

Vybrané kapitoly z elektronové mikroskopie

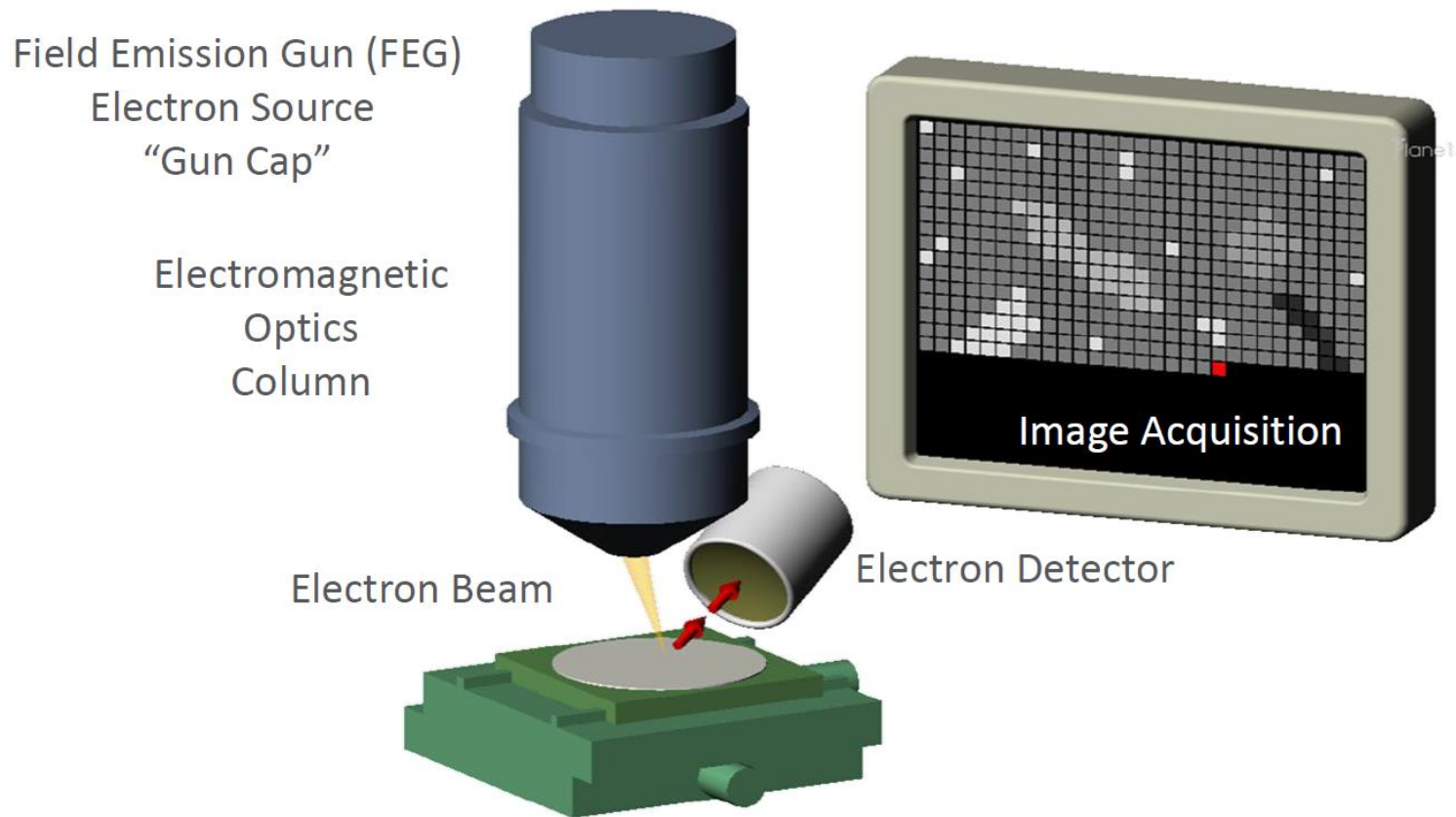
část 8 - Kontrast a zobrazování v SEM

Petr Wandrol

outline

- způsob, kterým je kontrast/obraz v SEM tvořen
 - Typy signálu
 - Typy kontrastu
 - Ukázka kontrastů živě na mikroskopu
- faktory, které kontrast/obraz ovlivňují
 - Energie svazku
 - Vodivost povrchu preparátu
 - Ukázka eliminace nabíjení vzorku
- kontrast v přístroji s fokusovaným iontovým svazkem

Basic Principle of SEM



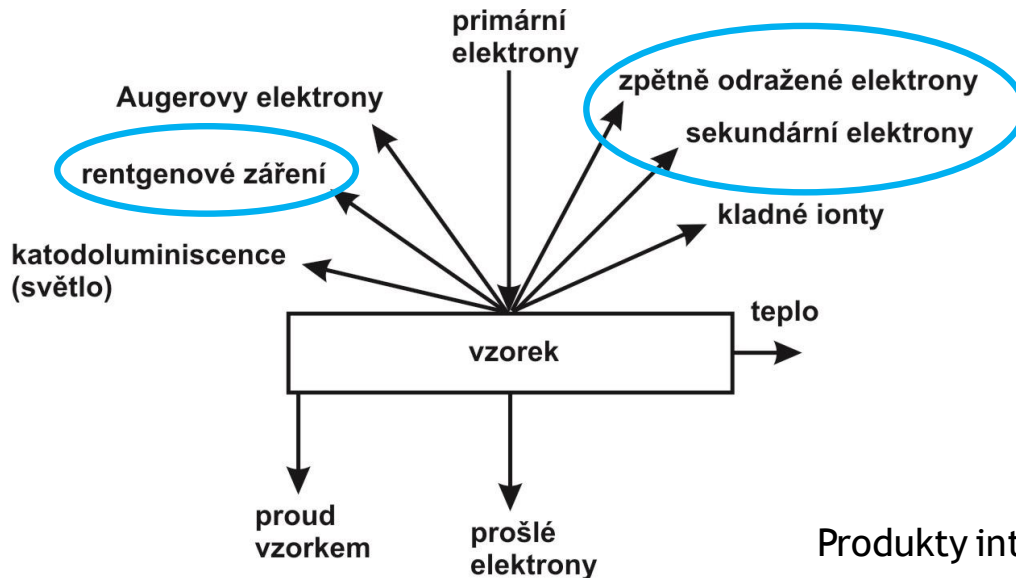
Interakce primárních elektronů se vzorkem

Pružný rozptyl

- rozptyl na jádrech atomů, při němž rozptylovaná částice příliš nemění svou energii, ale mění směr pohybu
- zpětně odražené elektrony
- brzdné rtg. záření

Nepružný rozptyl

- dochází k ionizaci atomu látky na některé zvnitřních obsazených elektronových hladin
- **sekundární elektrony**
- takto vzniklá vakance je v krátké době spontánně zaplněna elektronem z některé vyšší elektronové hladiny
- přebytek energie je pak z atomu emitován buď zářivým jevem (emisí charakteristického rtg. záření) nebo nezářivě - emisí Augerova elektronu



Produkty interakce elektronu s látkou.

