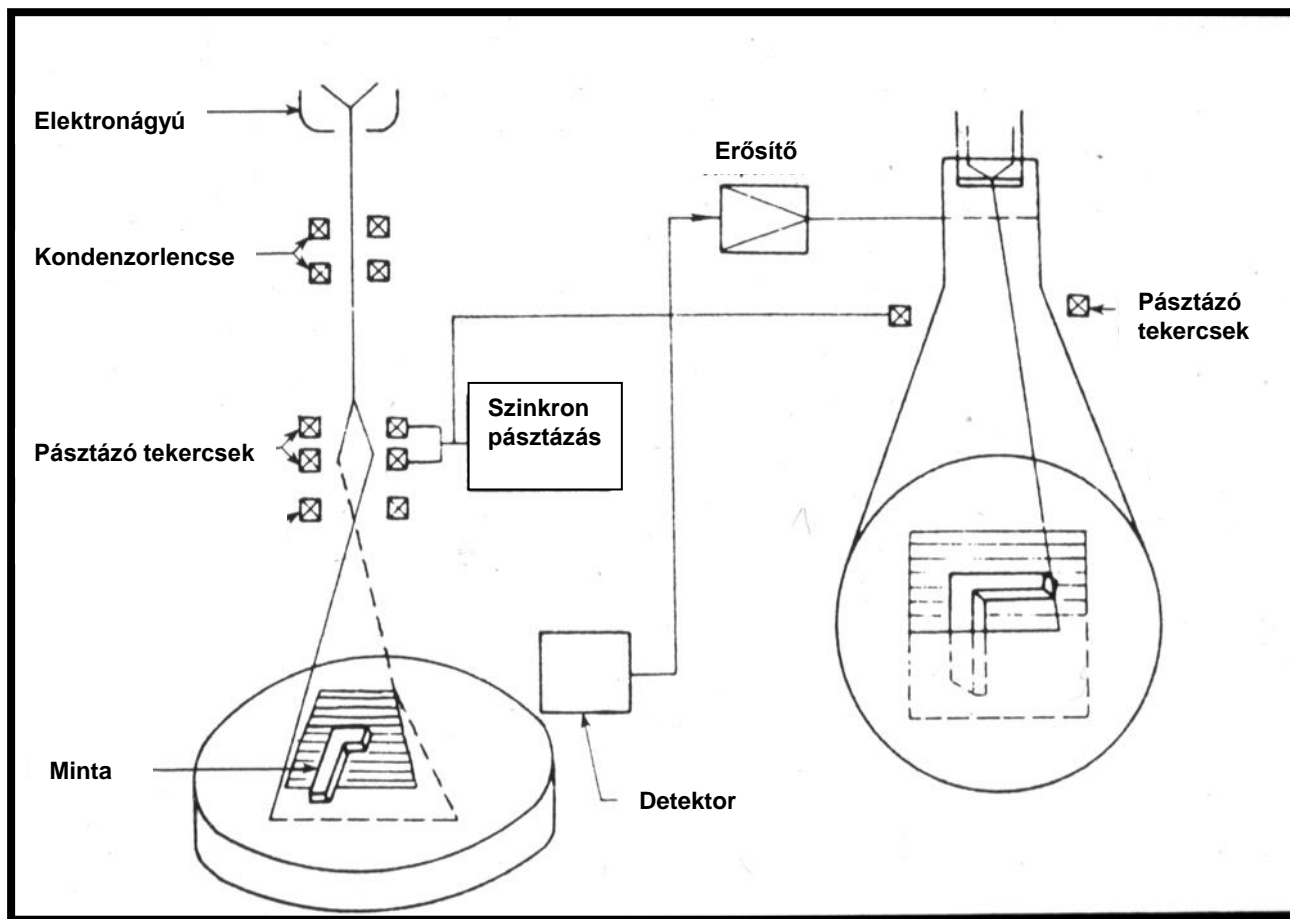
Scanning Electron Microscope (SEM)

Rasterelektronenmikroskope (REM)

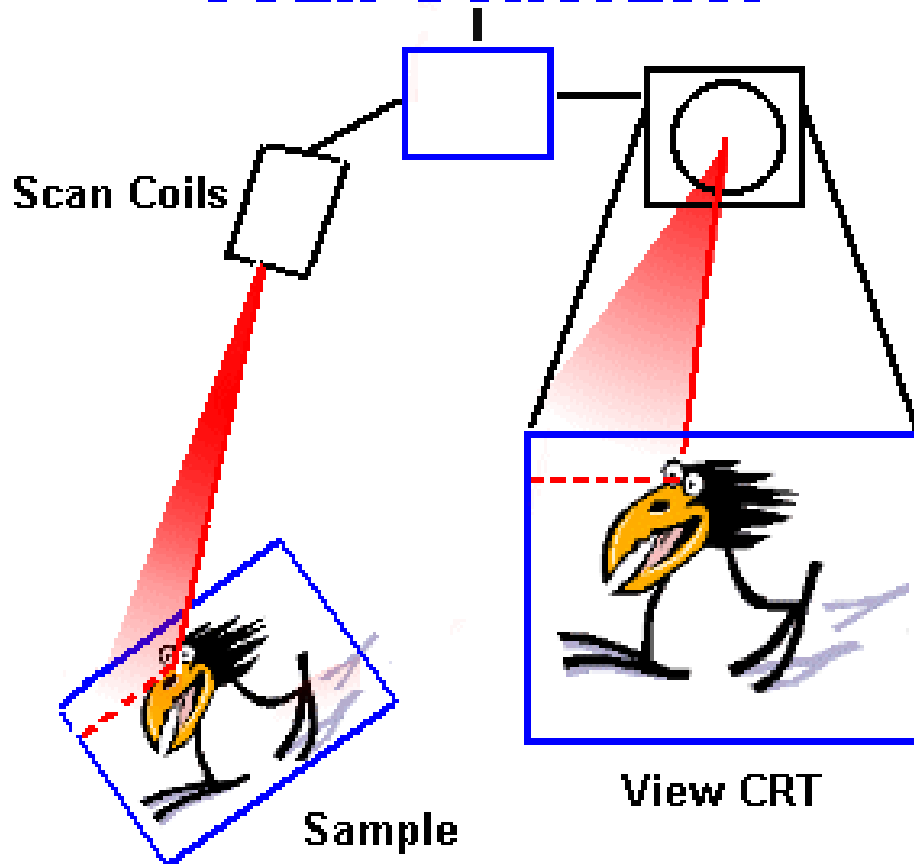
Alapelv

- Egy elektronágyúval vékony elektronnyalábot állítunk elő.
- Ezzel pásztázzuk (eltérítő tekercsek segítségével) a minta felszínét.
- A válaszként kilépő jelek intenzitásával moduláljuk egy szinkronban pásztázó katódsugárcső képét.

Szinkron pásztázás



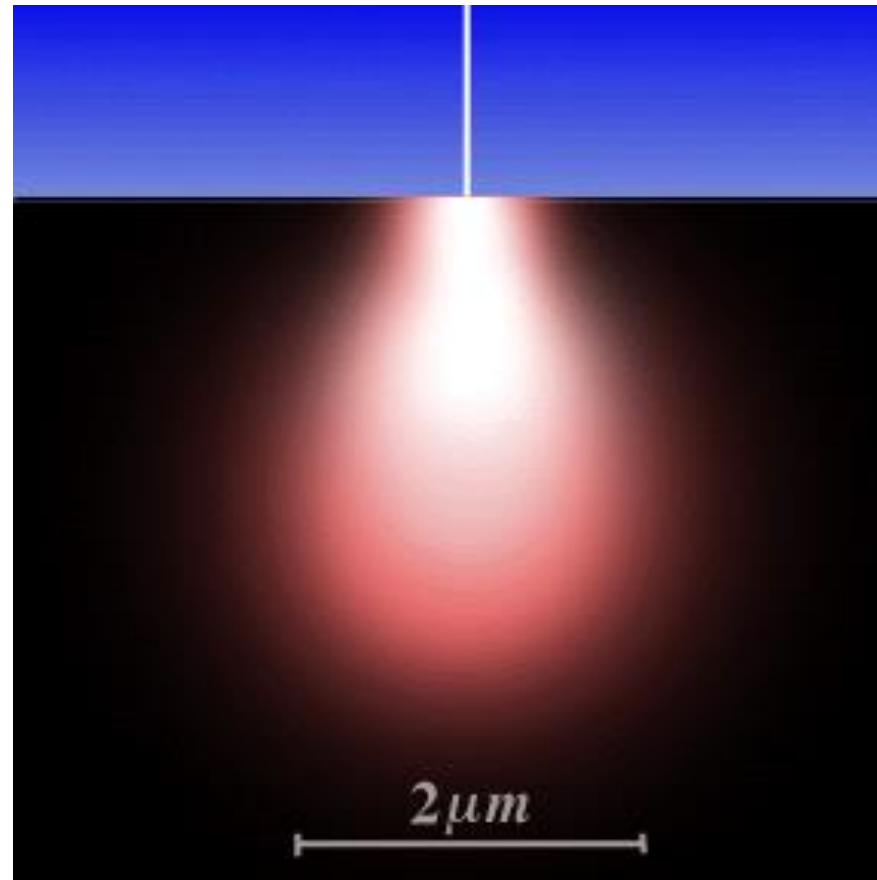
Scan Generator



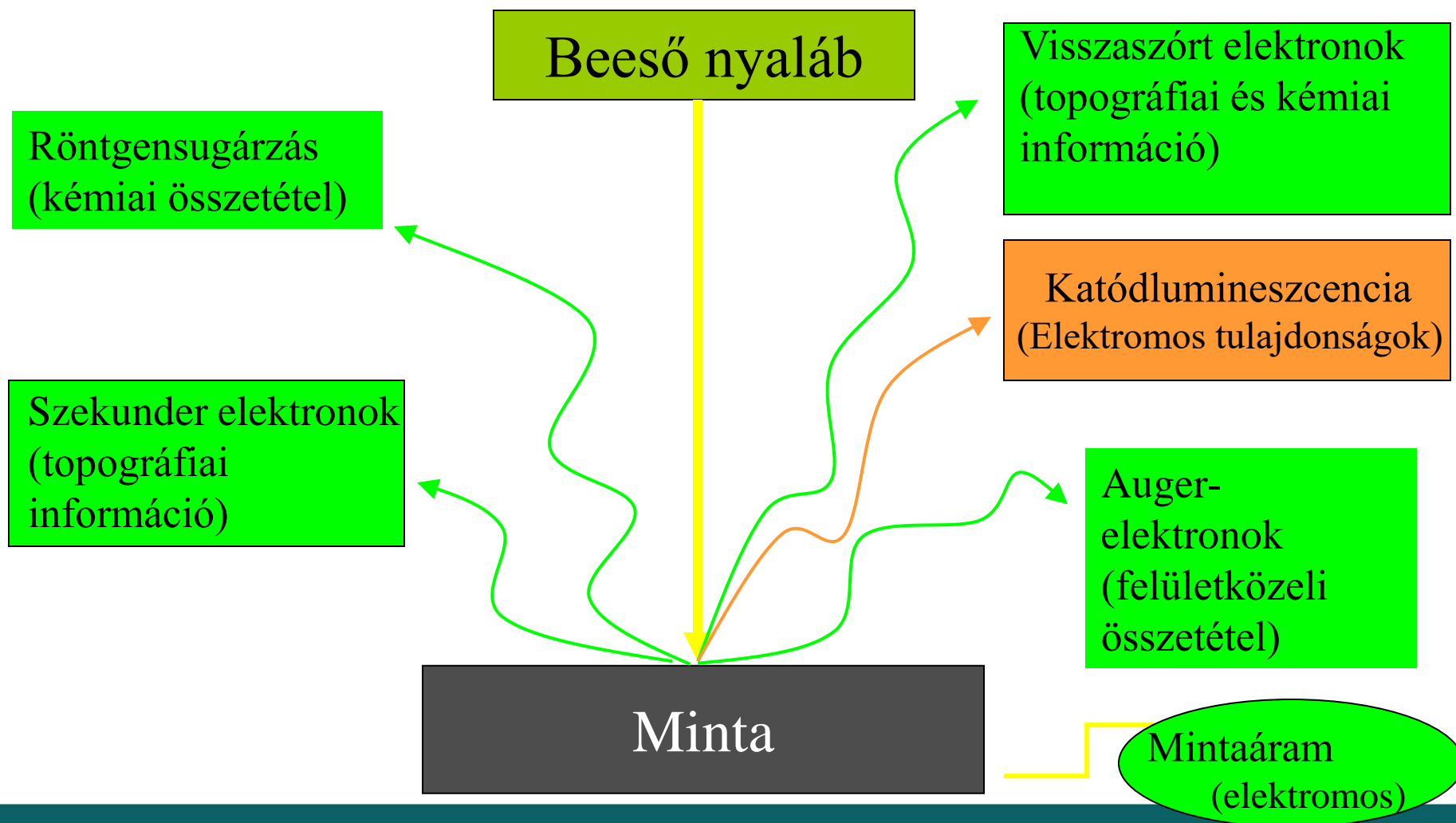
A pásztázó generátor szabályozza azt, hogy a minta felületén mekkora területet pásztázzunk, így meghatározza a nagyítást.

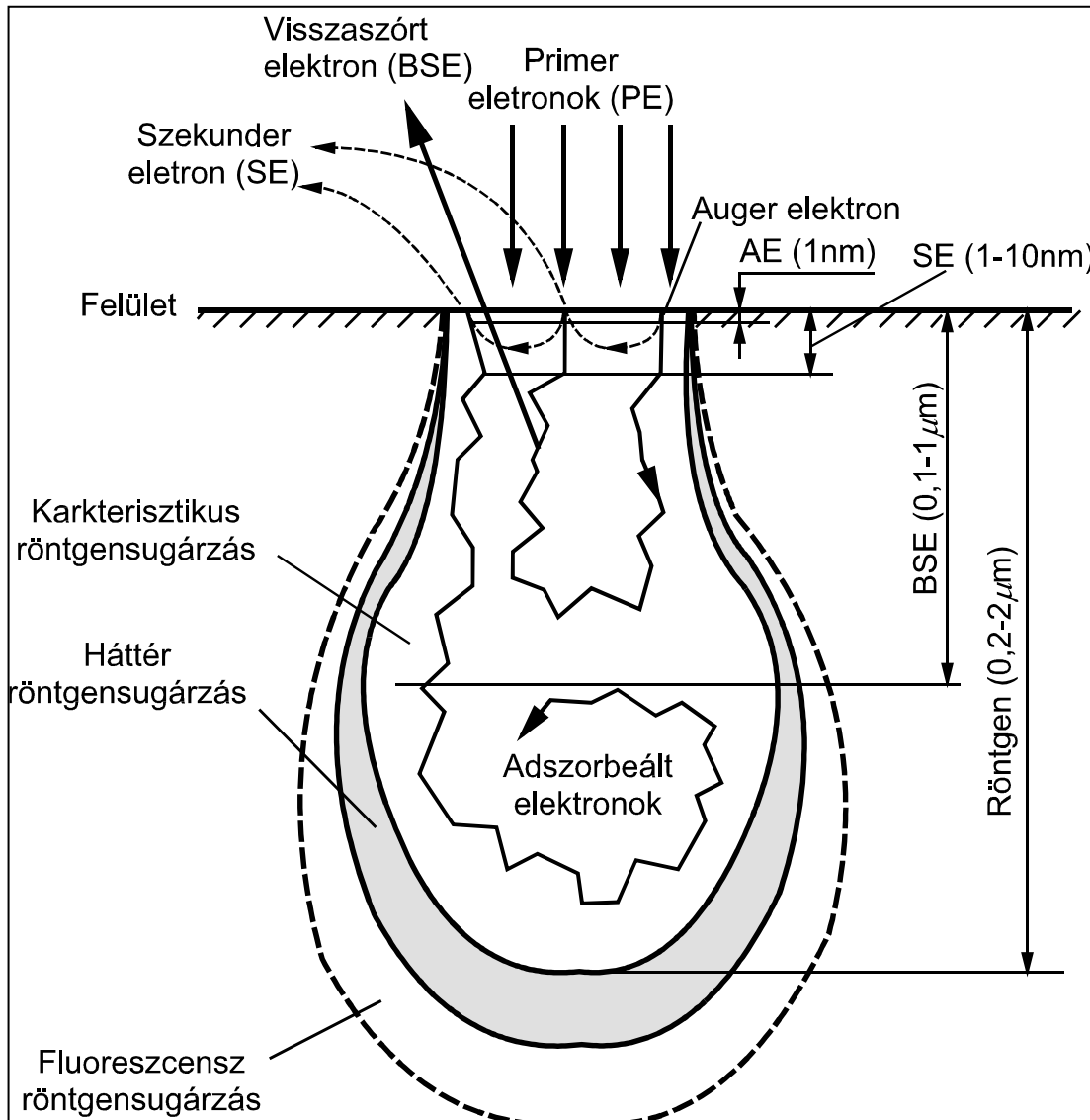
Nincs hagyományos értelemben vett „lencsés” képalkotás!