Signální elektrony

- Interakční objem a místo vzniku sekundárních a zpětně odražených elektronů a rentgenového záření
- Závisí na energii primárních el. a na hustotě materiálu vzorku

Sekundární elektrony (SE)

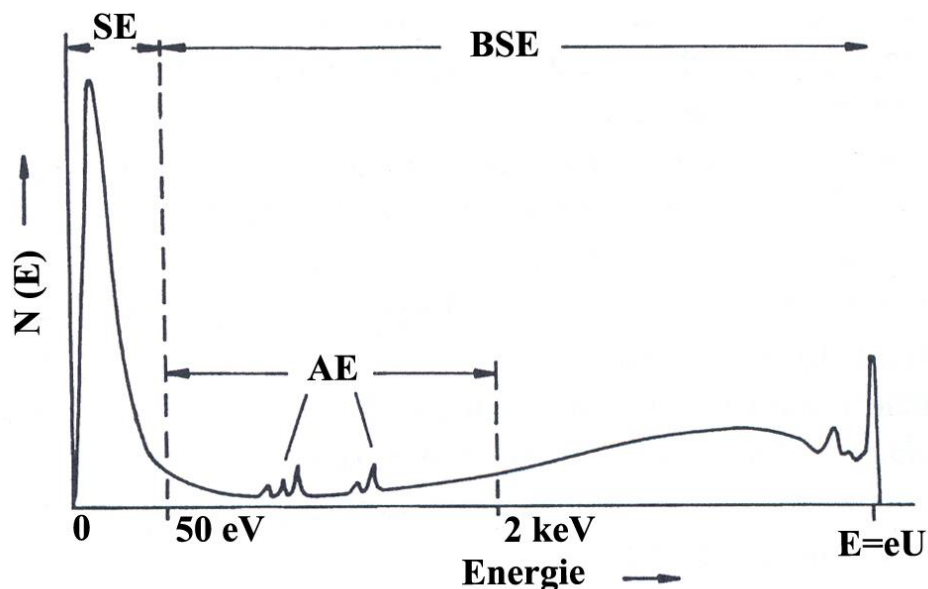
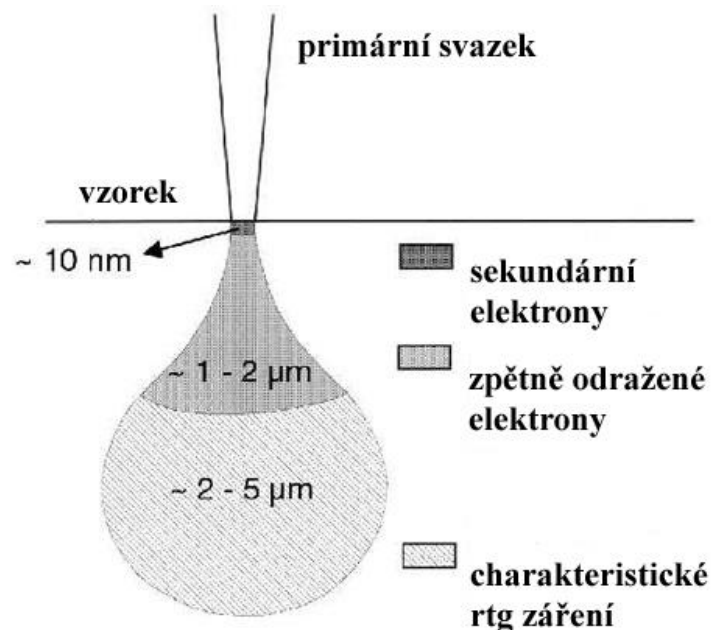
- $E_{SE} \leq 50 \text{ eV}$
- Produkt nepružných srážek
- Koeficient sekundární emise

$$\delta = I_{SE} / I_{PE}$$

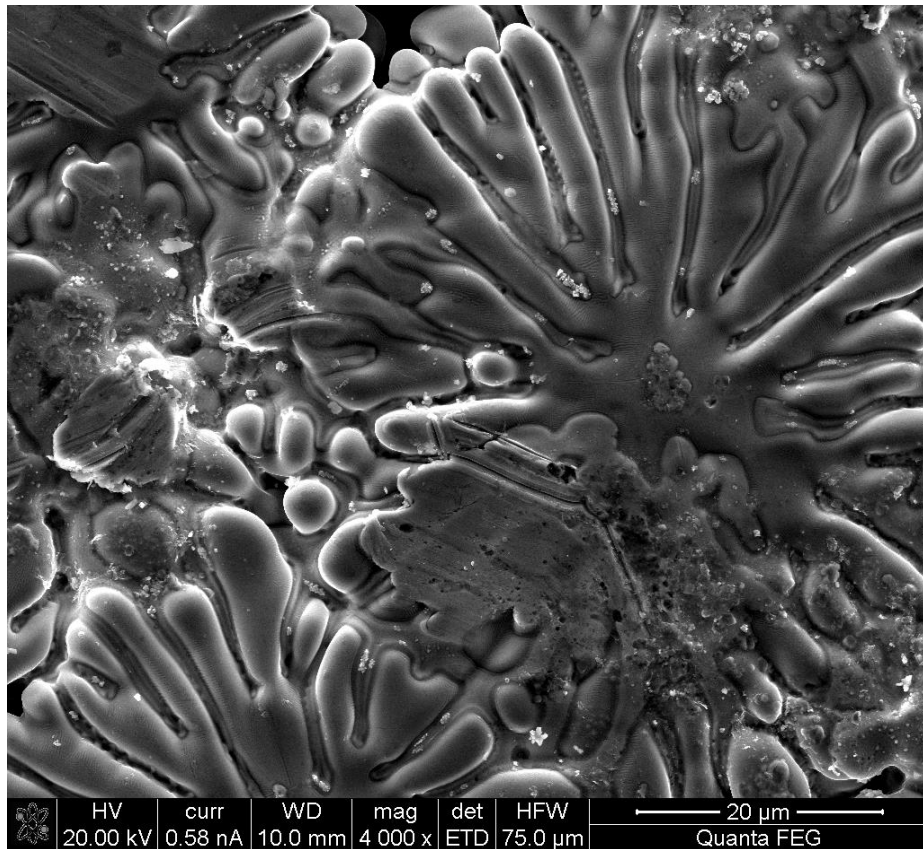
Zpětně odražené elektrony (BSE)

- $50 \text{ eV} \leq E_{BSE} \leq E_{PE}$
- Produkt pružných srážek
- Koeficient zpětného odrazu