Elektron-anyag kölcsönhatás



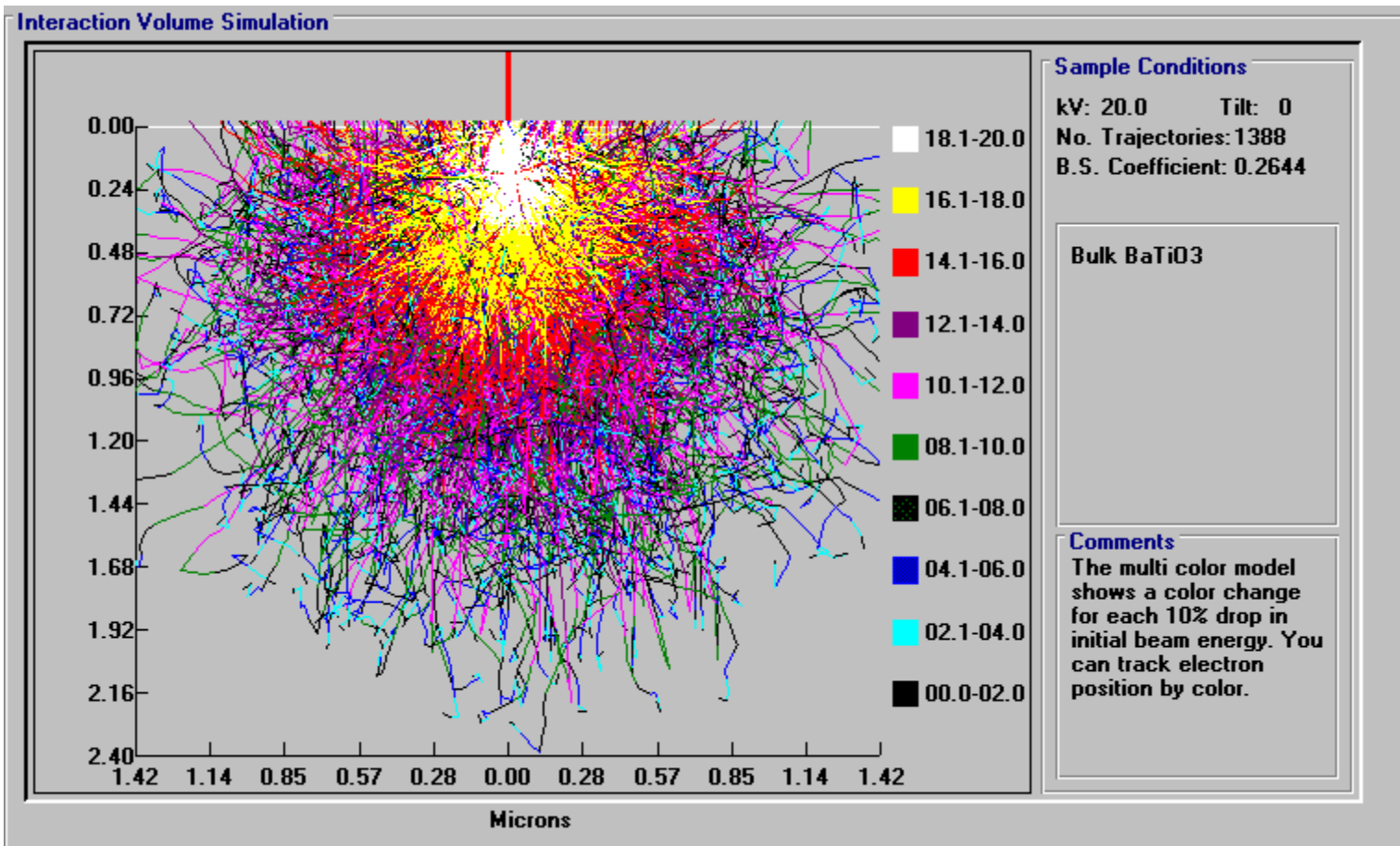
Elektron-anyag kölcsönhatás





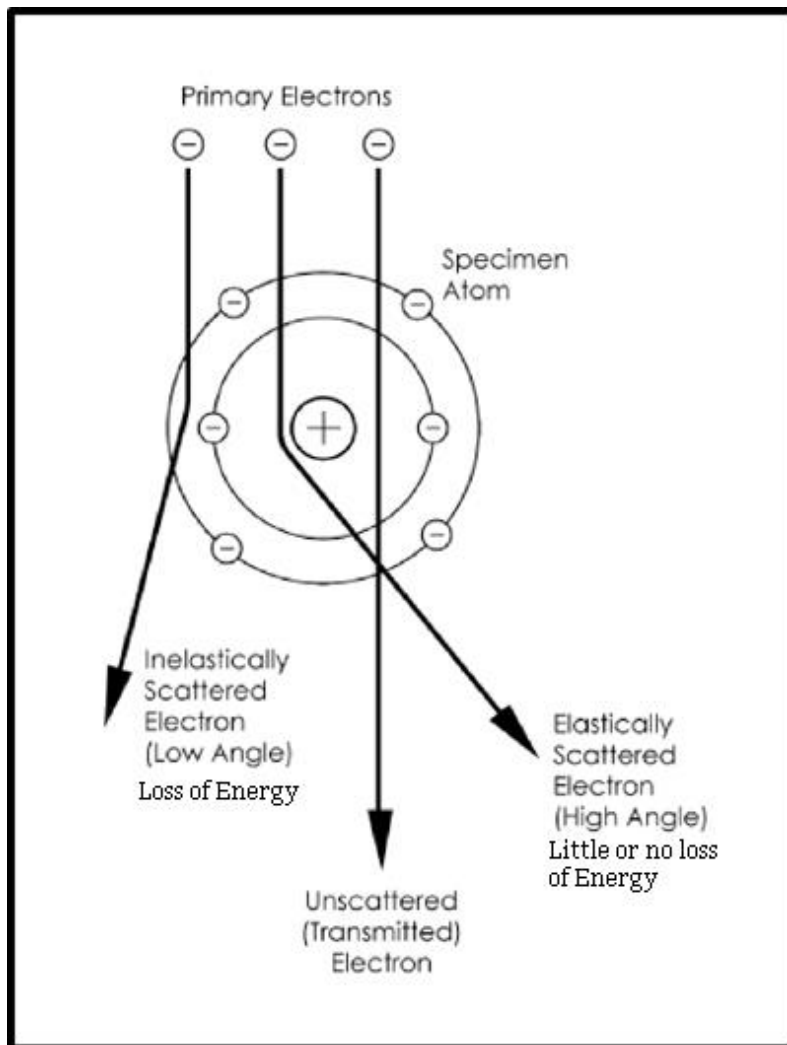
Kölcsönhatási térfogat – információs térfogat

Monte Carlo szimuláció



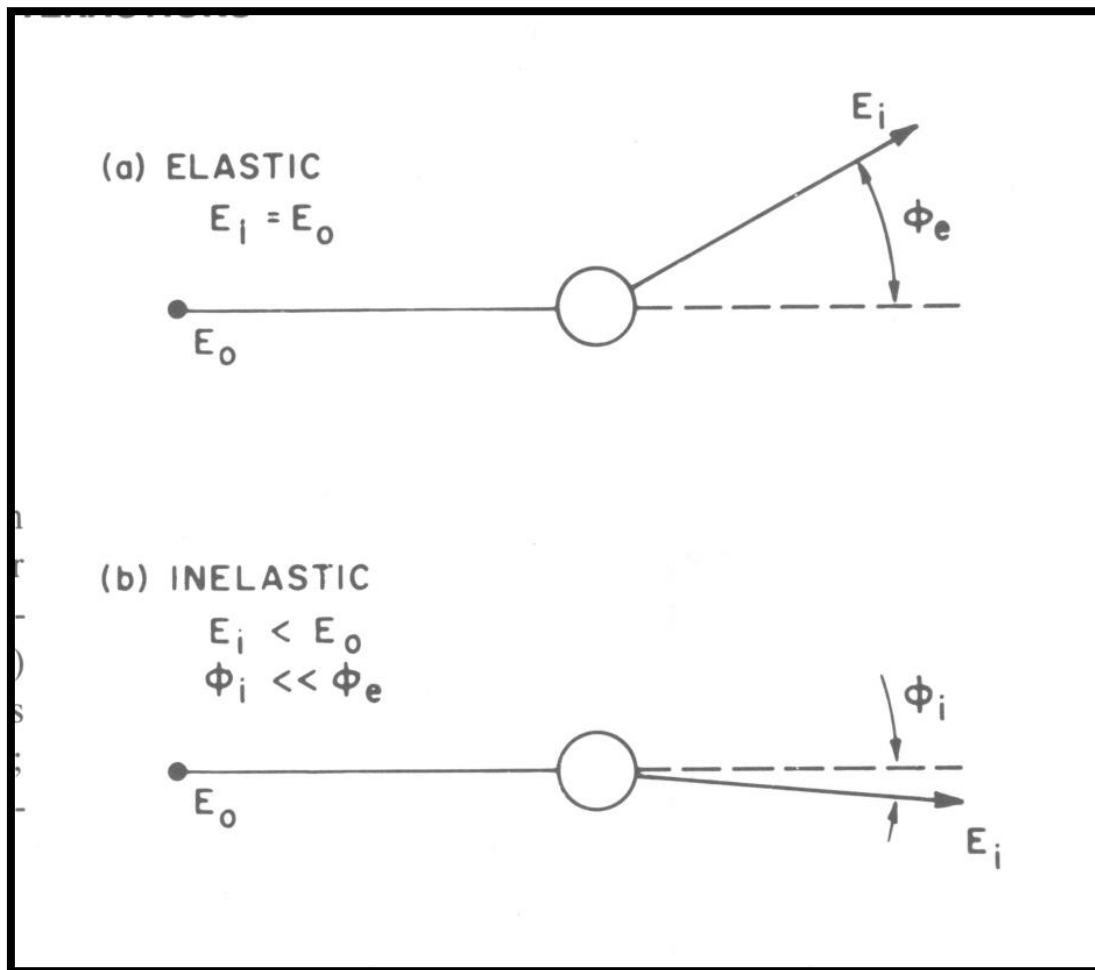
Monte Carlo szimuláció

- primer elektronnyaláb energiája
- kölcsönhatás valószínűsége
- ütközés utáni energia és irány
- elektron szabad úthossz
- „random” faktor



A primer elektronok lehetséges kölcsönhatásai a minta atomjaival:

- kölcsönhatás nélküli áthaladás
- rugalmas szórás
- rugalmatlan szórás



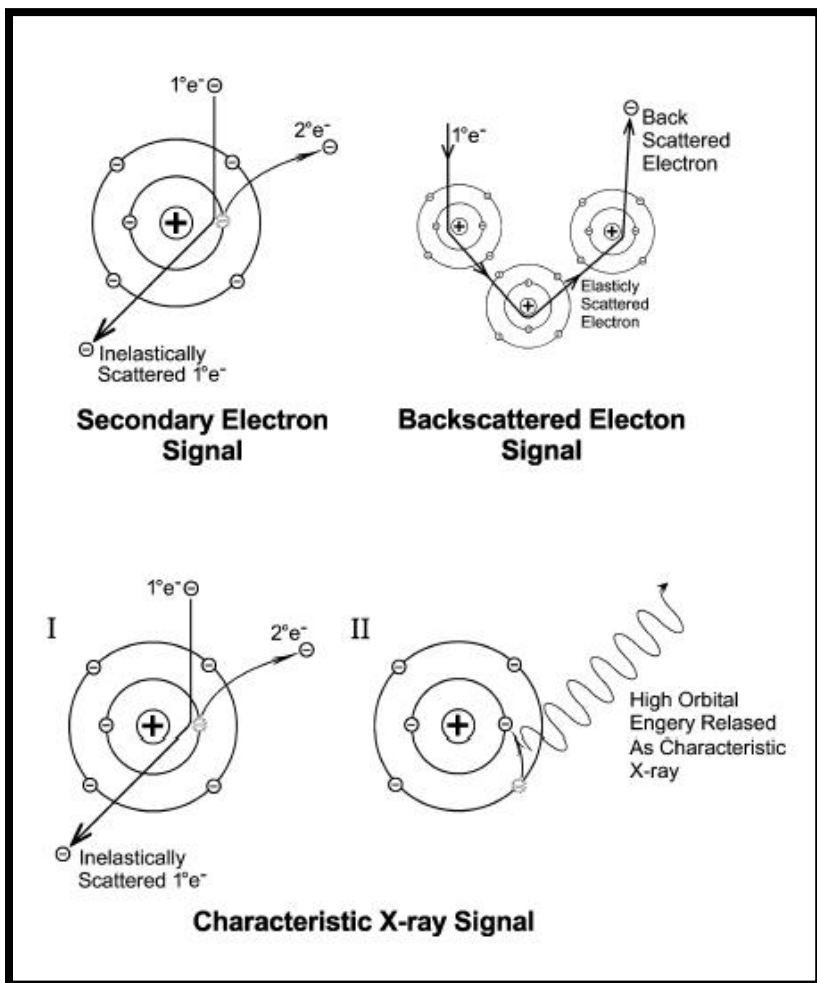
Rugalmas szóródás:

- kis energiaveszteség
- nagy szóródási szög

Rugalmatlan szóródás:

- jelentős energiaveszteség
- kis szóródási szög

A leggyakoribb válaszjelek

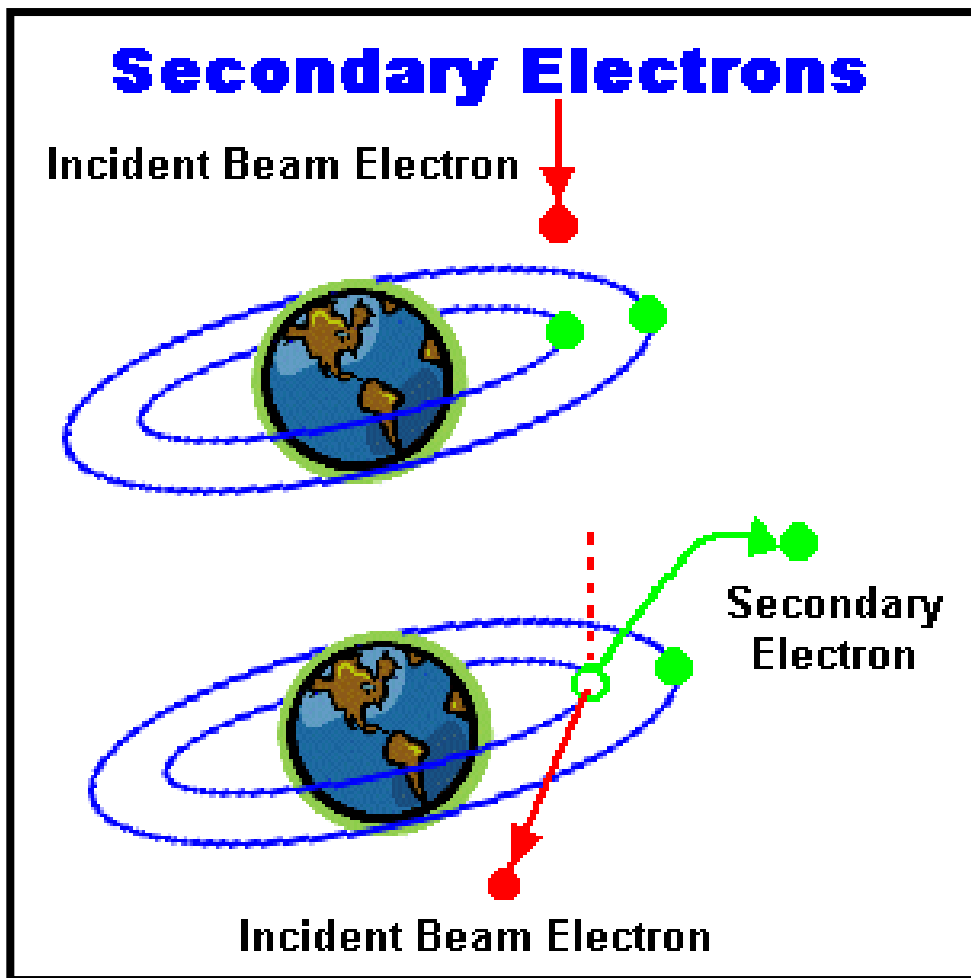


Szekunder elektronok:
 $E < 50 \text{ eV}$

Visszaszórt elektronok:
 $E > 0.8 * E_0$

Karakterisztikus
 röntgensugárzás:
 $E = 0,5 - 20 \text{ KeV}$

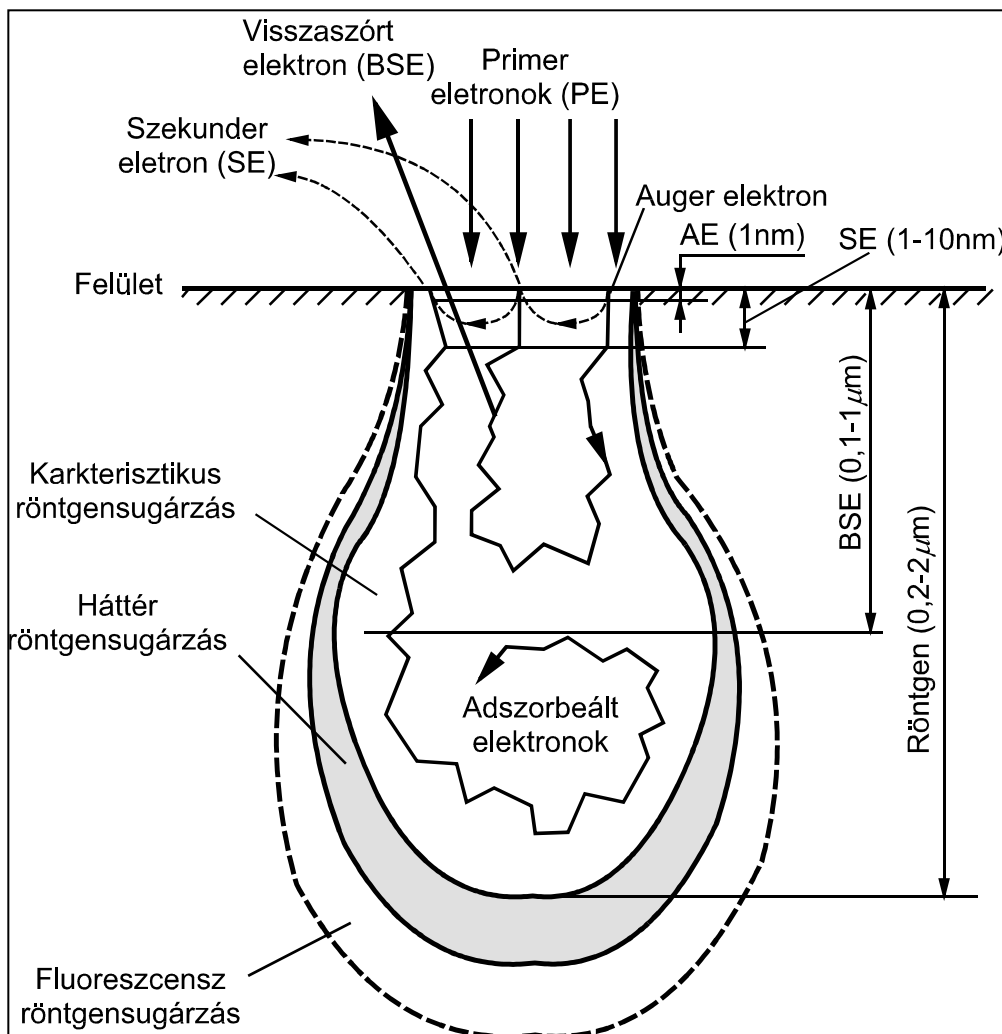
Szekunder elektronok



A szekunder elektronok rugalmatlan szóródás eredményei. A primer nyaláb egy elektronja kiüti a helyéről a minta egy atomjának valamely külső elektronját.

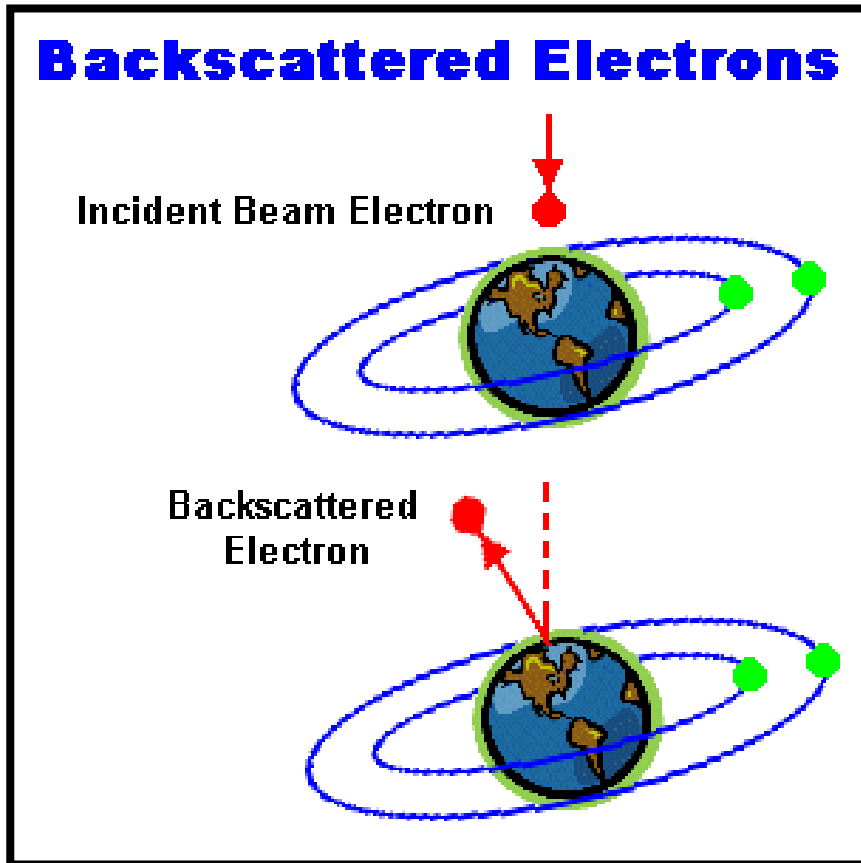
E_{SE} tipikusan kisebb, mint 50 eV.

Szekunder elektronok



Bár a teljes kölcsönhatási térfogatban létrejöhetnek, csak a legfelső rétegekből tudnak kilépni, alacsony energiájuk miatt.

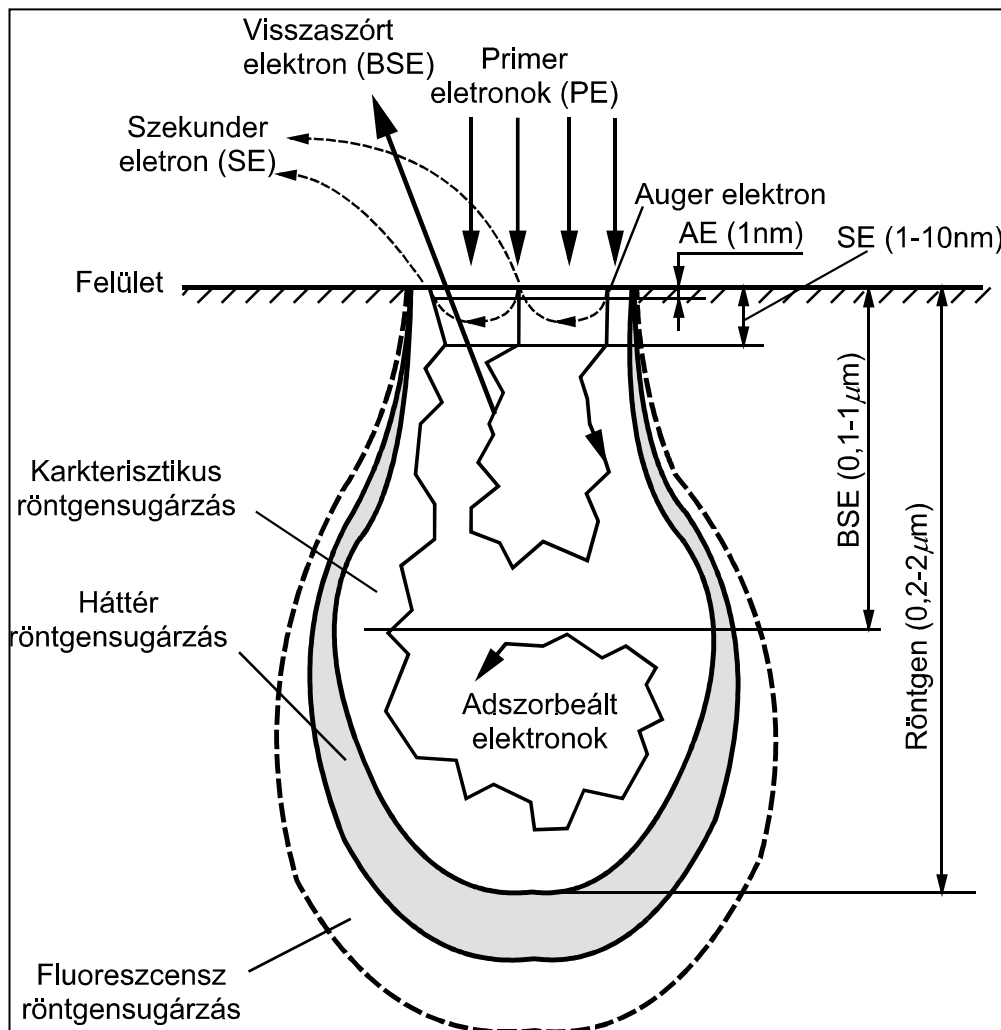
Visszaszórt elektronok



A primer elektronok rugalmasan visszapattannak a minta atomjairól.
Maximum 20% energiaveszteség adódik.

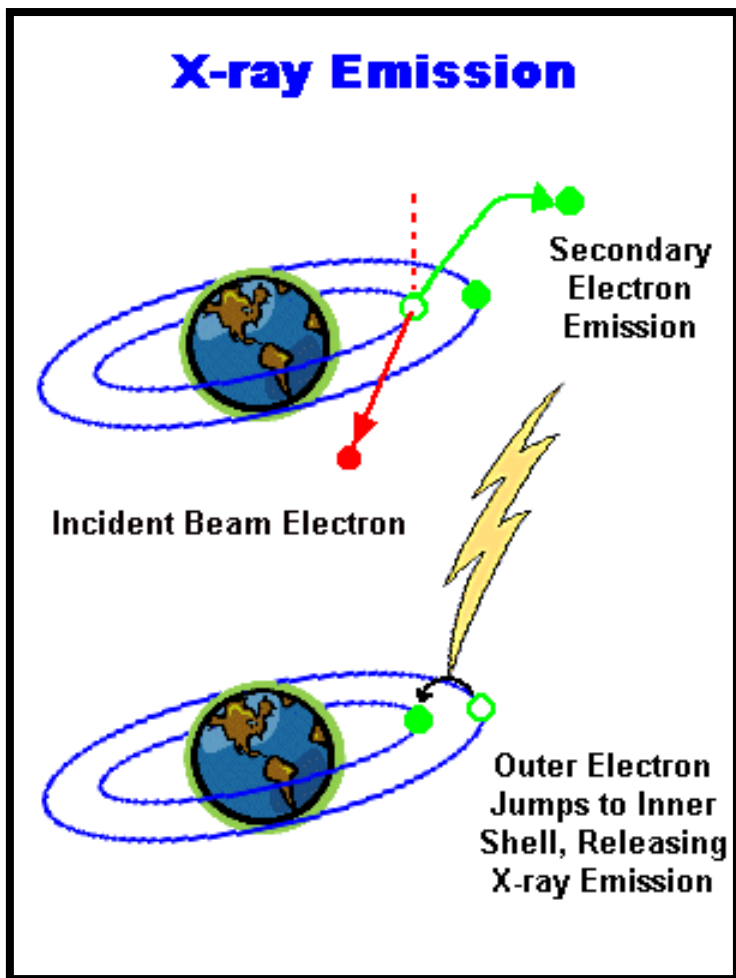
BSE – Back Scattered Electrons

Visszaszórt elektronok



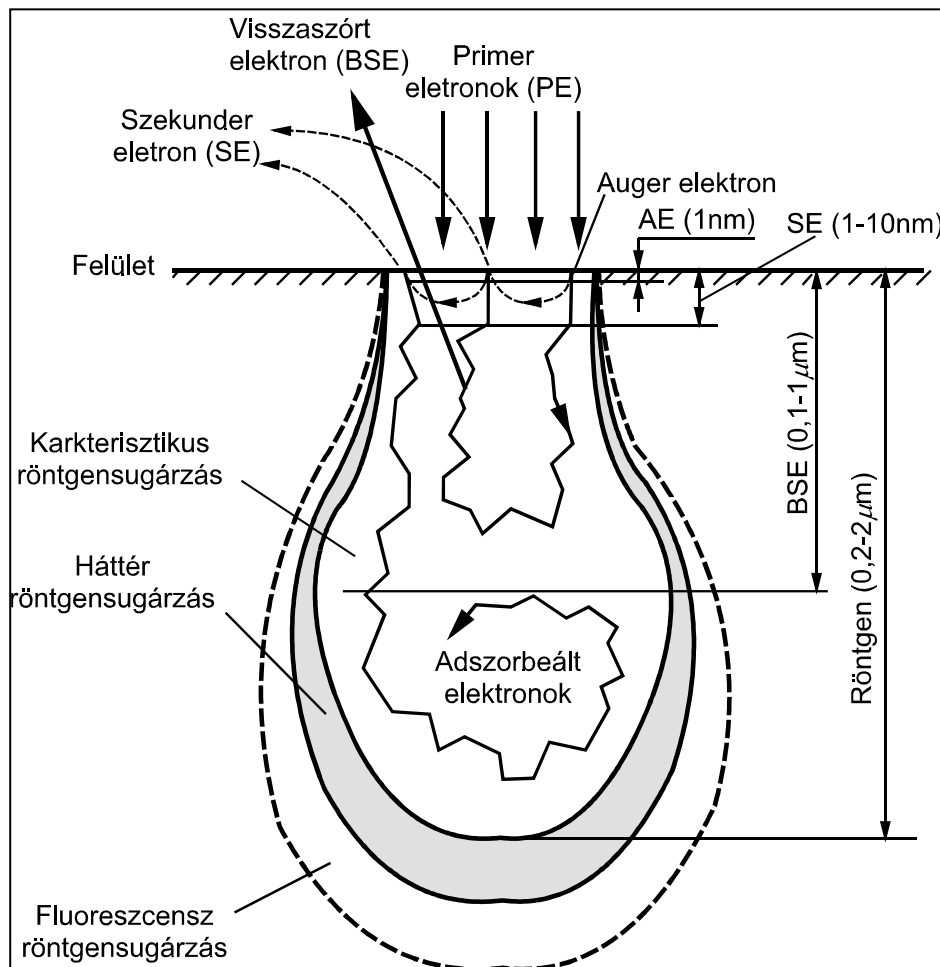
A teljes kölcsönhatási térfogatban létrejöhetnek, és nagyobb energiájuk révén a mélyebb rétegekből is ki tudnak jönni.

Karakterisztikus röntgensugárzás



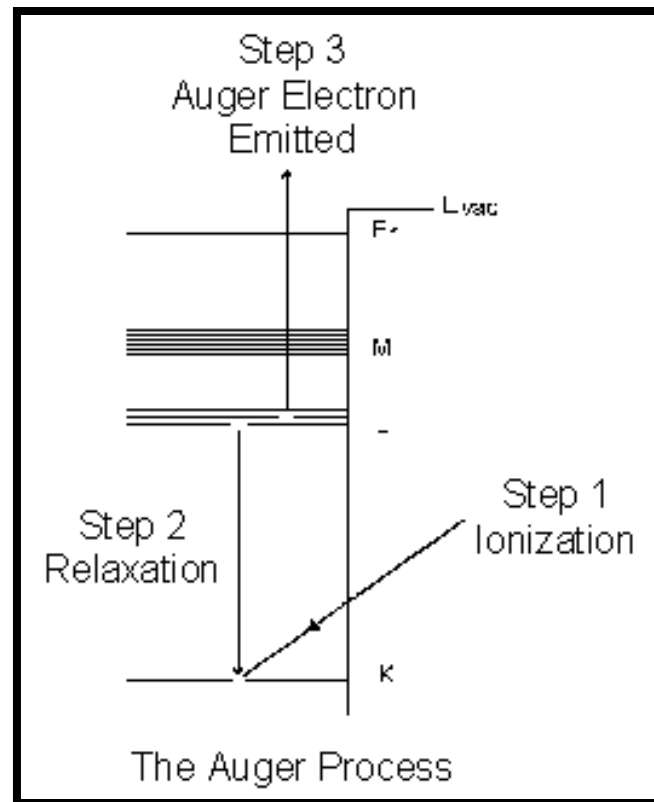
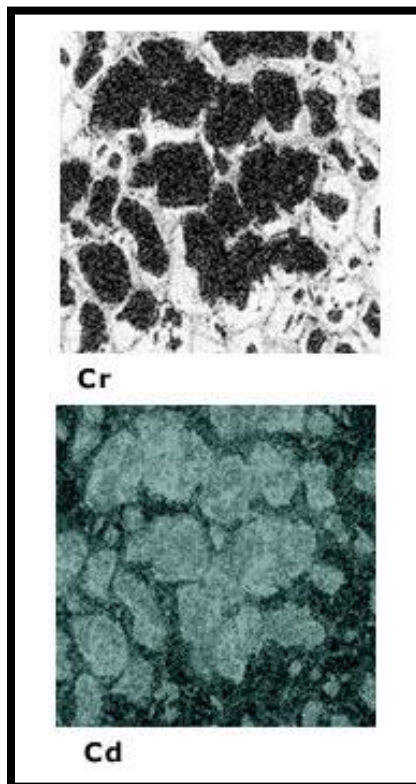
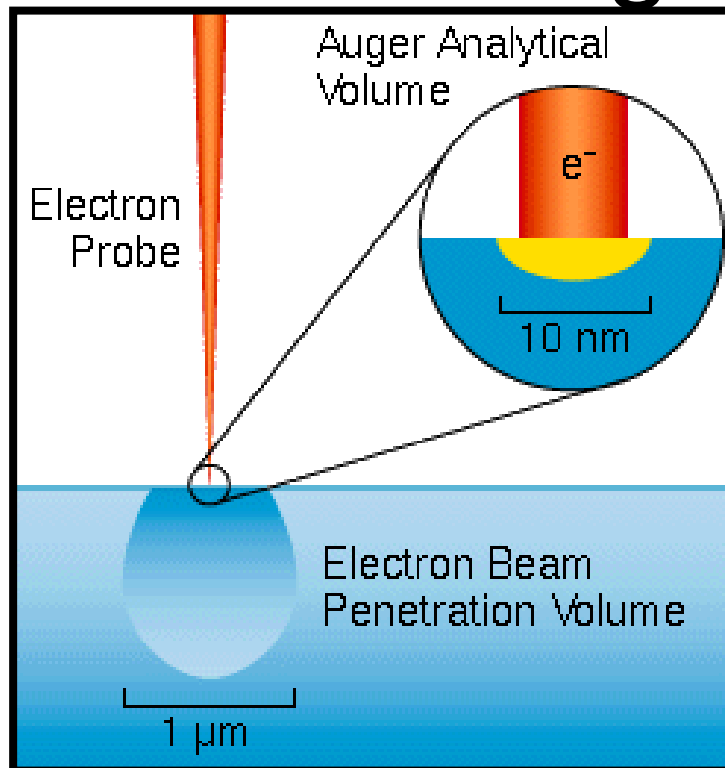
A primer nyaláb elektronja ionizálja a minta valamely atomját. Rekombináció révén a kilépett elektron helyét egy magasabb energiaállapotban lévő elektron foglalja el. Az energiacsökkenés egy röntgenfoton formájában távozik.