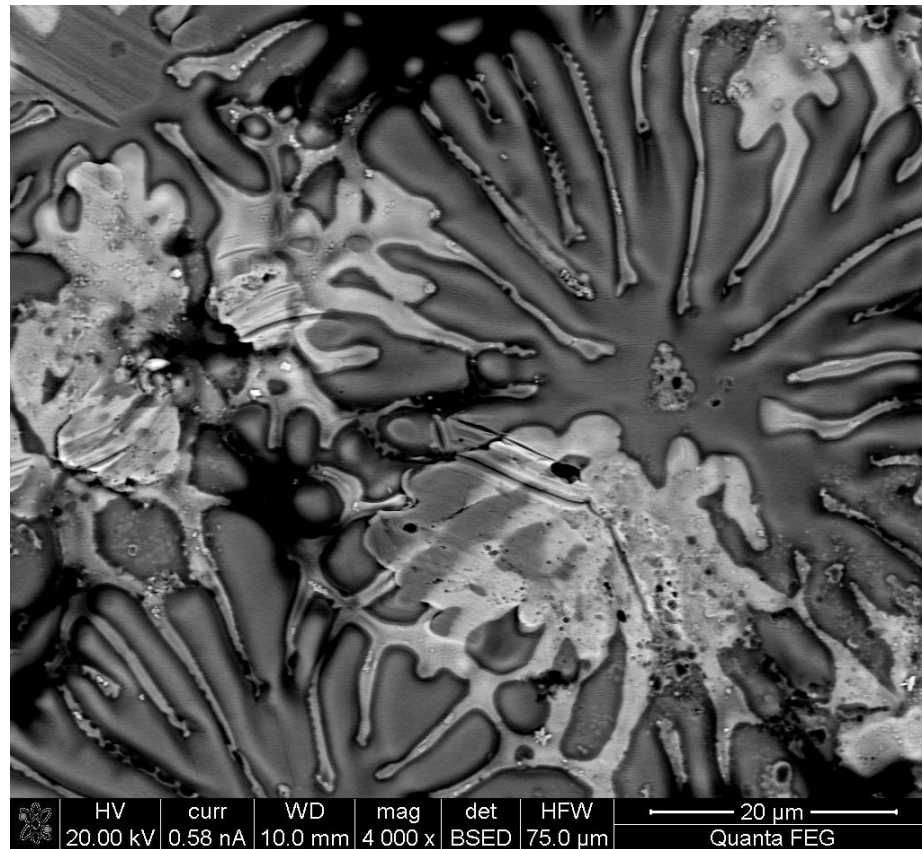
$$\eta = I_{BSE} / I_{PE}$$



Signální elektrony



sekundární elektrony

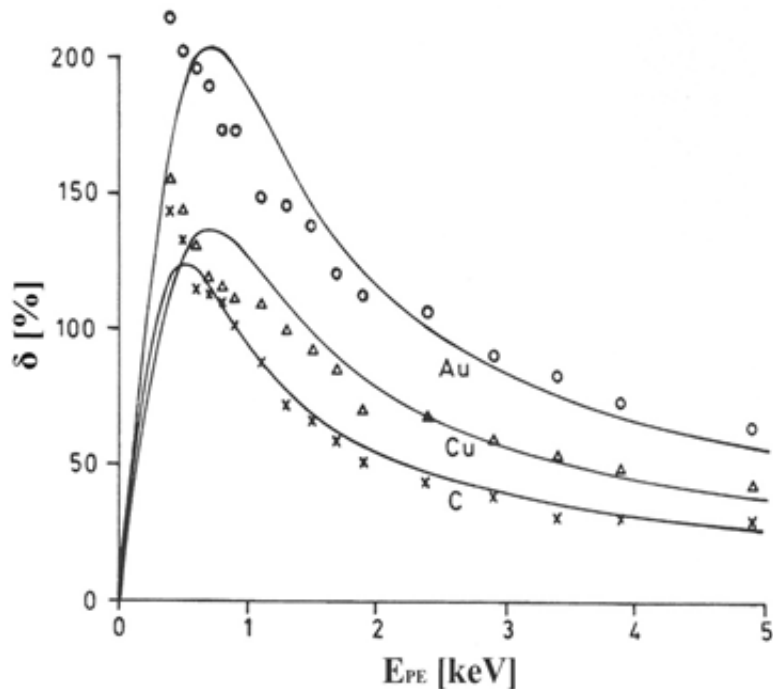


zpětně odražené elektrony

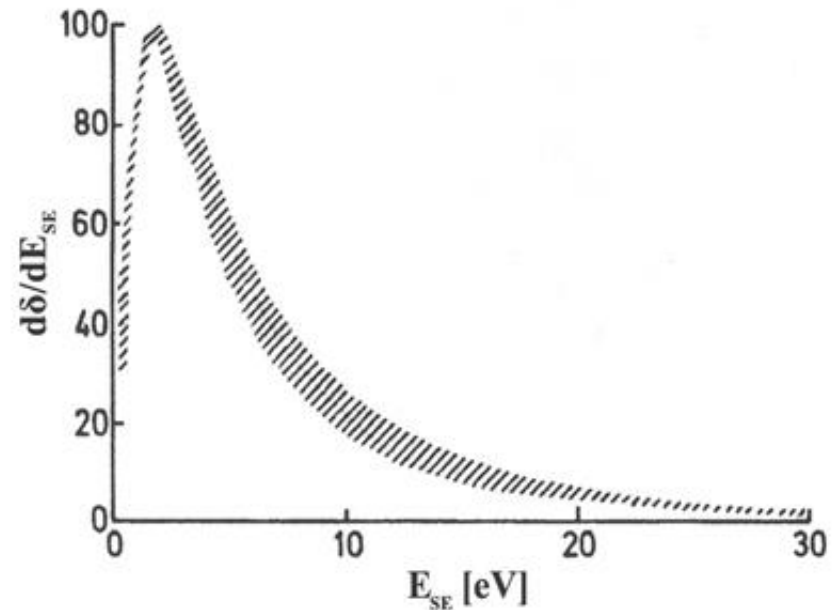
Sekundární elektrony

Sekundární elektrony (SE)

Koeficient sekundární emise: $\delta = I_{SE} / I_{PE}$



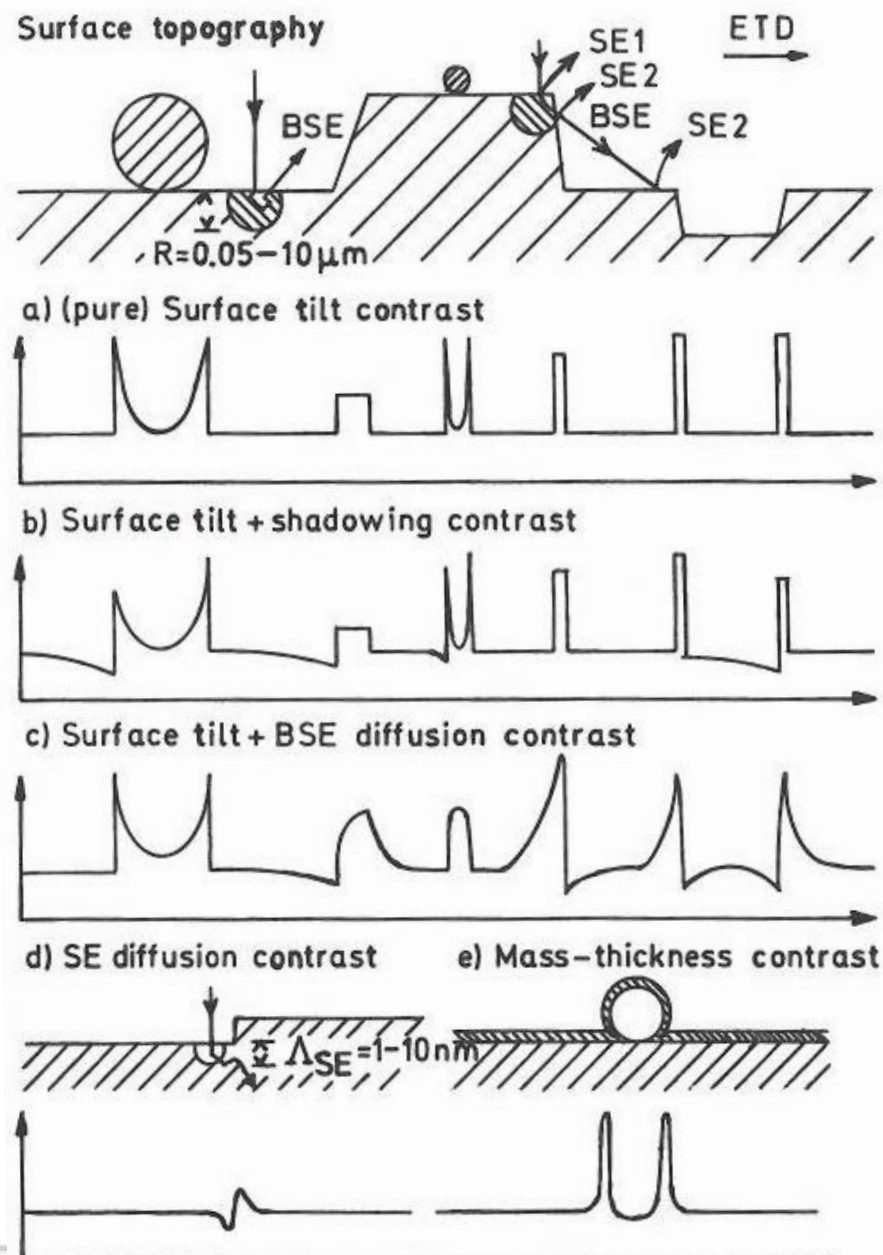
Totální výtěžek σ jako funkce energie primárních elektronů.