Karakterisztikus röntgensugárzás



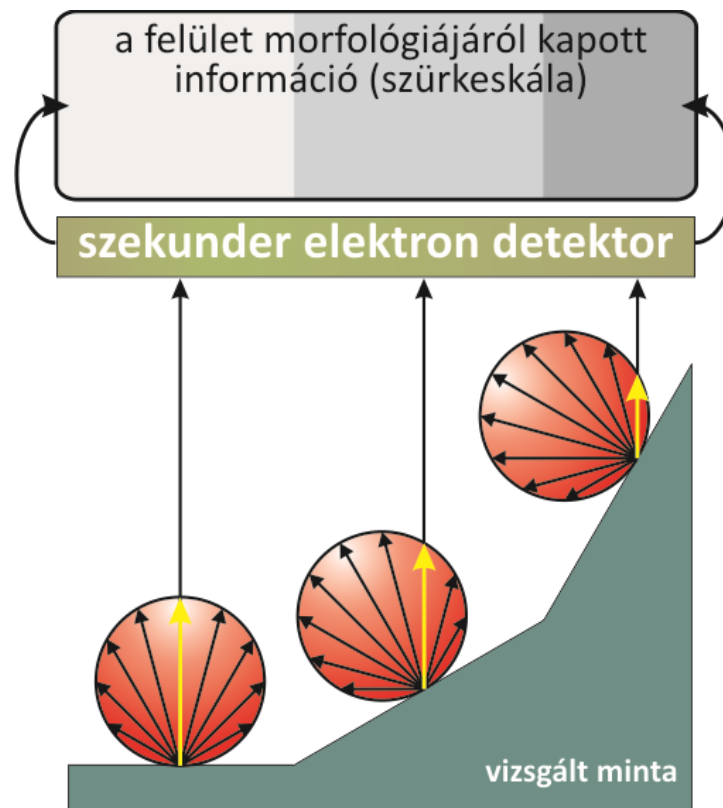
Nagy energiájának köszönhetően a karakterisztikus röntgensugárzás egészen mély rétegekből is detektálható.

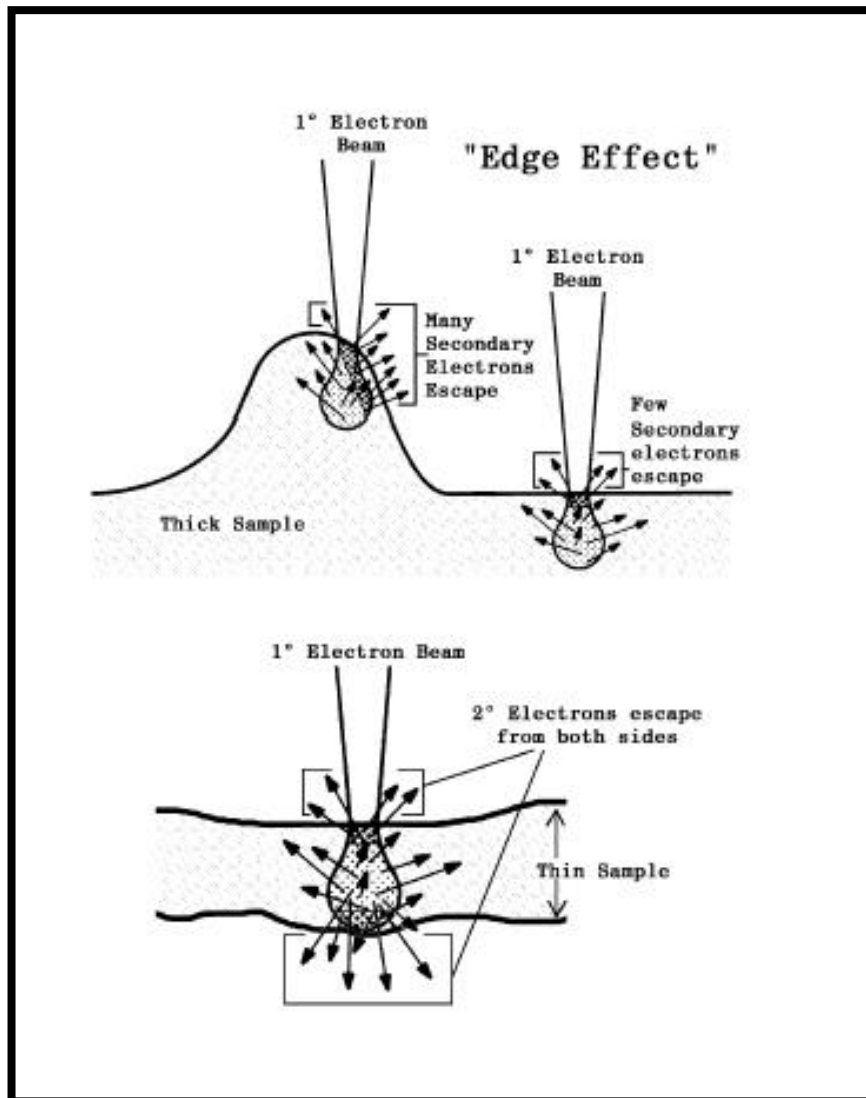
Auger-elektronok



A minta legfelső 2-3 nm-es rétegéből származó, kis energiájú elektronok, amelyek energiája a minta kémiai összetételétől függ.

Szekunder elektron kontraszt

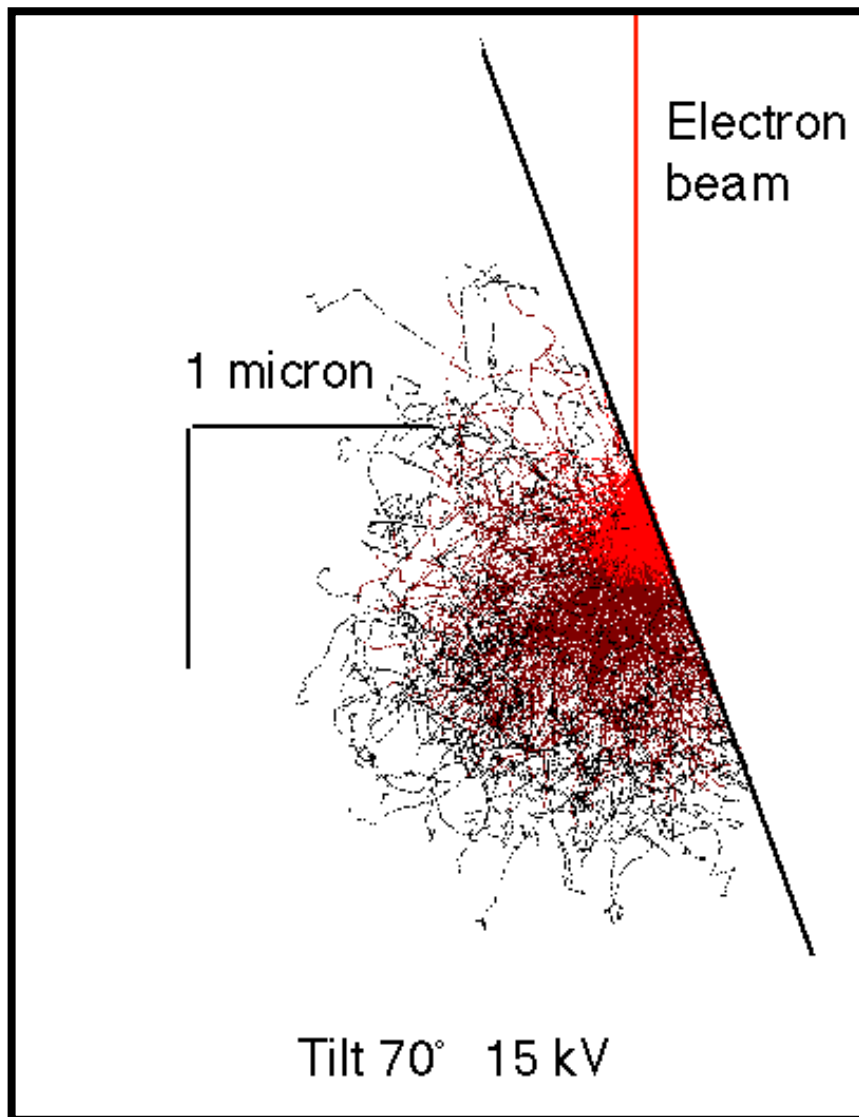




Szekunder- elektron kontraszt

Az elektronok belépési szöge és a minta vastagsága döntően meghatározzák a kilépő elektronok számát.

„Élhatás”

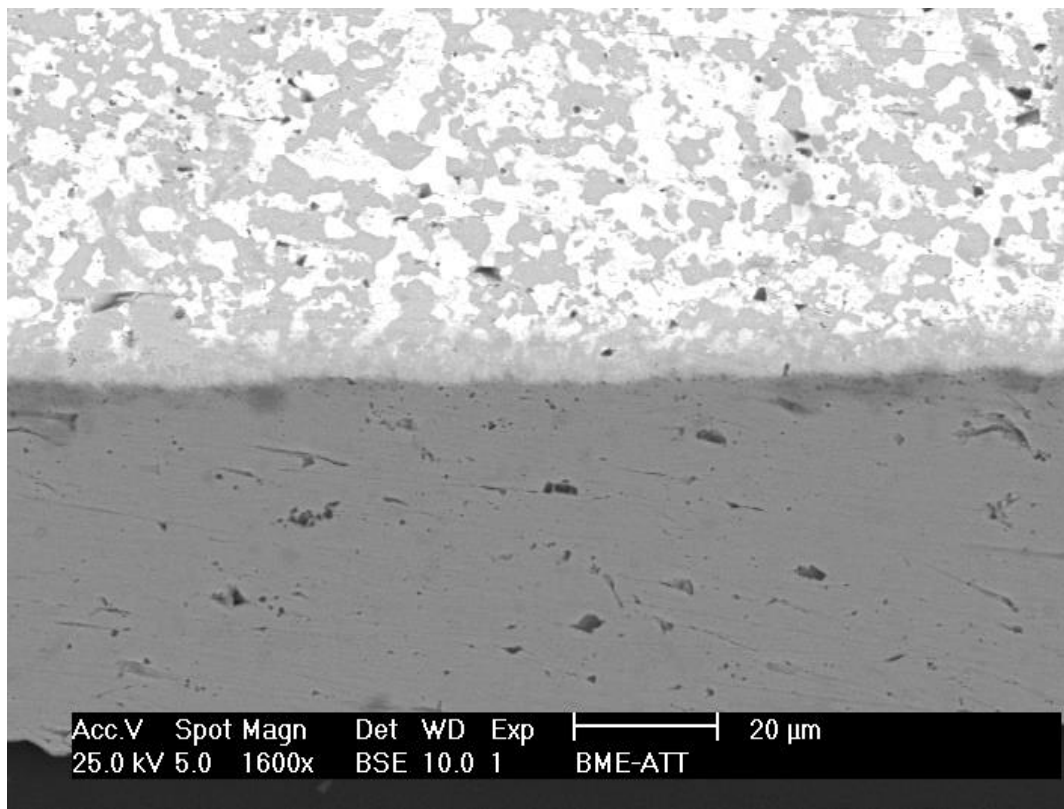


Az élhatást kihasználva jobb kilépő nyalábintenzitást érhetünk el, ha a mintát megdöntjük a detektor felé.

Elektronhozam (δ) a döntési szög (ϑ) függvényében:

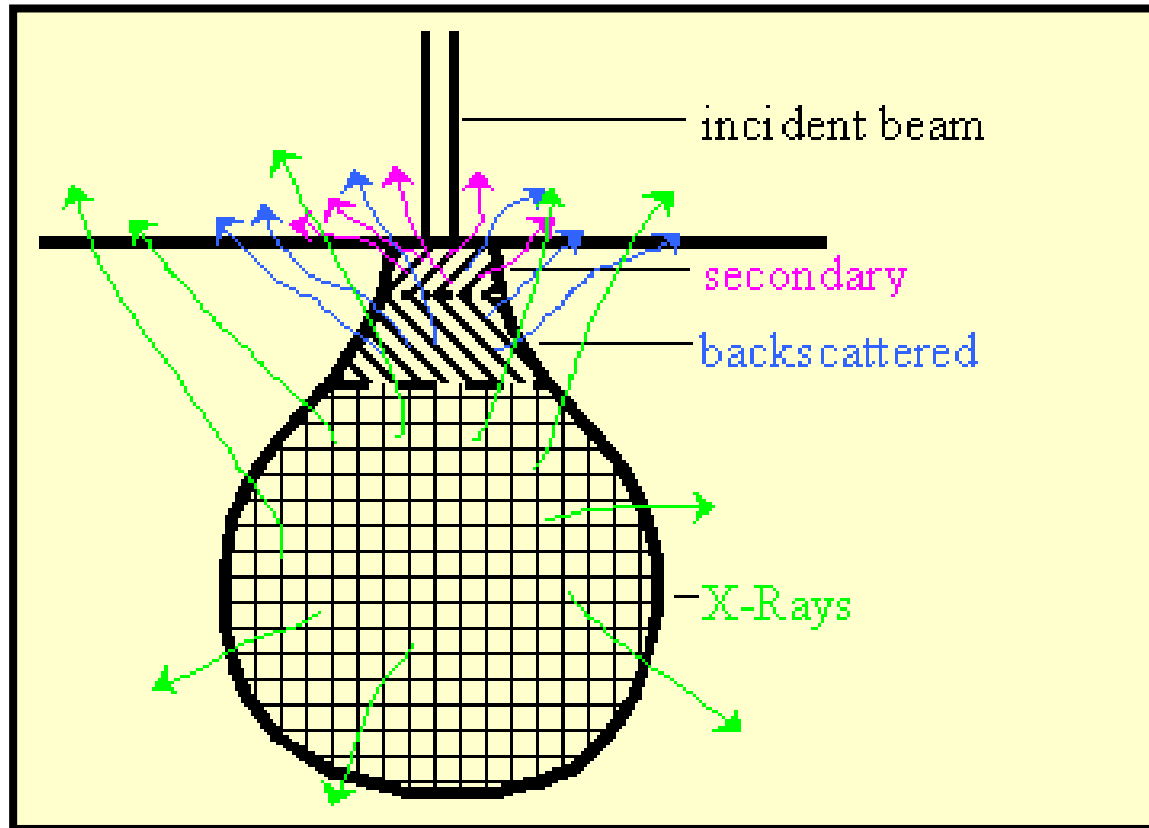
$$\delta(\vartheta) = \frac{\delta_{\perp}}{\cos \vartheta}$$

Visszaszórt elektron kontraszt



Rendszámkontraszt

Felbontás



Adott vizsgálat felbontóképessége attól függ, mekkora térfogattól származnak a detektálható jelek.

Információs térfogat

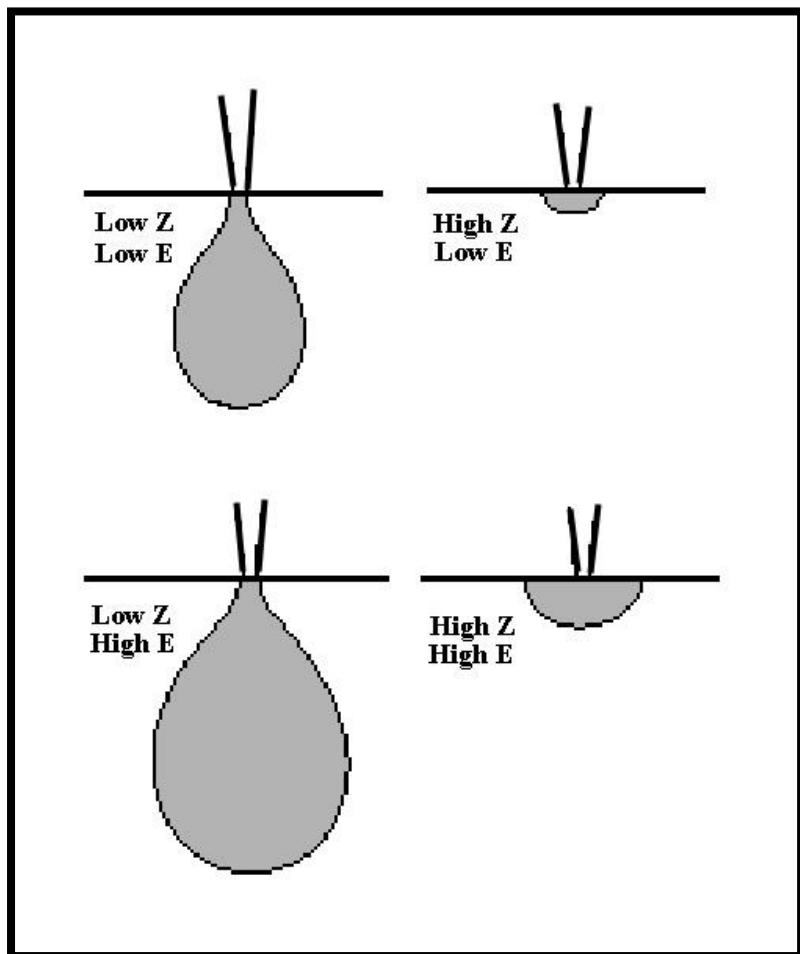
- Primer nyaláb átmérője (nyalábáram)
- Primer nyaláb energiája (gyorsítófeszültség)
- A minta atomjainak tömegszáma
- Esetleges bevonat a minta felületén

Információs térfogat



Egy téremissziós sugárforrás nyalábátmérője 10-100-szor kisebb, mint egy termoemissziós forrásé, ezért felbontása is sokkal jobb.

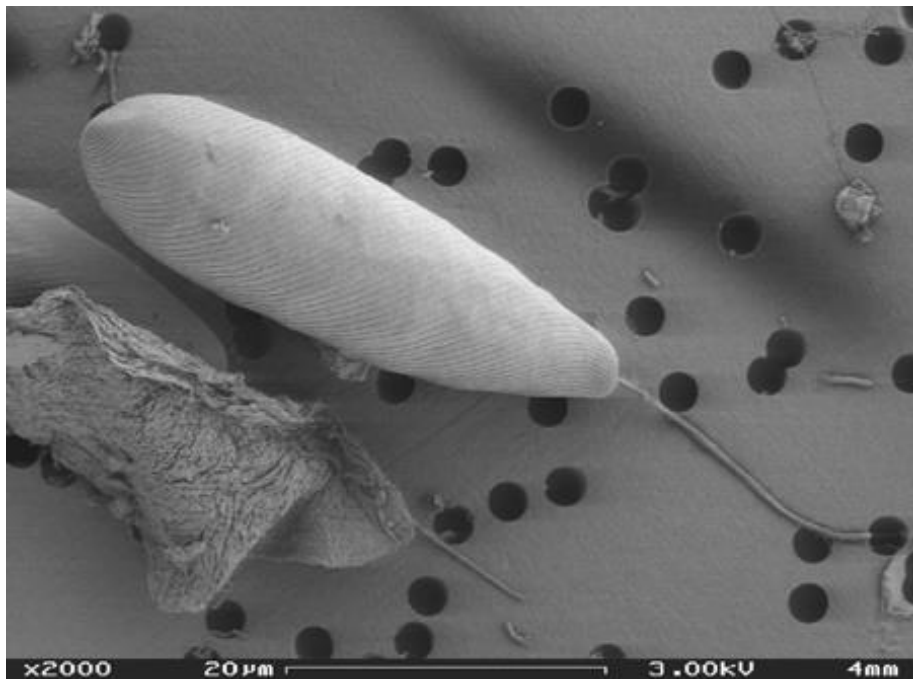
A gyorsítófeszültség hatása



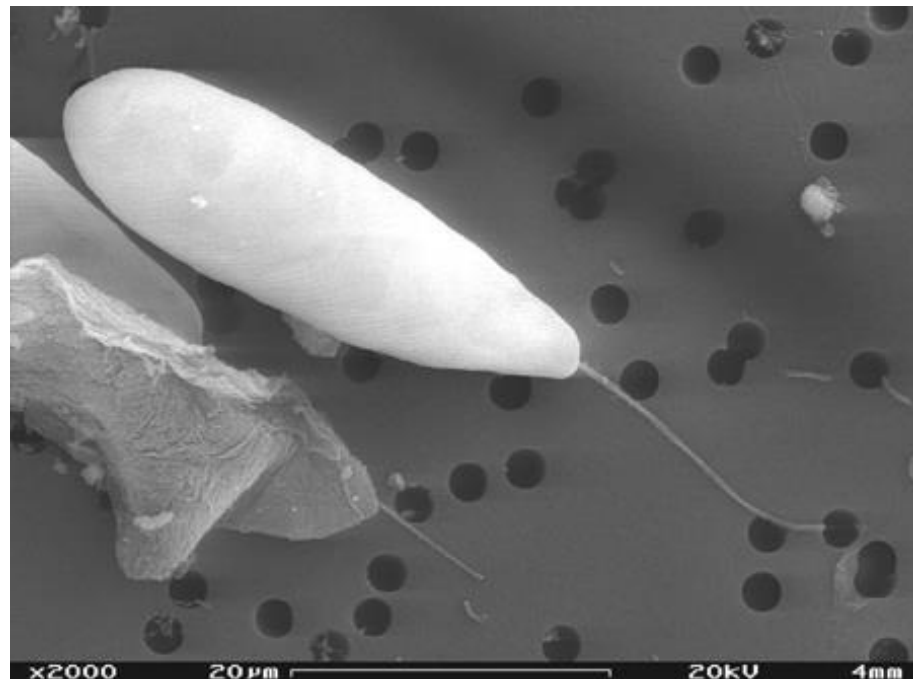
$Z =$ rendszám

$E =$ primer nyaláb energiája
 (~Gyorsítófeszültség:
 $E = qU$)

Gyorsítófeszültség



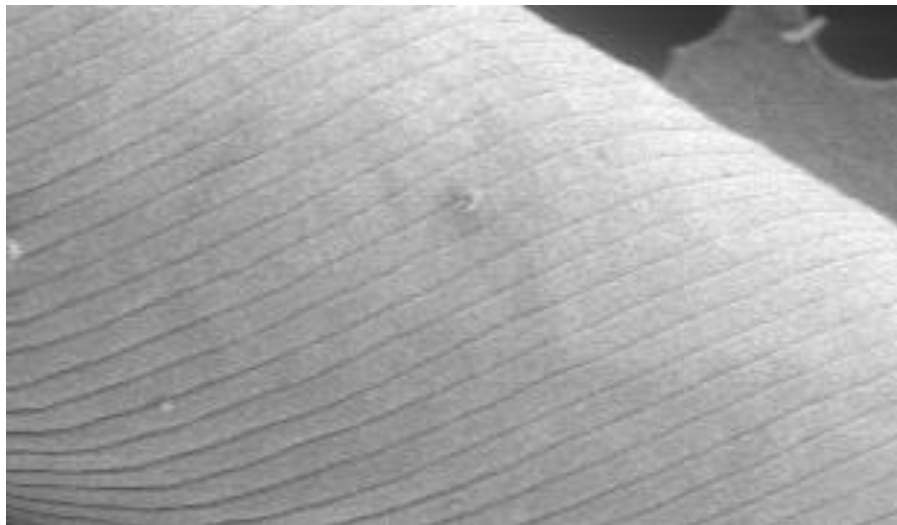
3 keV



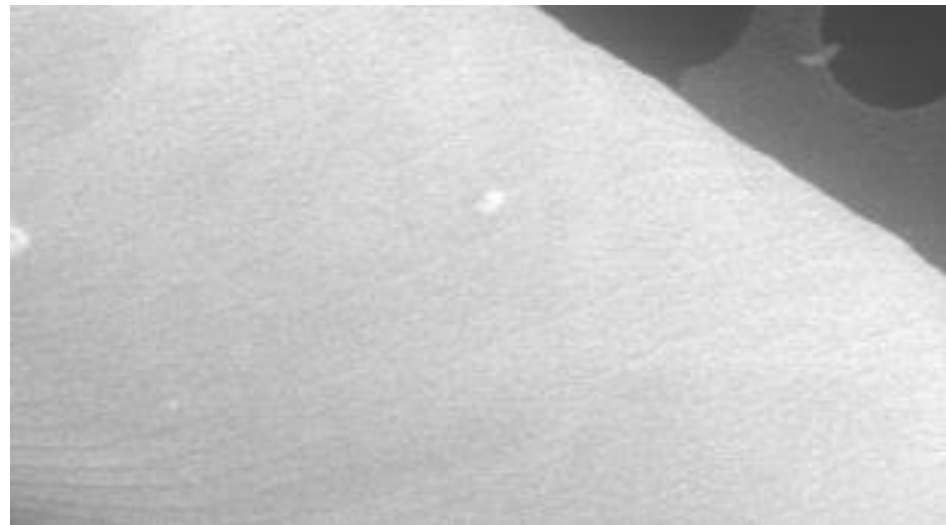
20 keV

A nagyobb gyorsítófeszültség fényesebb képet eredményez...

Gyorsítófeszültség



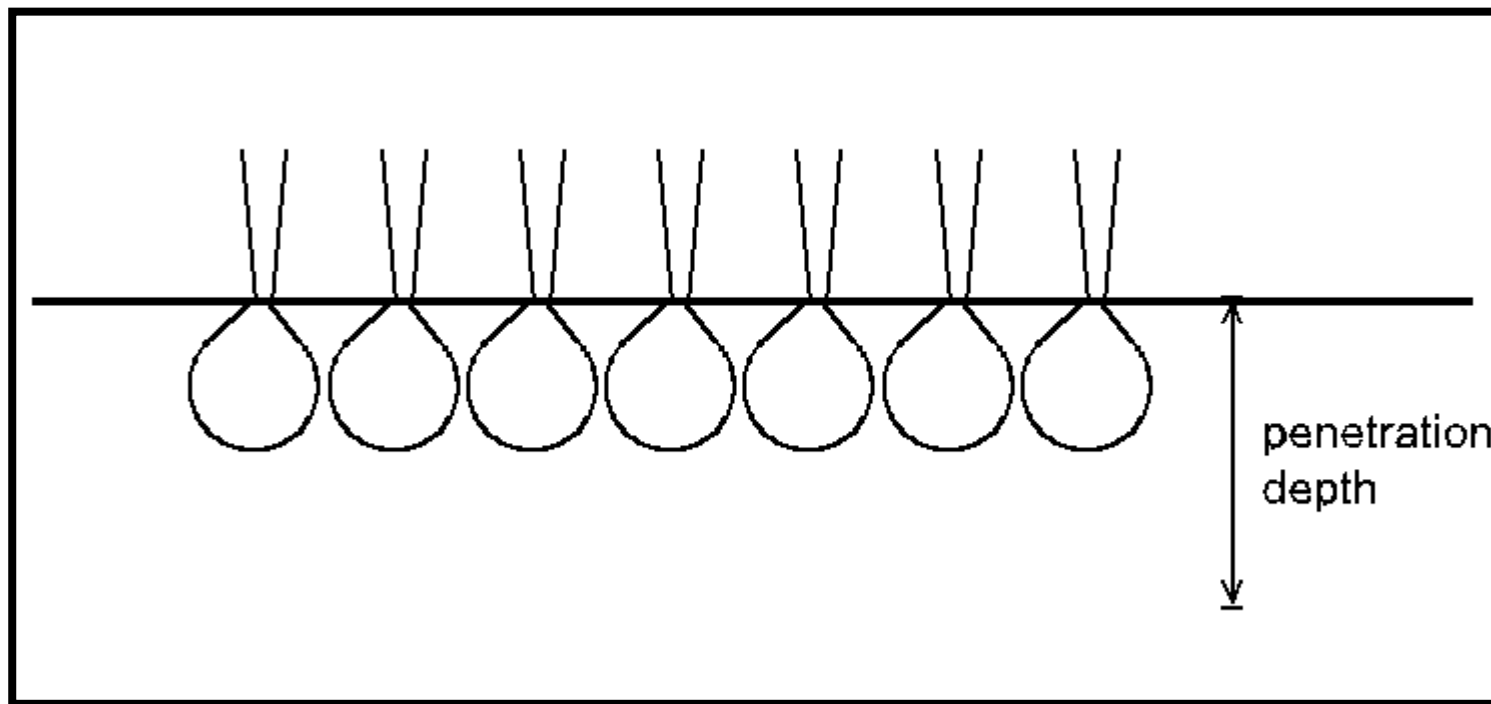
3 keV



20 keV

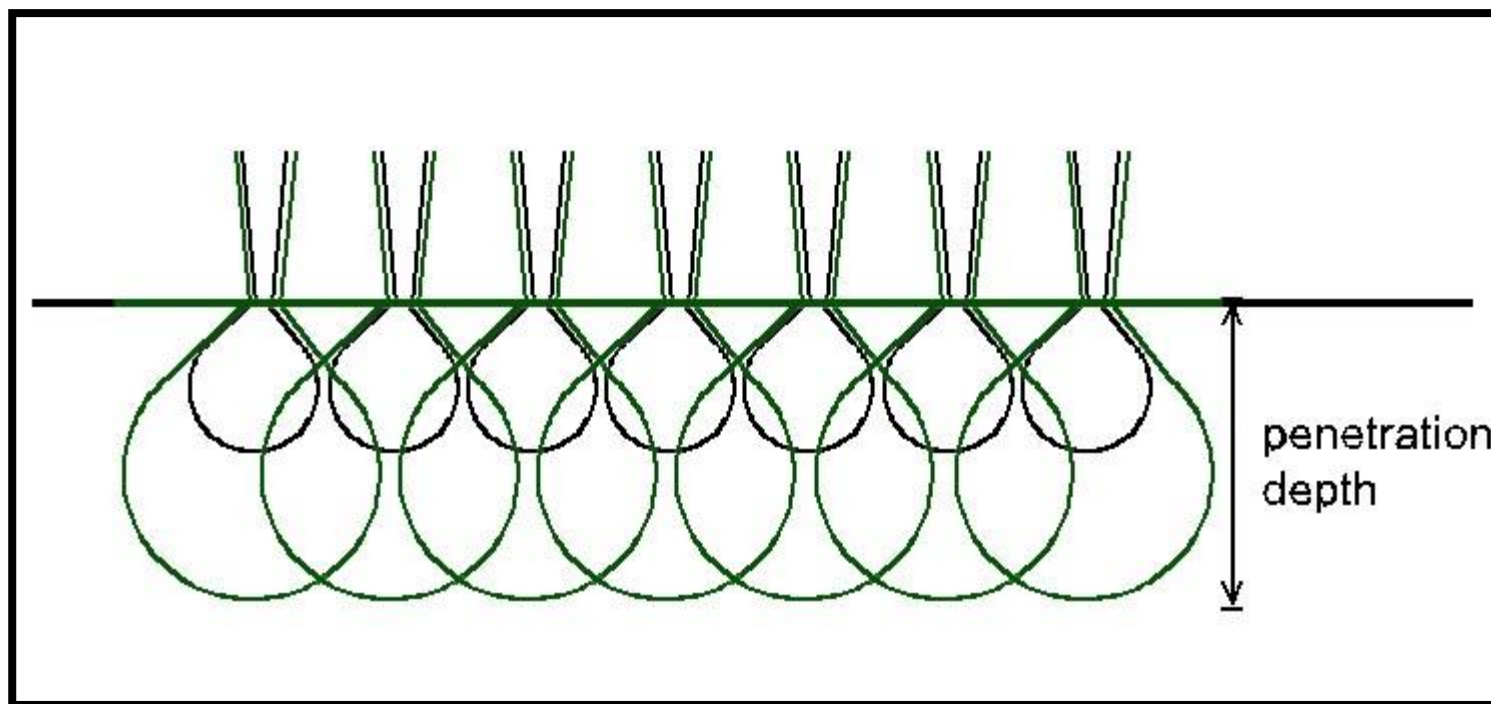
... de a felbontás rosszabb lesz.

Felbontás



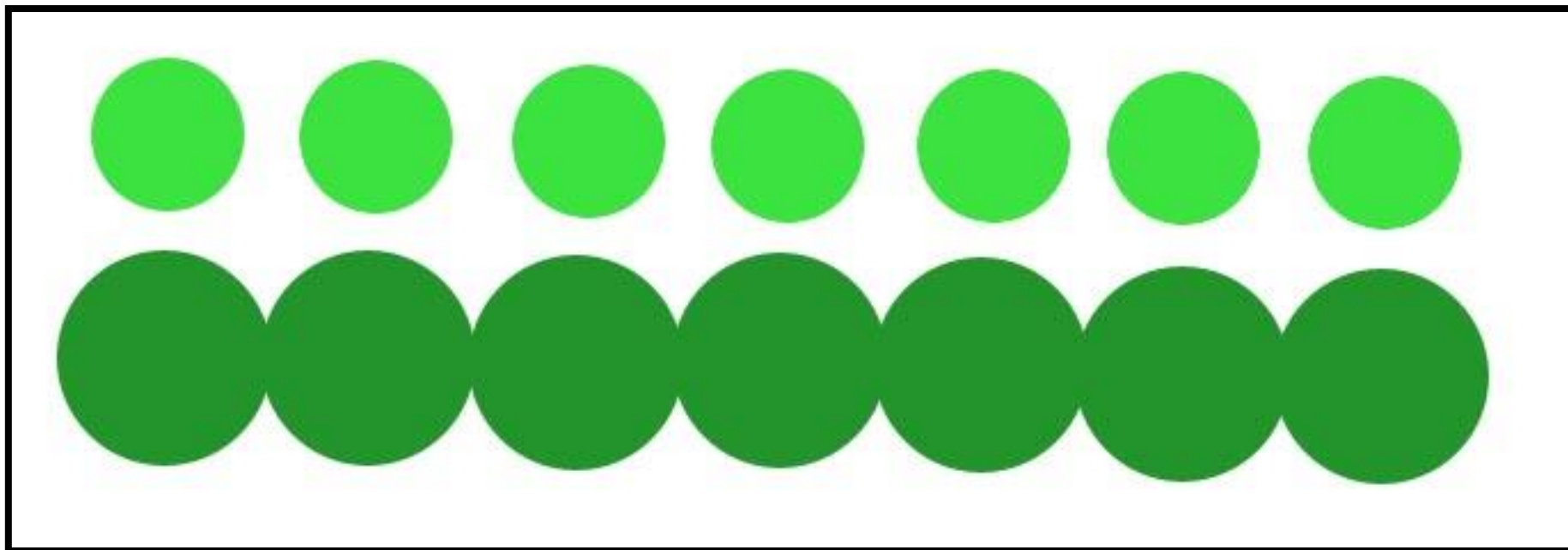
Ha kicsi a kölcsönhatási térfogat, minden egyes pontról külön-külön kapunk információt. Ebben az esetben a pontok között nincs átlapolás.

Felbontás



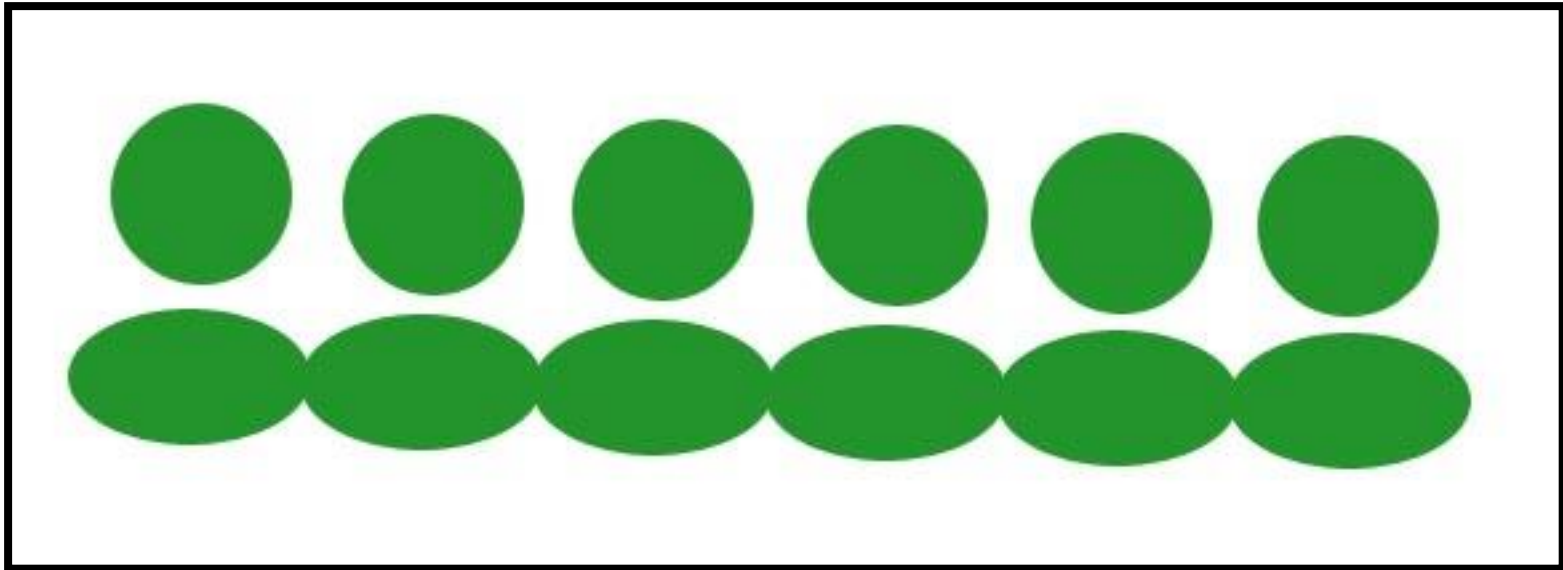
Ha ugyanolyan rászter mellett megnövekszik az információs térfogat, akkor az egyes pontok információs térfogatai átlapolnak, így a kép rossz felbontású lesz.