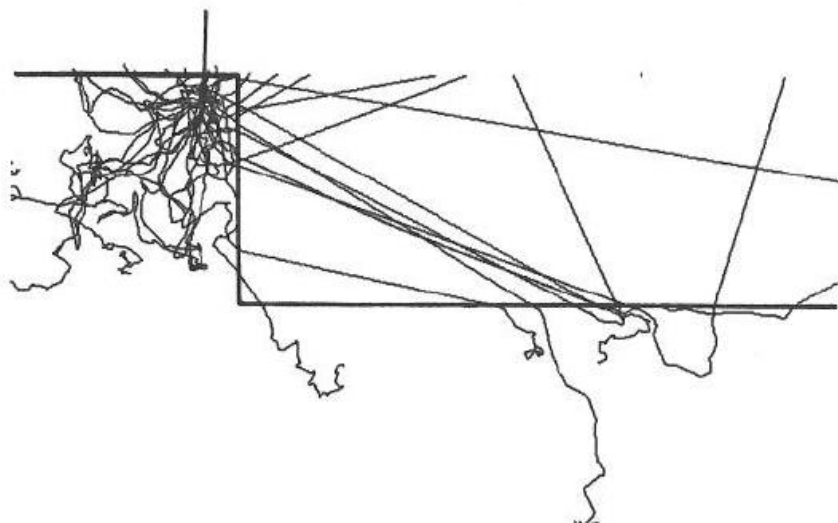
Energiové spektrum SE emitovaných z různých materiálů.

SE topografický kontrast

- primárně pomocí sekundárních elektronů
- Závisí na následujících faktorech:
 - Lokální náklon povrchu
 - Pozice detektoru
 - Difuzi SE a BSE ve vzorku



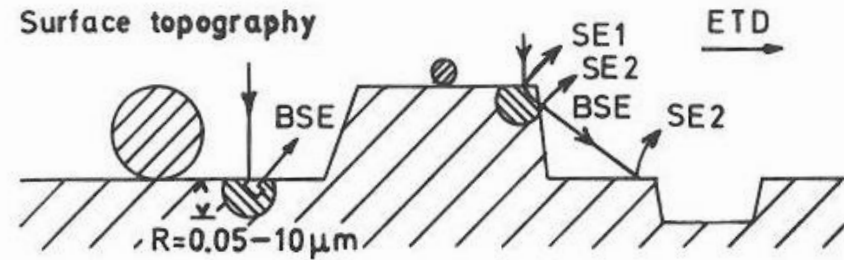
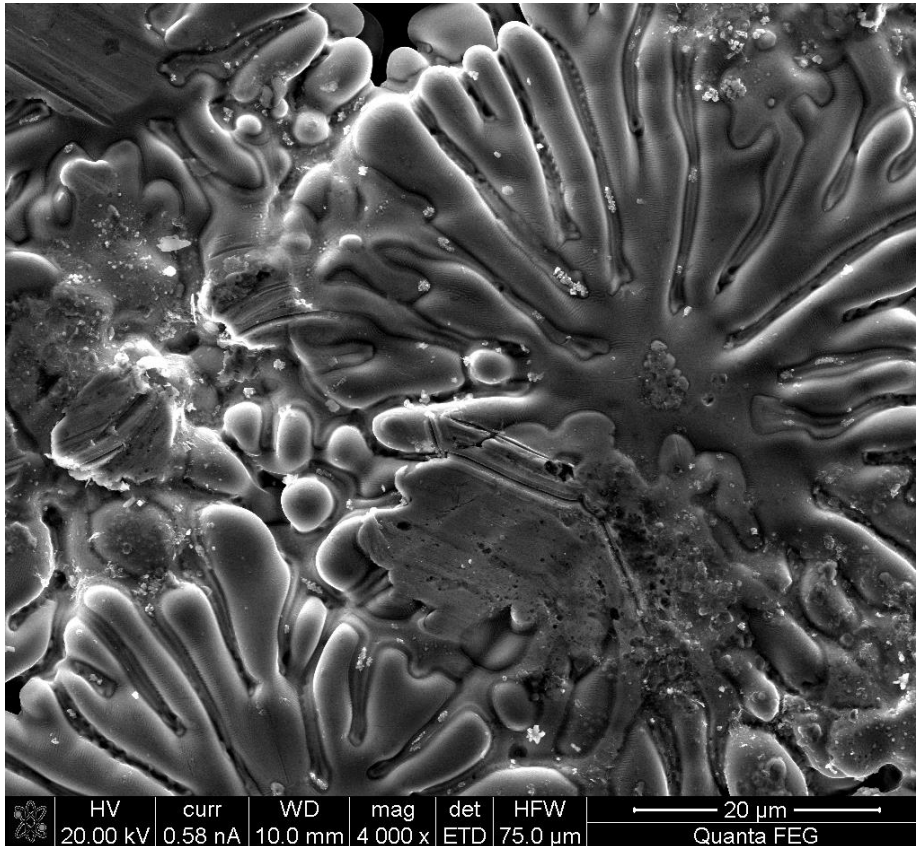
Hranový jev