Felbontás



Az információs térfogat kismértékű növelése is már a felbontás rovására megy. Vigyázat: a felbontást nem a felületi nyalábátmérő határozza meg!

Felbontás



De ugyanígy a felbontás romlását okozza, ha a nyalábnak asztigmatizmusa van.

Felbontás

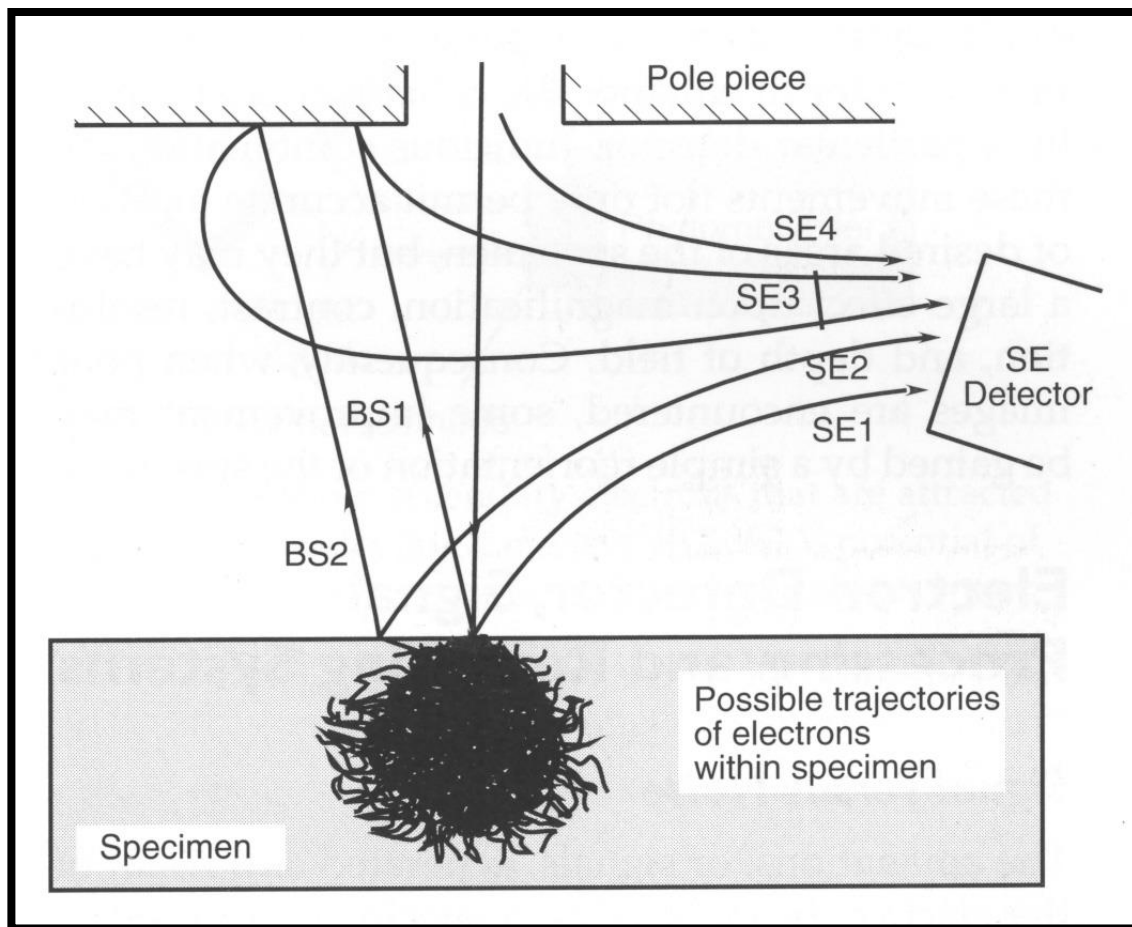
Képpont: a vizsgálni kívánt pont átmérője.

$d_{kp} = 0,1 \text{ mm} / M$, ahol M a nagyítás.

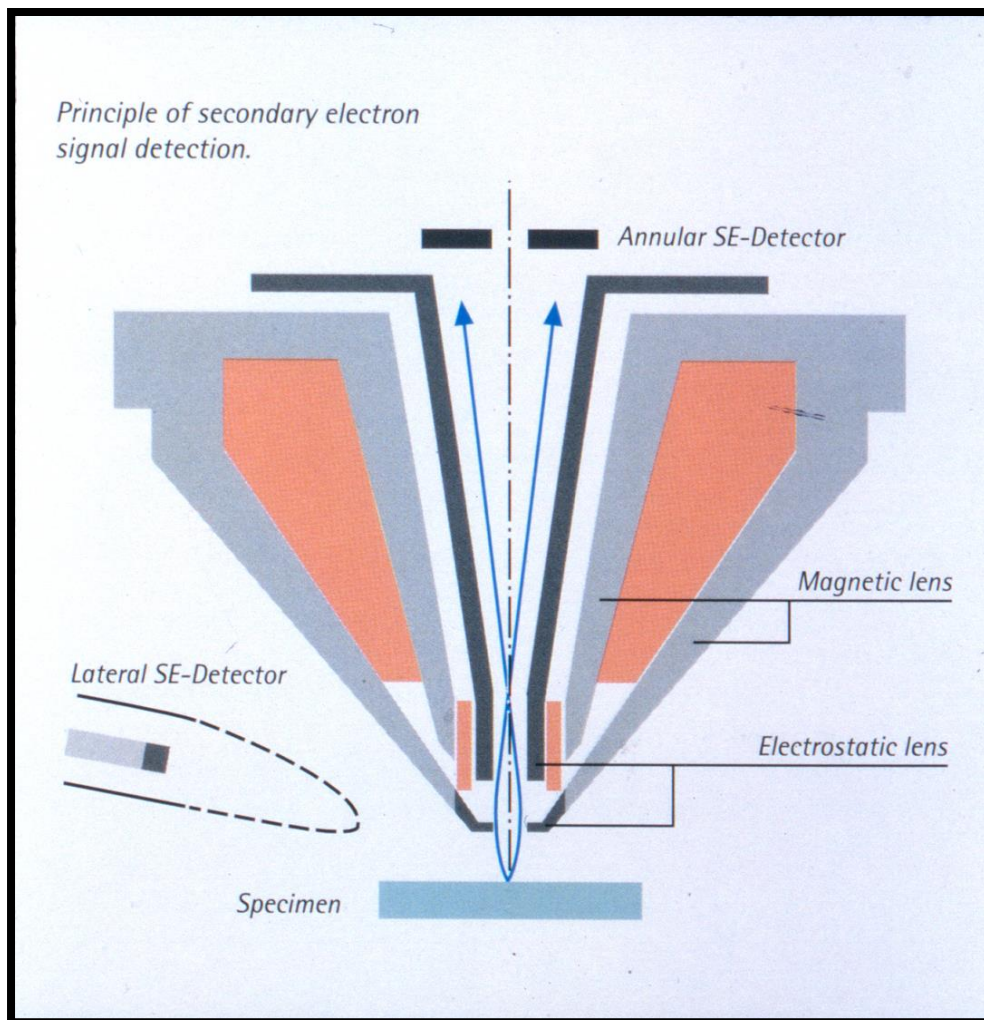
A kép életlen, ha a nyaláb információs térfogata kétszerese a vizsgálni kívánt képpontnak.

Példa: nyalábátmérő 50 nm, a hozzá tartozó információs térfogat visszaszórt elektronok esetén 100 nm. 2000x-es nagyítás esetén $d_{kp} = 50 \text{ nm}$, vagyis a kép már életlen lesz.

Detektálás – a jelek származása



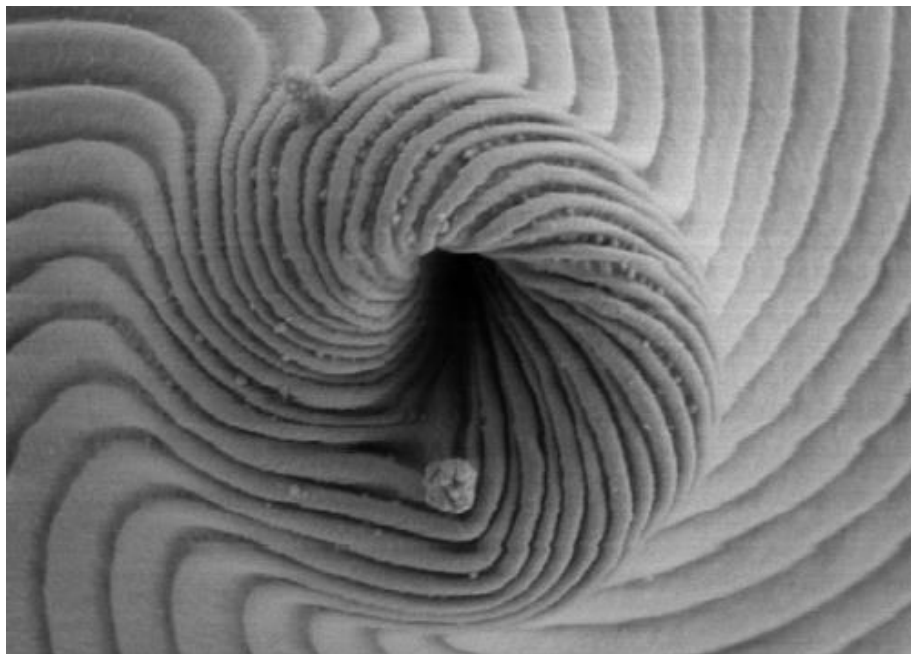
Detektálás – szekunder elektronok



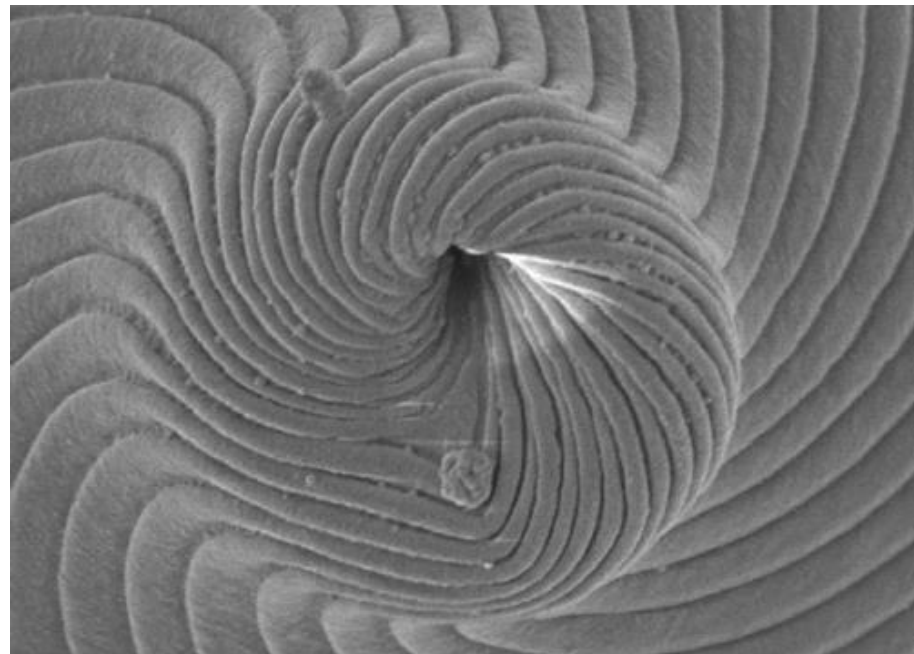
Lencsén belüli detektor:
jobb hatásfok

Hagyományos detektor:
adott szög alatt látja a
mintát, a lencsén kívül
helyezkedik el.

Detektálás – szekunder elektronok

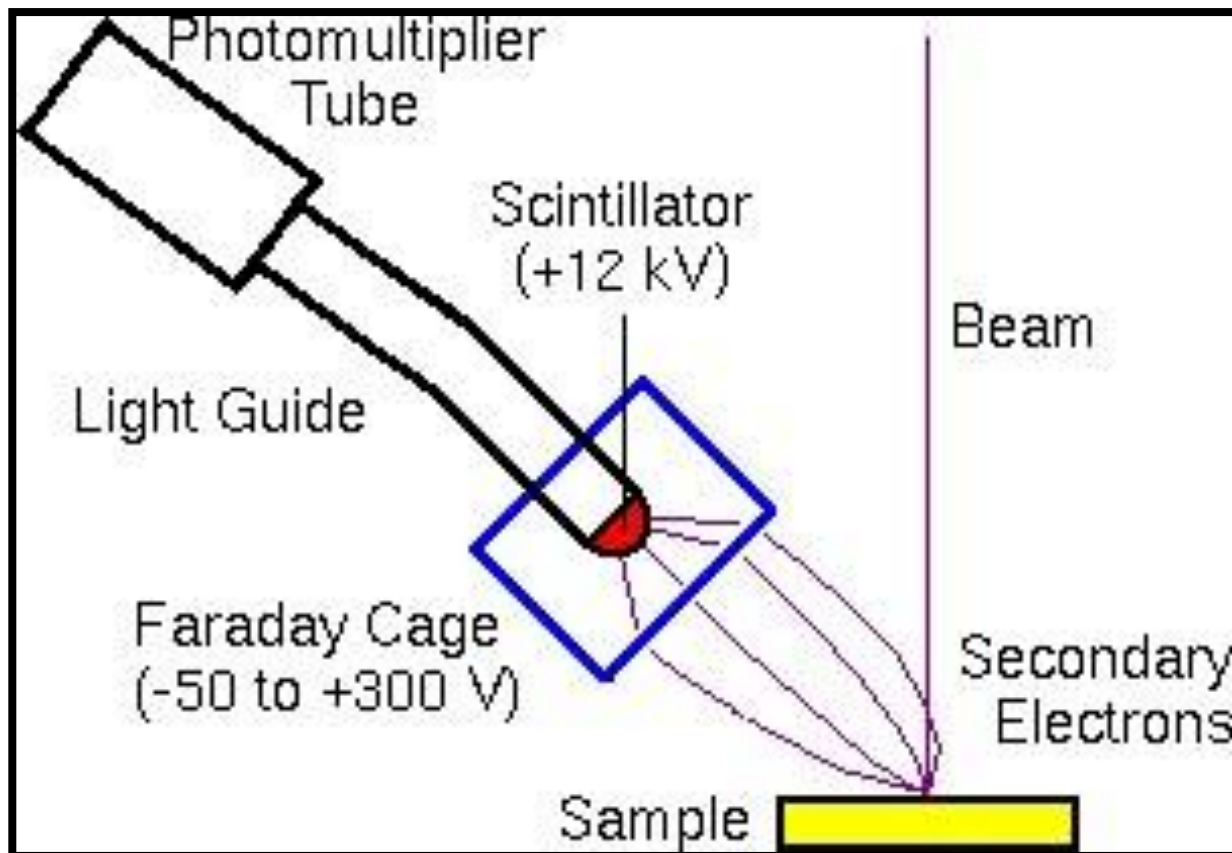


Oldalra szerelt SE detektor:
jelentős árnyékhatás



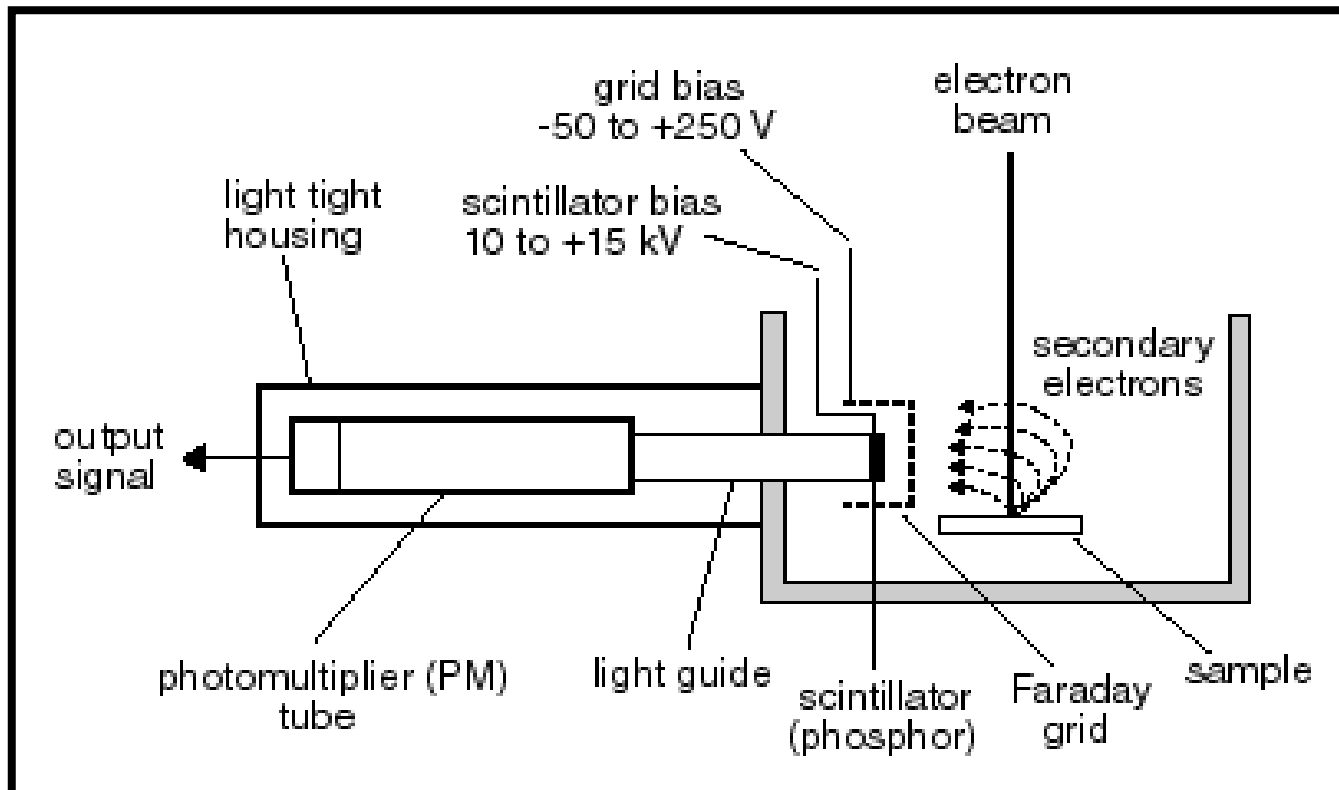
Lencsén belüli detektor:
elhanyagolható árnyékhatás

Konvencionális SE detektor



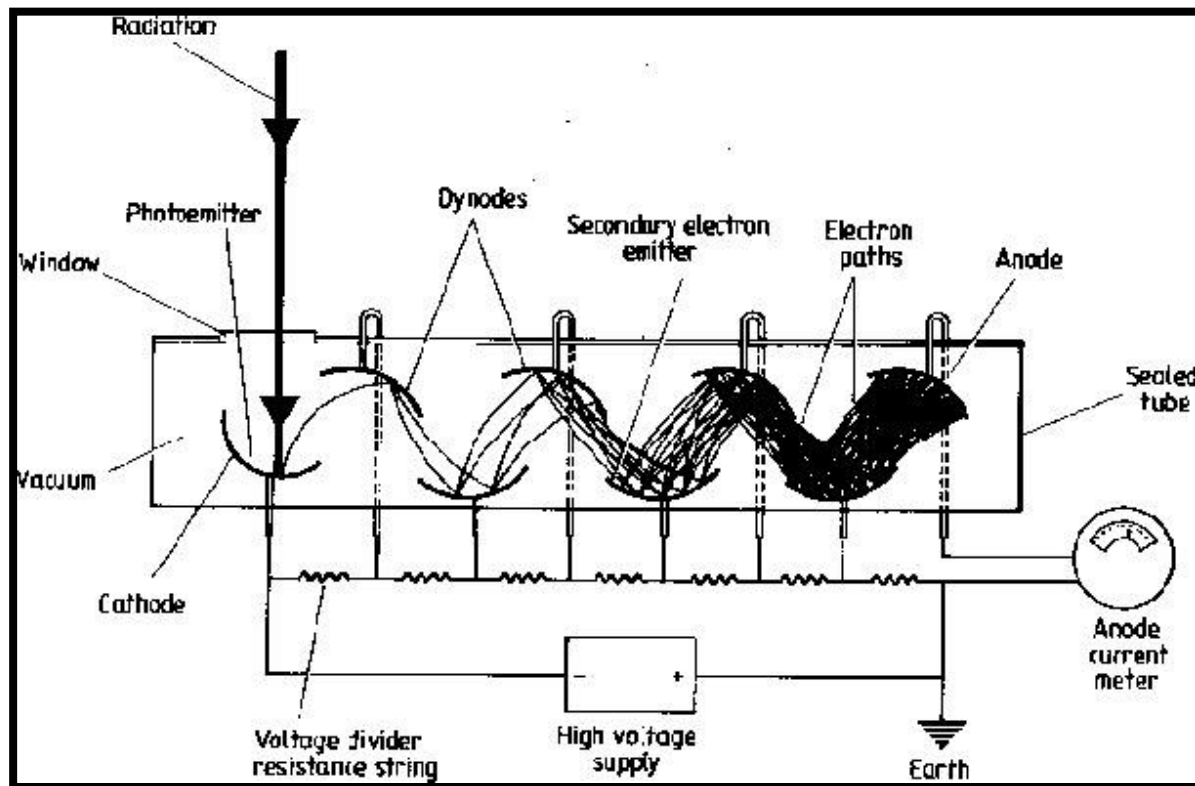
Egy előfeszített, ún. Faraday-kalitka „berántja” a kis energiájú szekunder elektronokat a szcintillátorba, amelyben a becsapódó elektronok hatására fotonok keletkeznek.

Konvencionális SE detektor



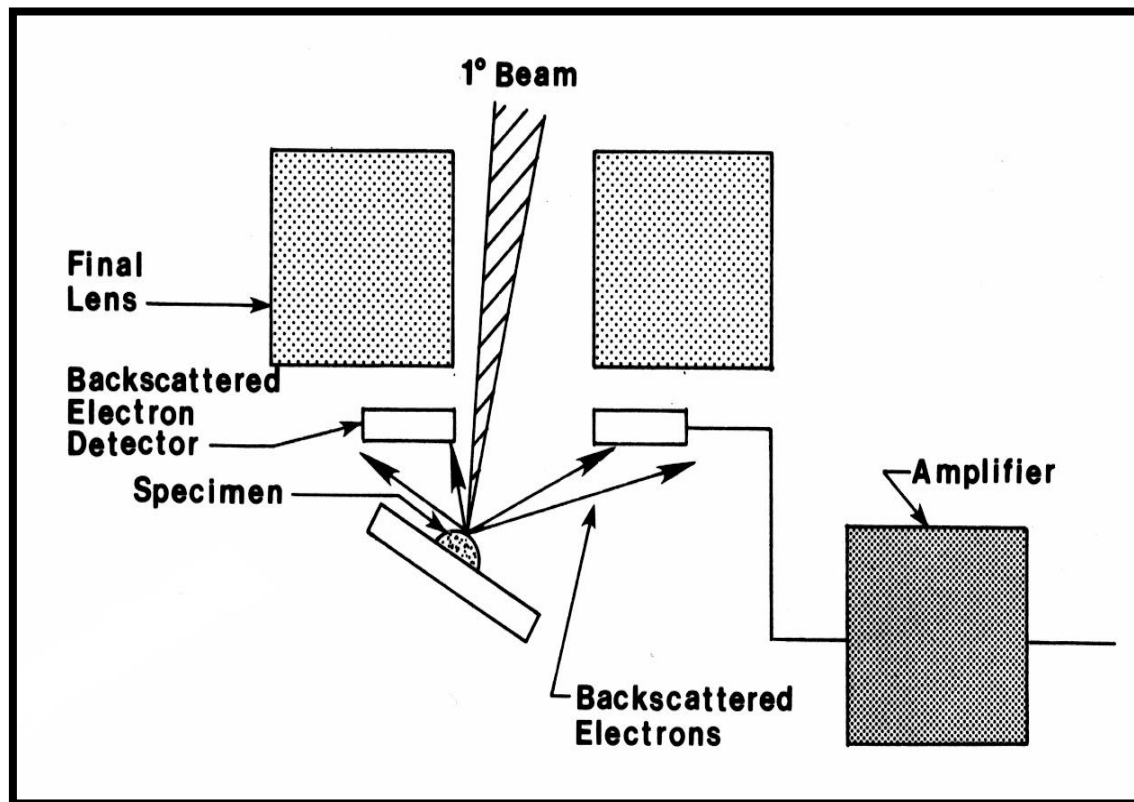
A szcintillátor által keltett fotonok egy fotoelektron-sokszorozóba kerülnek.

Konvencionális SE detektor



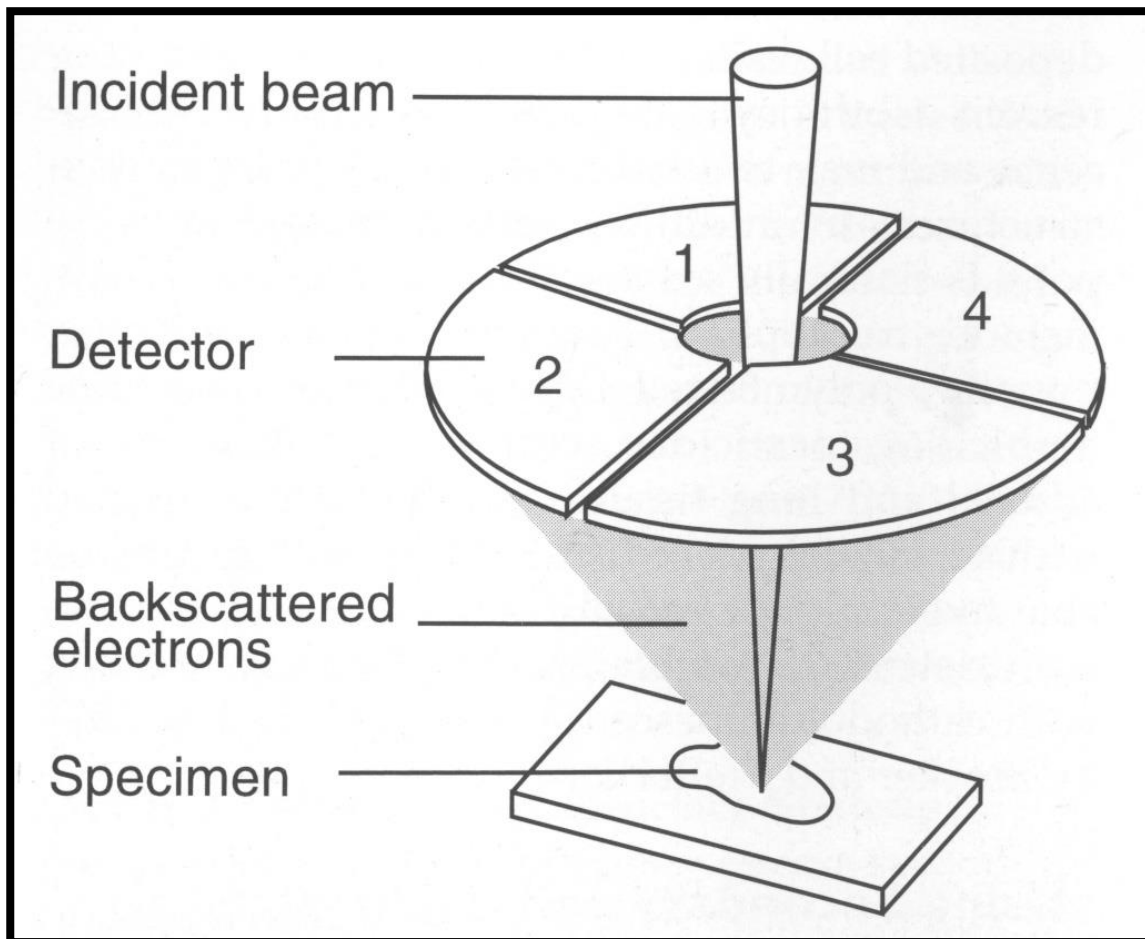
A fotoelektron sokszorozóban az elektronok száma megsokszorozódik, majd a végén egy fotodióda detektálja az intenzitást.

Visszaszórt elektronok



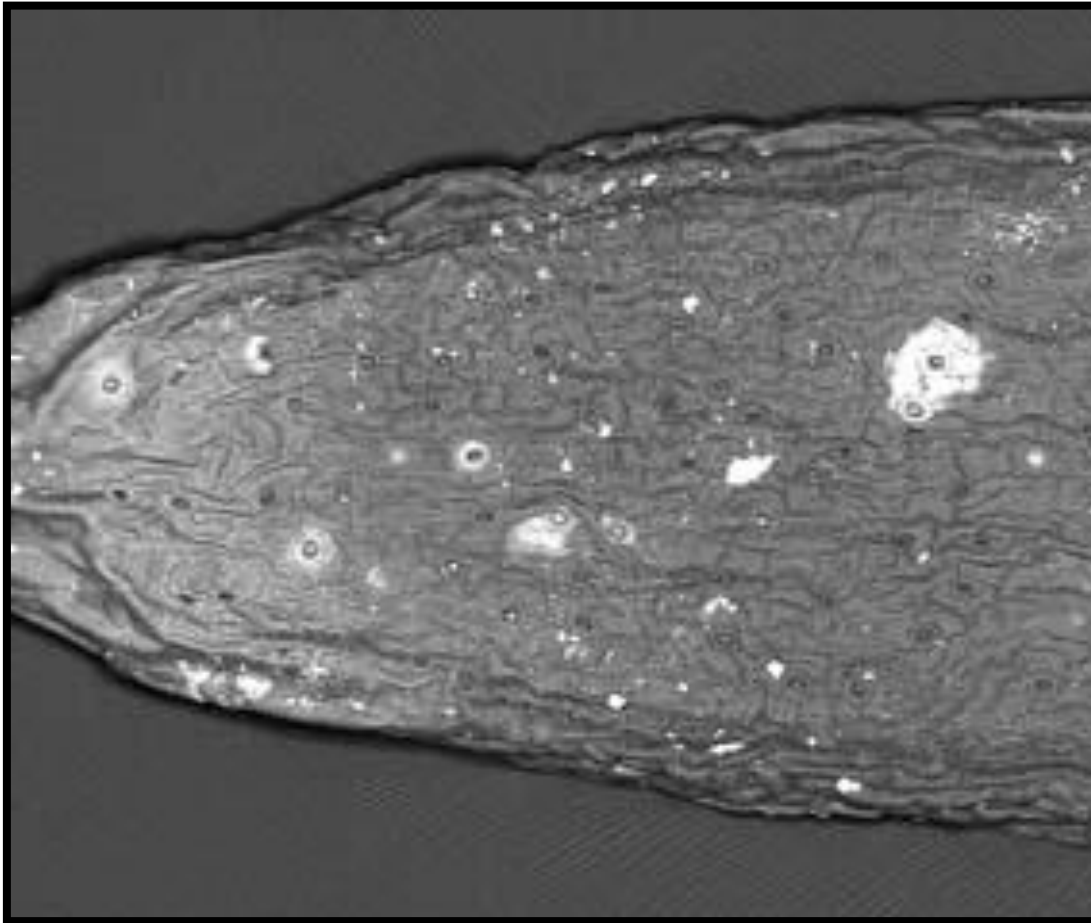
A visszaszórt elektronok, nagy energiájuknál fogva, nem detektálhatók szcintillációs detektorral. Kivéve: a Faraday-kalitka negatív előfeszítésével.

Visszaszórt elektronok



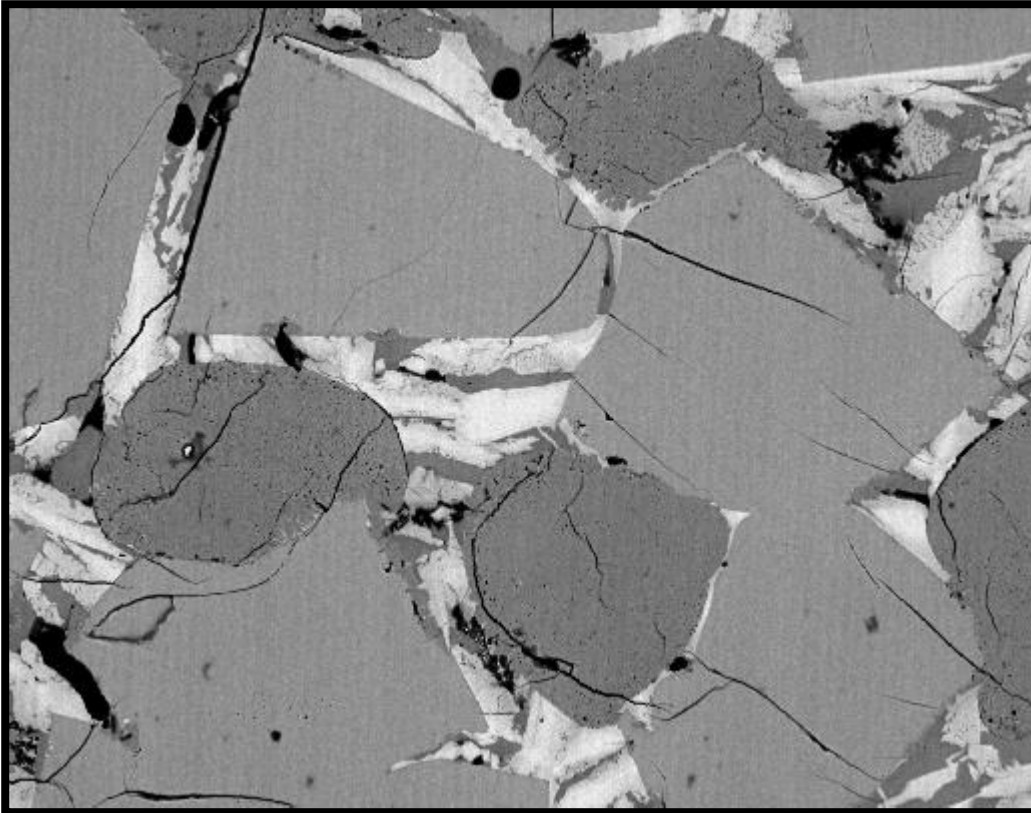
Leggyakoribb
elrendezés:
négy részre osztott
félvezető detektor

Visszaszórt elektronok



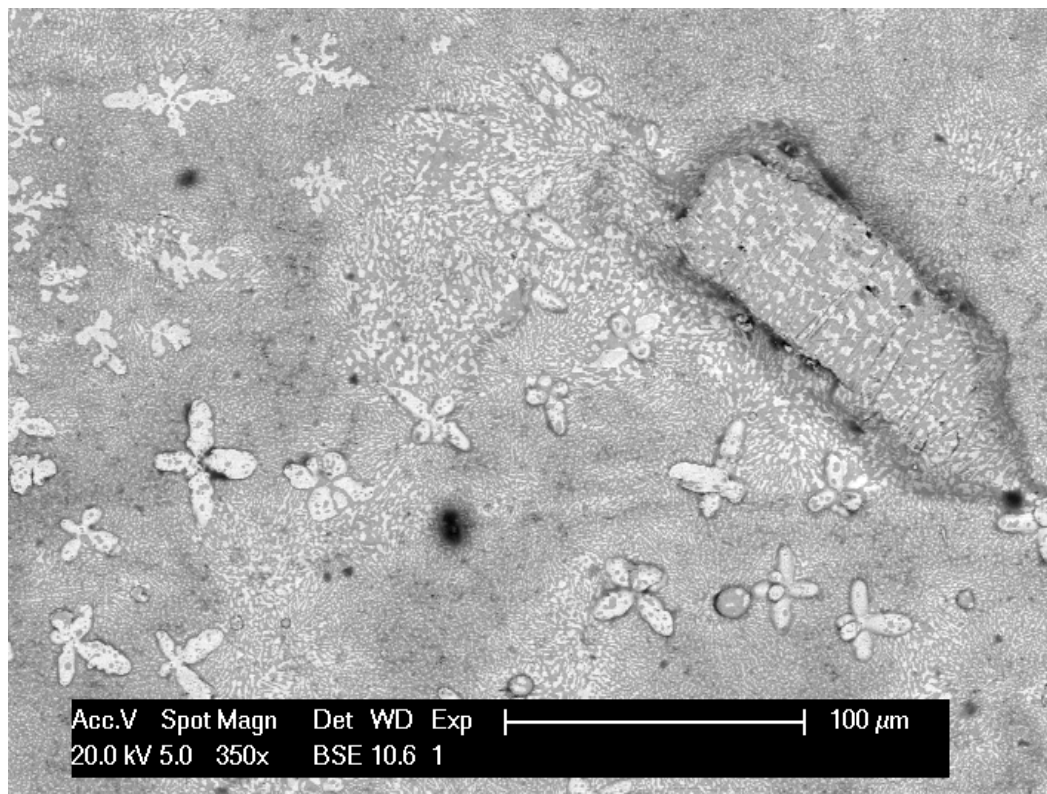
Nikkel részecskék
egy levél felületén –
rendszámkontraszt.