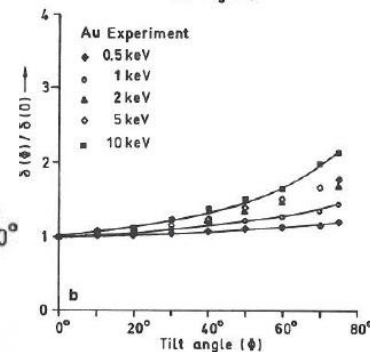
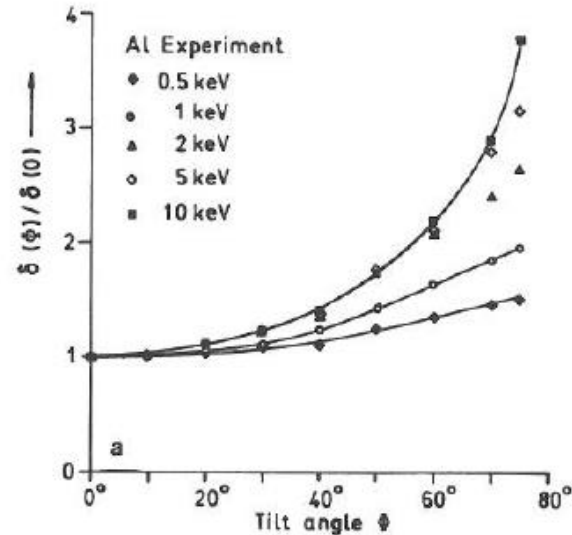
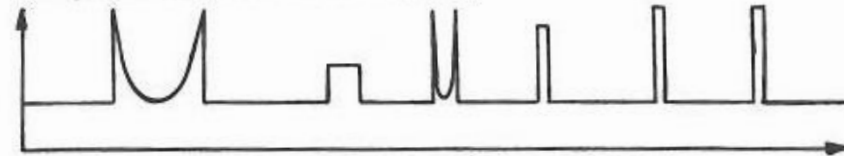
- Důsledek difuze elektronů v objemu vzorku shodném s elektronovým doletem
- závisí na energii primárního svazku

SE topografický kontrast

Lokálního náklon povrchu



a) (pure) Surface tilt contrast

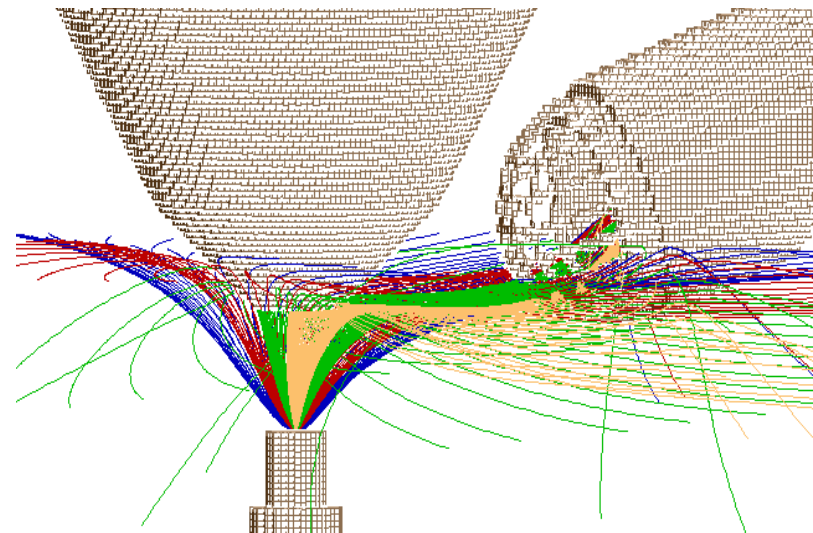
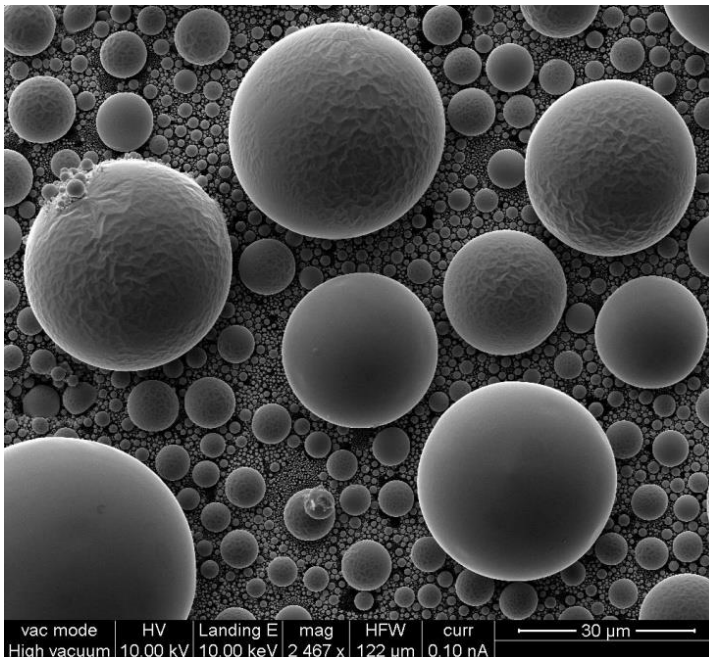
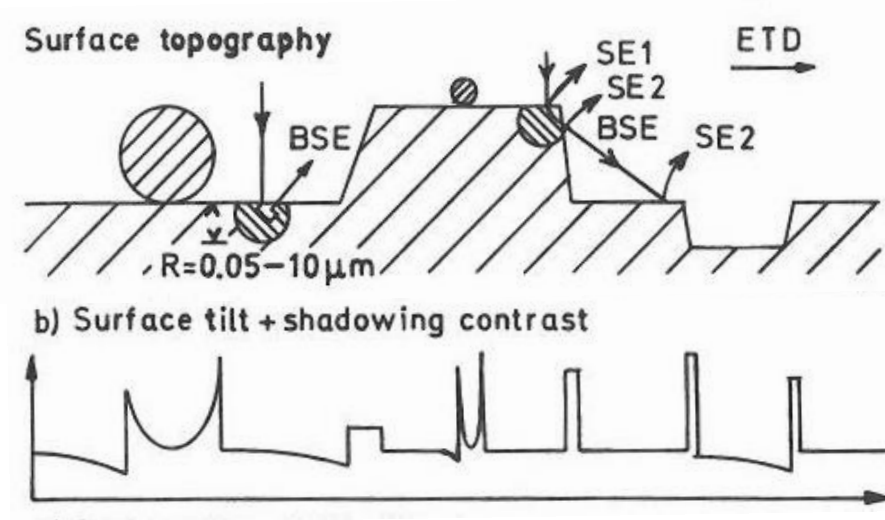


SE topografický kontrast

Vliv pozice detektoru

Detektor ze strany komory vzorku

- SE emitované směrem k detektoru jsou detekovány s větší pravděpodobností než SE emitované v odvráceném směru