Visszaszórt elektronok

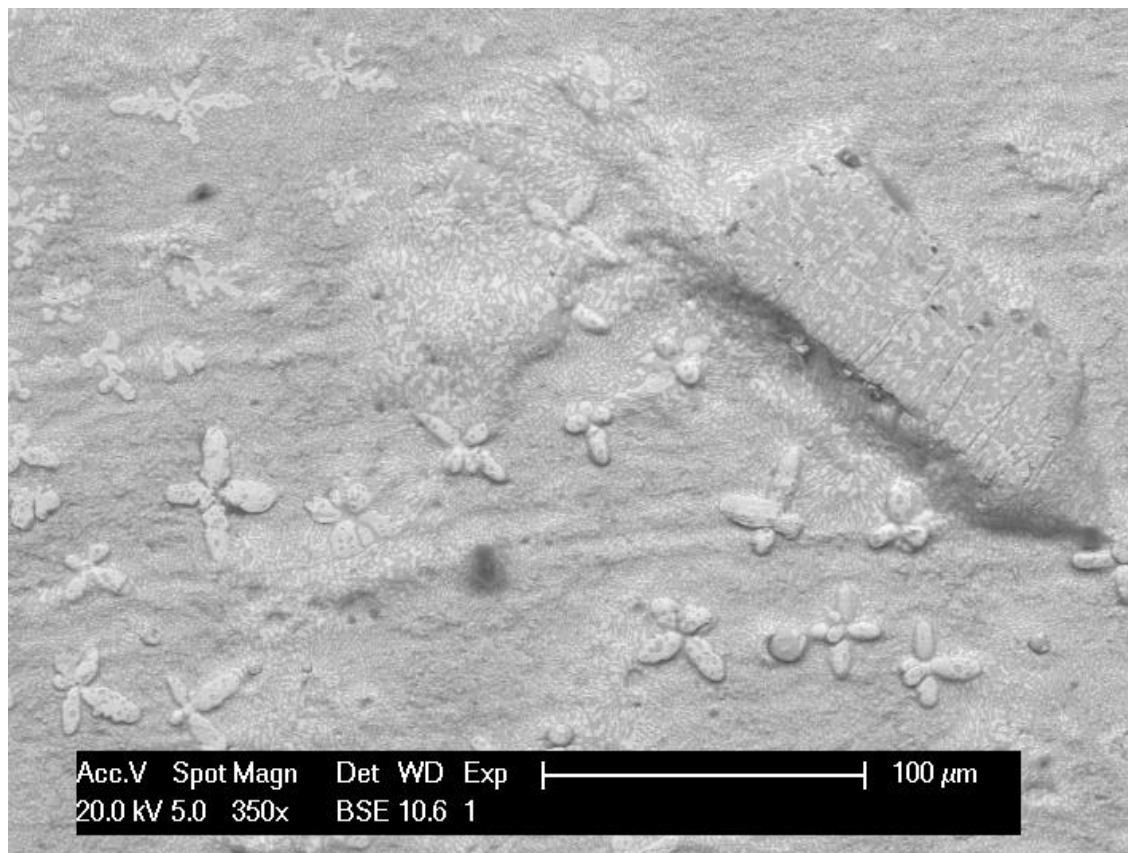


Kompozit anyag BSE képe:
 a kisebb rendszámú tartományok sötétebbnek, a nagyobb rendszámúak világosabbnak látszanak.

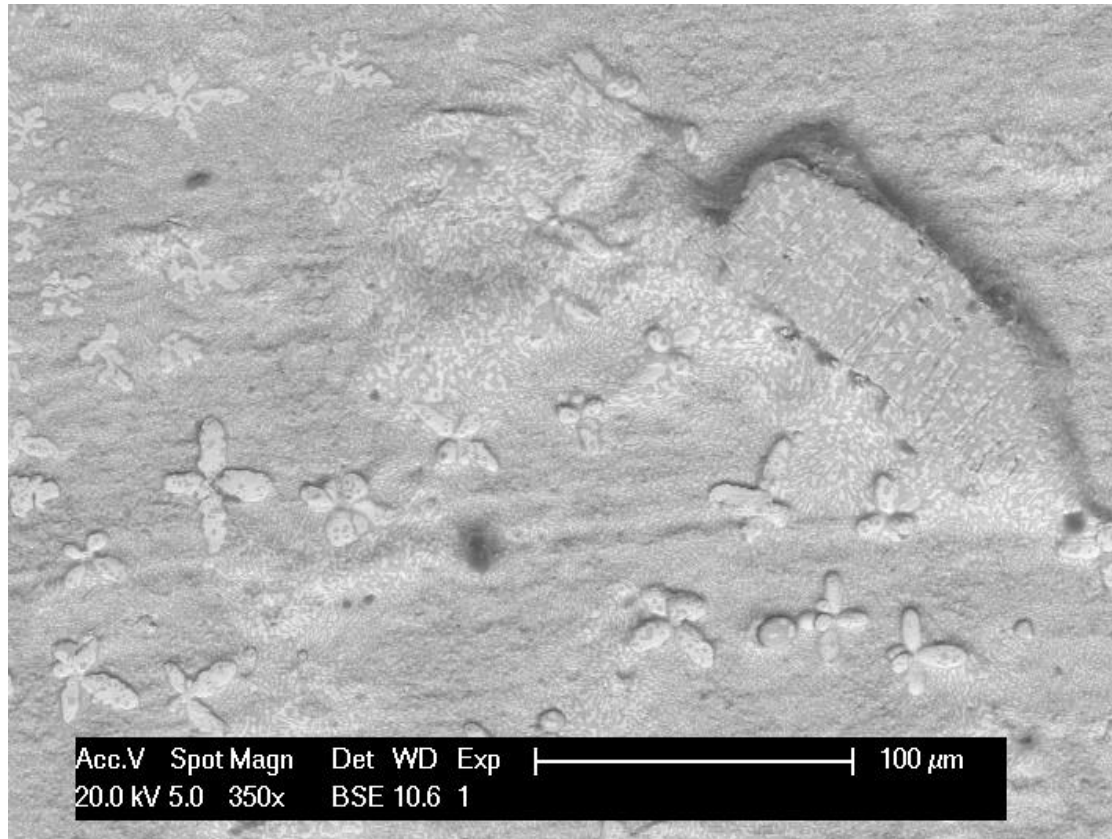
DETEKTOR TÍPUSOK – BSE A+B



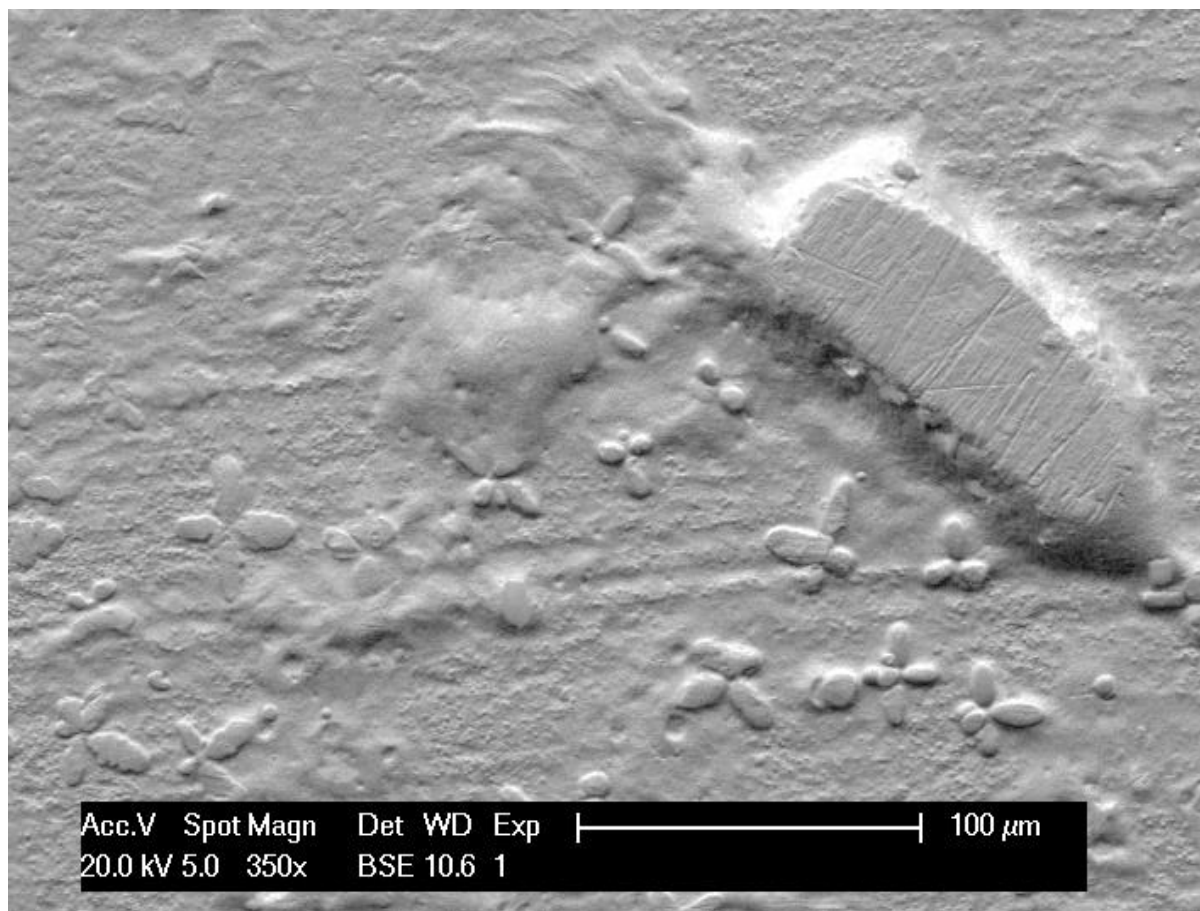
DETEKTOR TÍPUSOK – BSE A



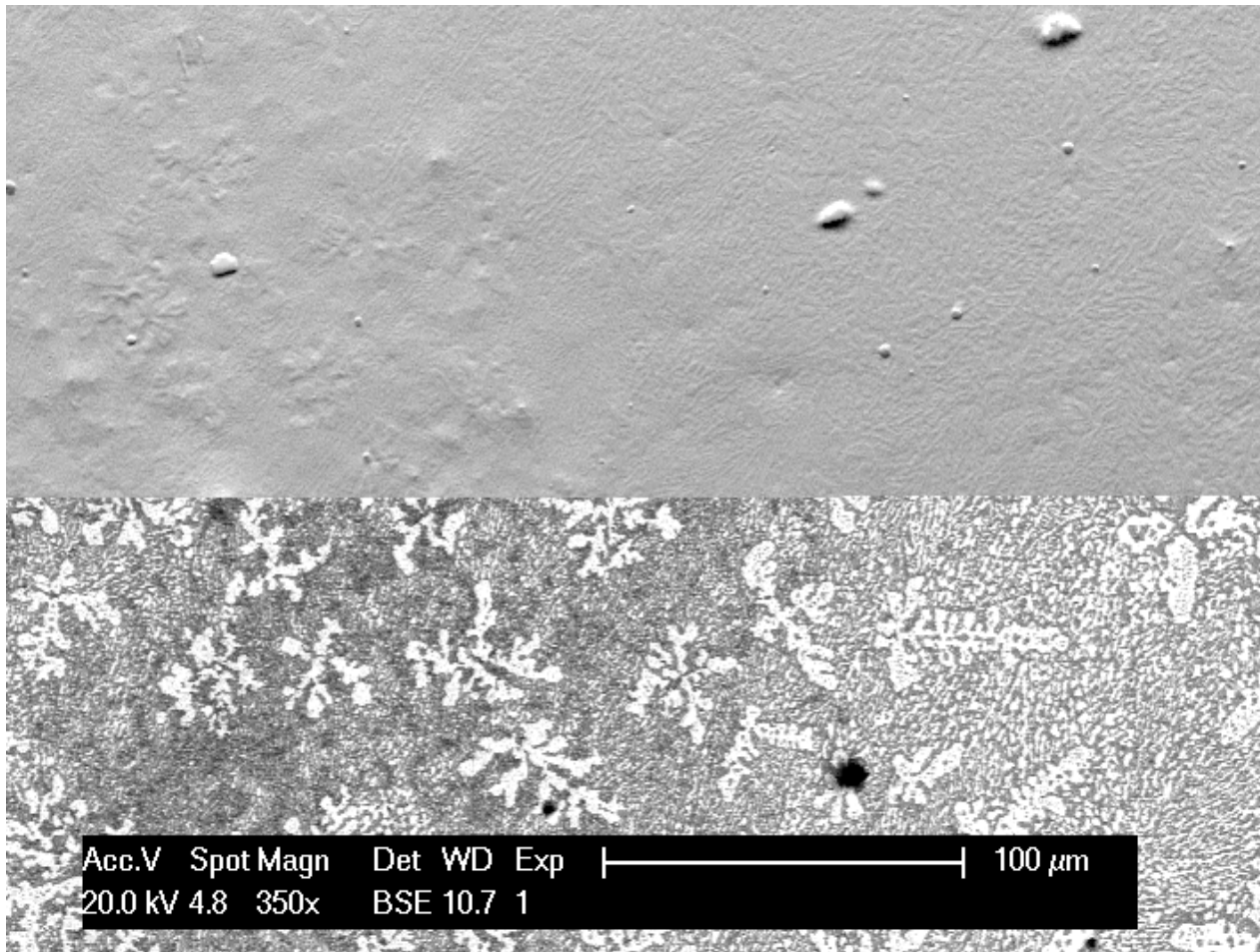
DETEKTOR TÍPUSOK – BSE **B**

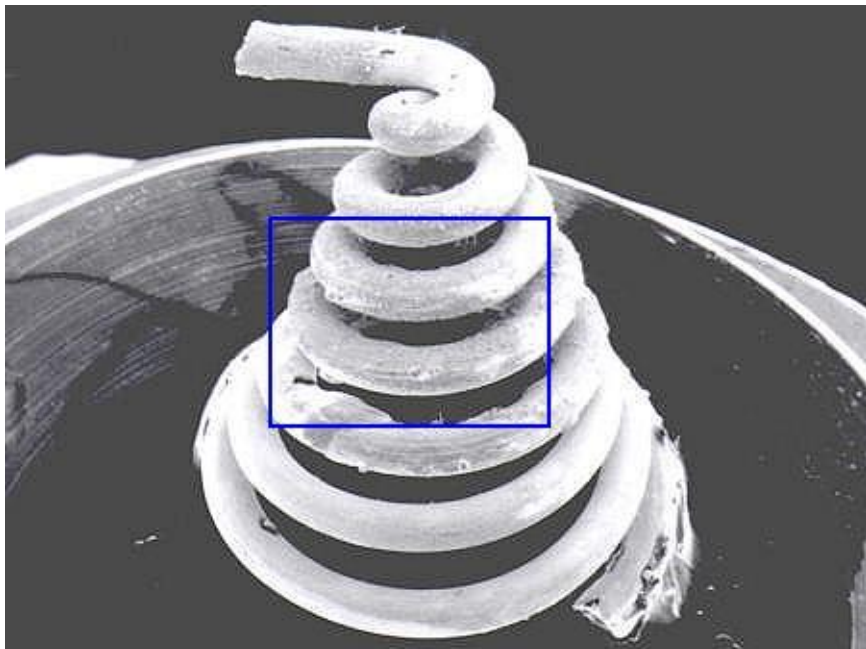


DETEKTOR TÍPUSOK – BSE A-B



DETEKTOR TÍPUSOK – SE vs. BSE





Egy pásztázó elektronmikroszkópban ha nagyobb nagyításban fókuszálunk, akkor a fókusz megmarad kisebb nagyításoknál is.