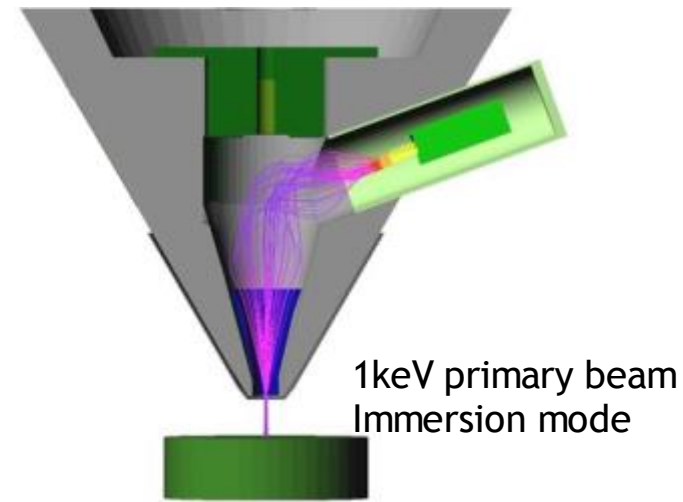
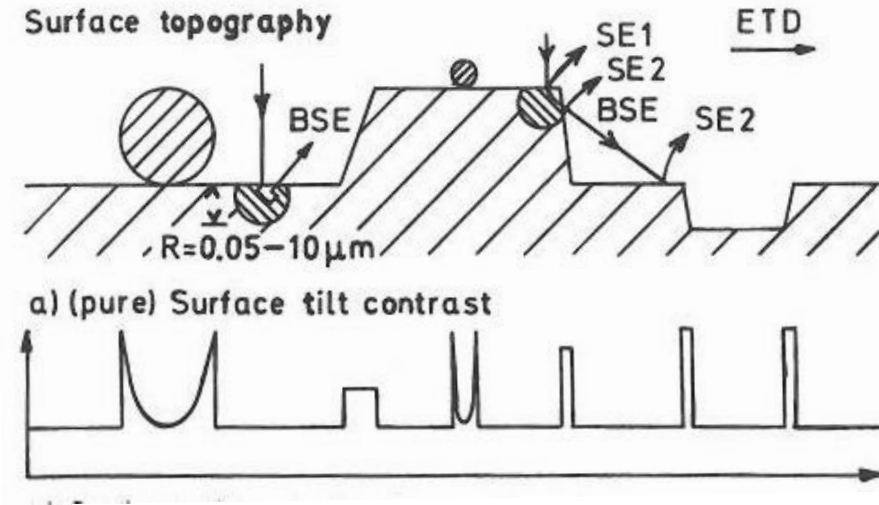
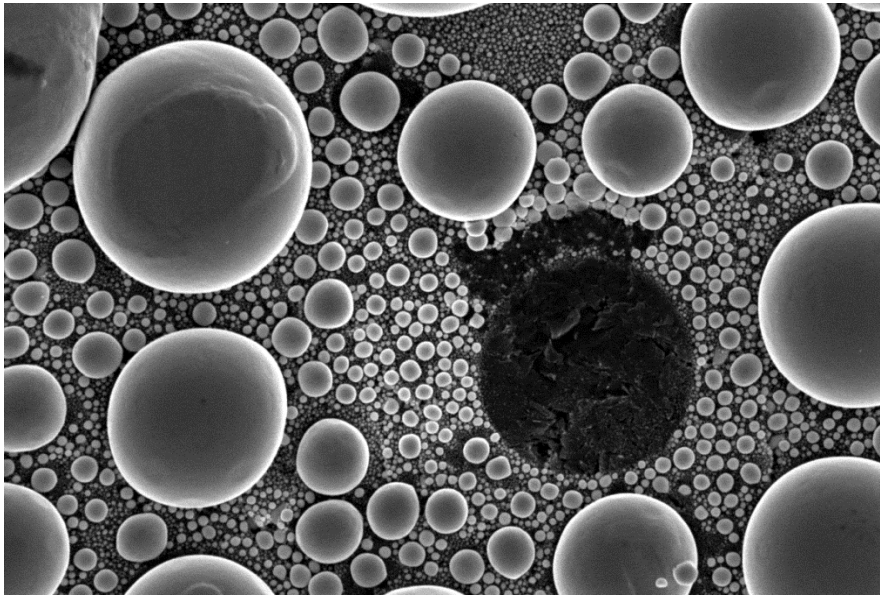


SE topografický kontrast

Vliv pozice detektoru

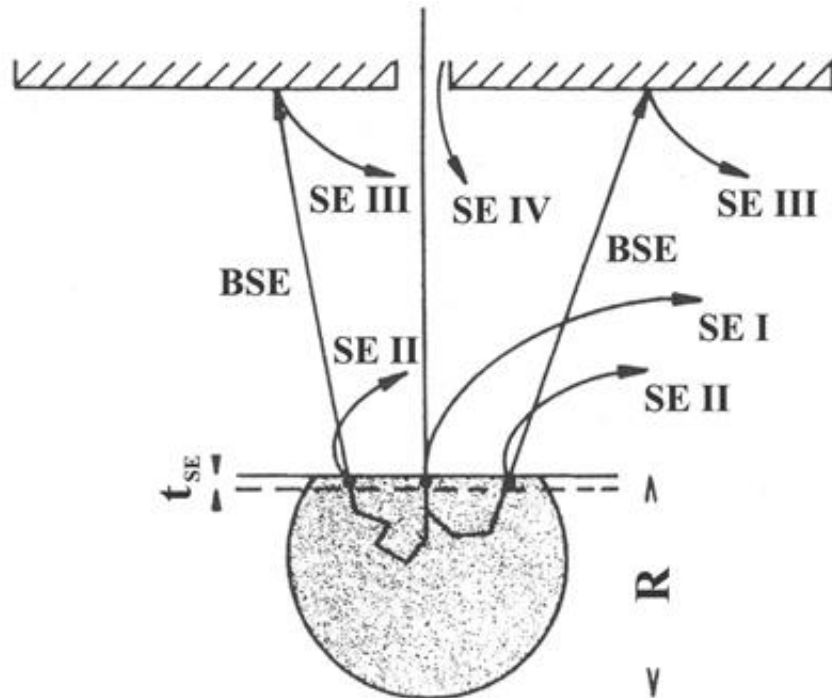
Detektor v objektivové čočce

- SE emitované ve všech azimutálních úhlech jsou detekovány



SE topografický kontrast

- Difuzní kontrast



Místo a způsob vzniku sekundárních elektronů.

SE I

- generované primárními elektrony po dopadu na vzorek
- emisní plocha srovnatelná se stopou elektronového svazku

SE II

- generované zpětně odraženými elektrony, které se vrací zpět k povrchu vzorku - zdroj materiálové kontrastu SE
- emise z větší hloubky a poloměru než SE I

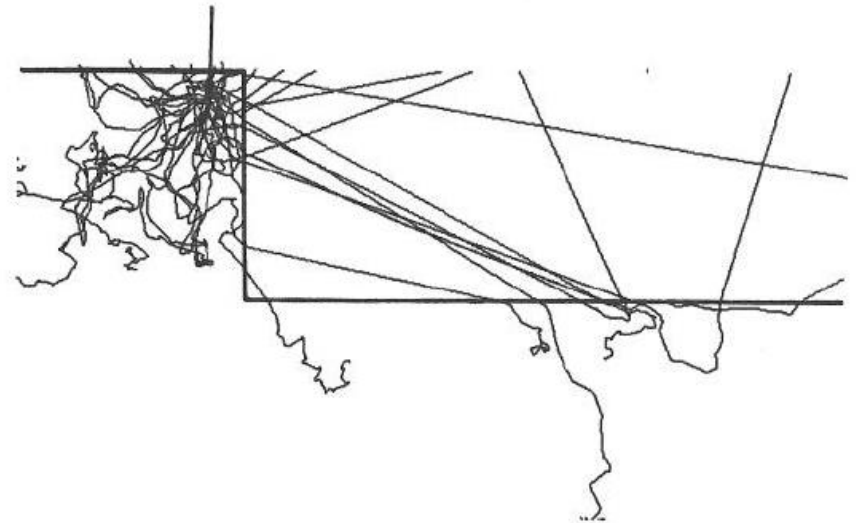
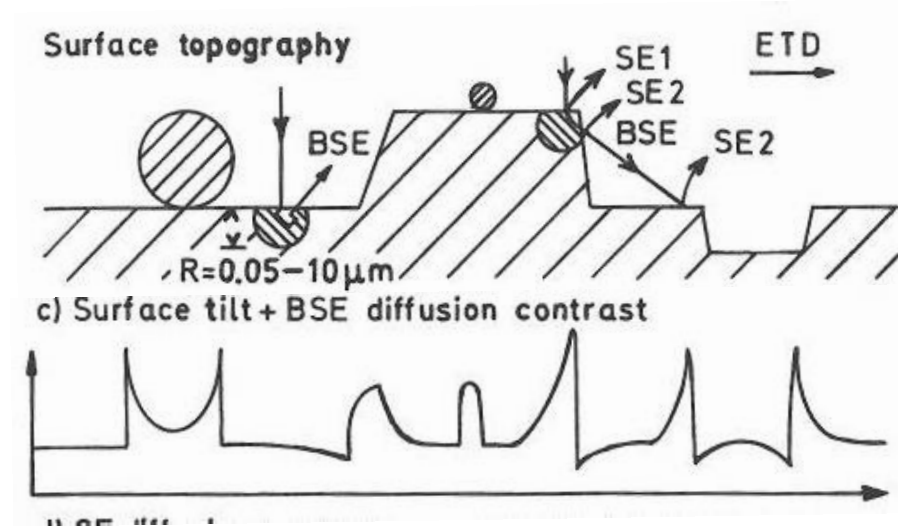
SE III

- generované zpětně odraženými elektrony po dopadu na stěny komory vzorku
- zavádí do obrazu BSE signál
- horší rozlišení

SE topografický kontrast

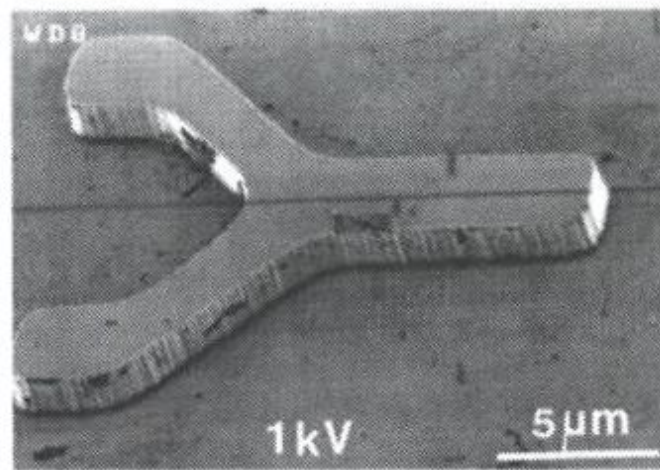
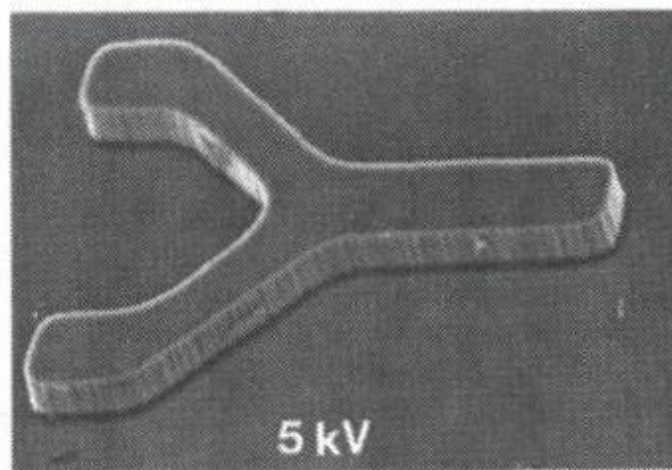
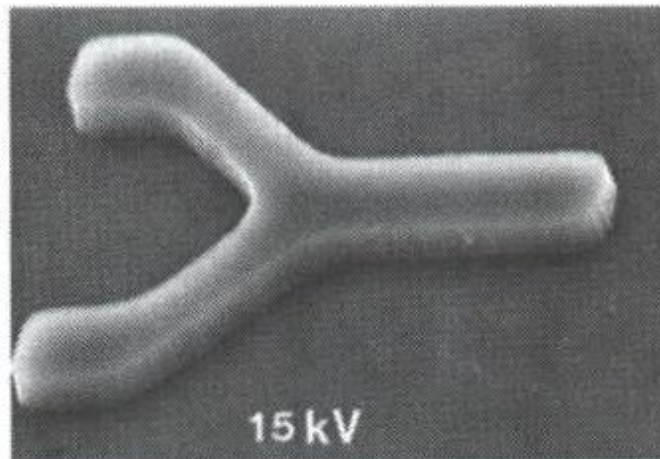
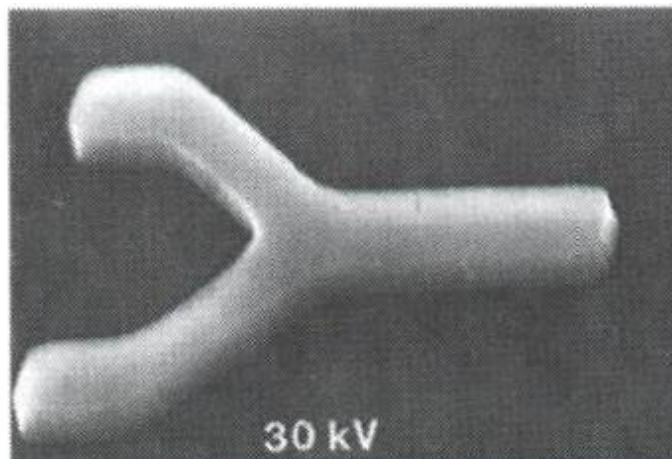
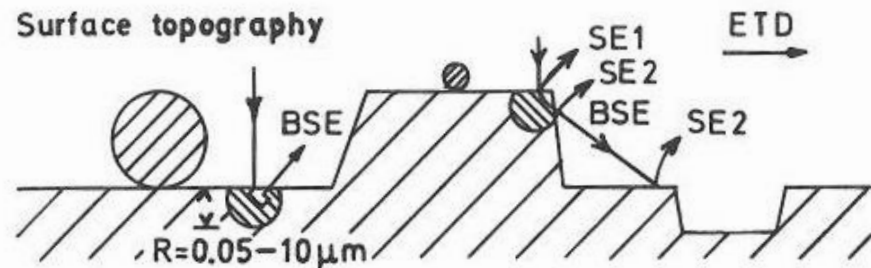
Difuzní kontrast

- Důsledek difuze elektronů v objemu vzorku shodném s elektronovým doletem v případě BSE difuzního kontrastu ($R \sim 0.05 - 10 \mu\text{m}$)
- závisí na energii primárního svazku
- pro SE difuzní kontrast se maximální hloubka pohybuje od 0.5 do 20 nm

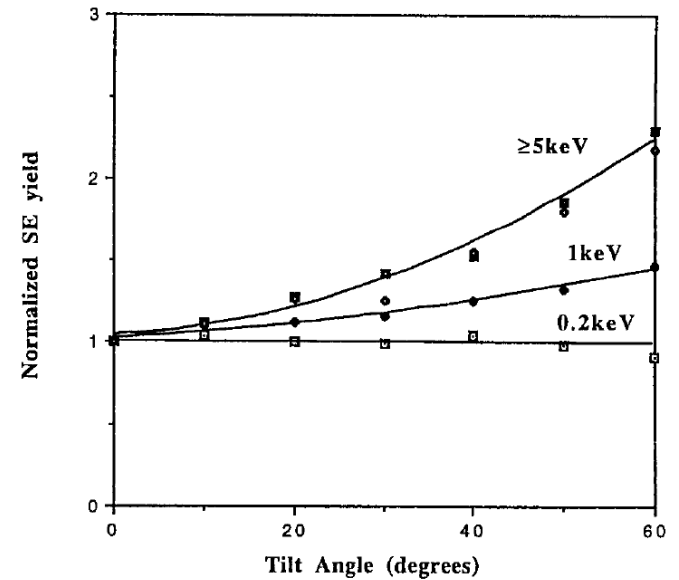
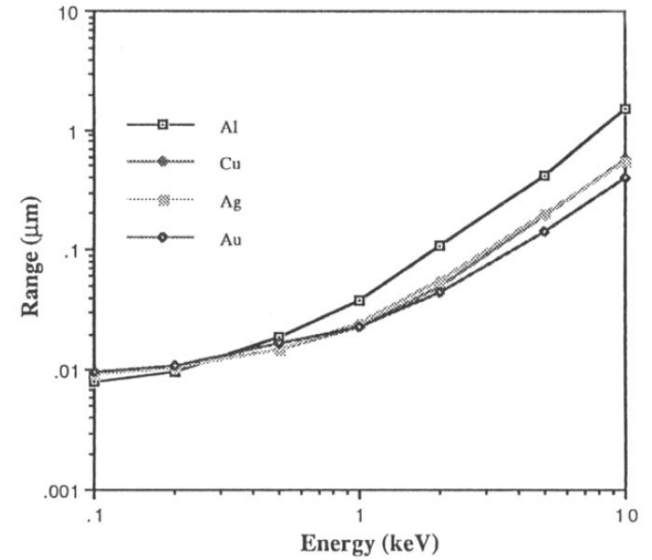
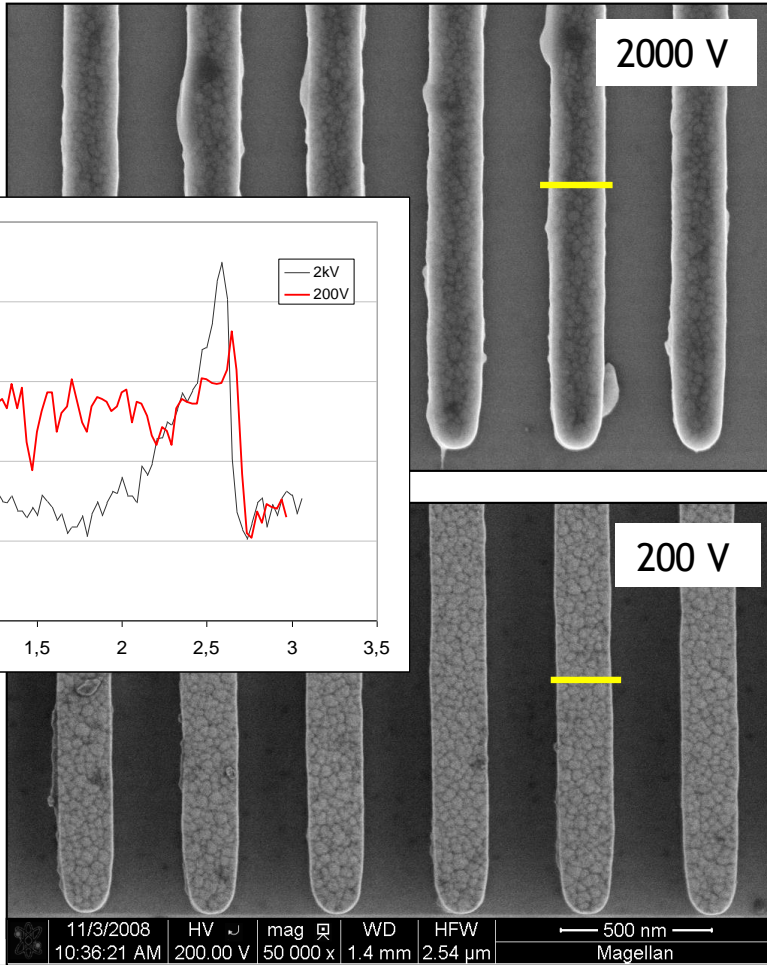


SE topografický kontrast

Difuzní kontrast



Vliv energie primárního svazku na zobrazení hran

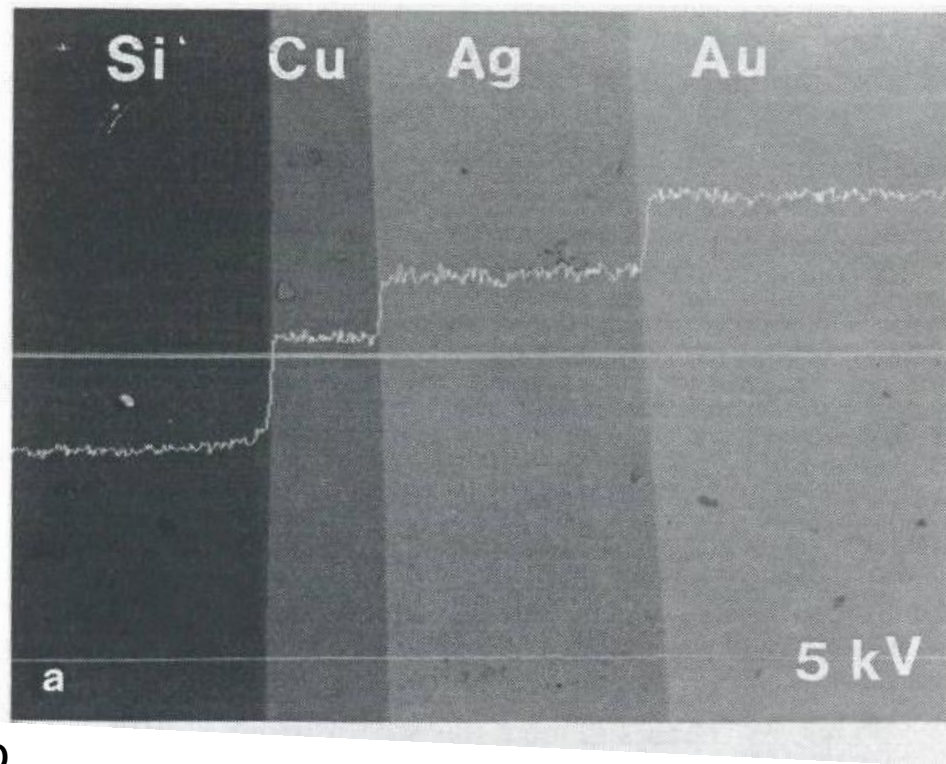
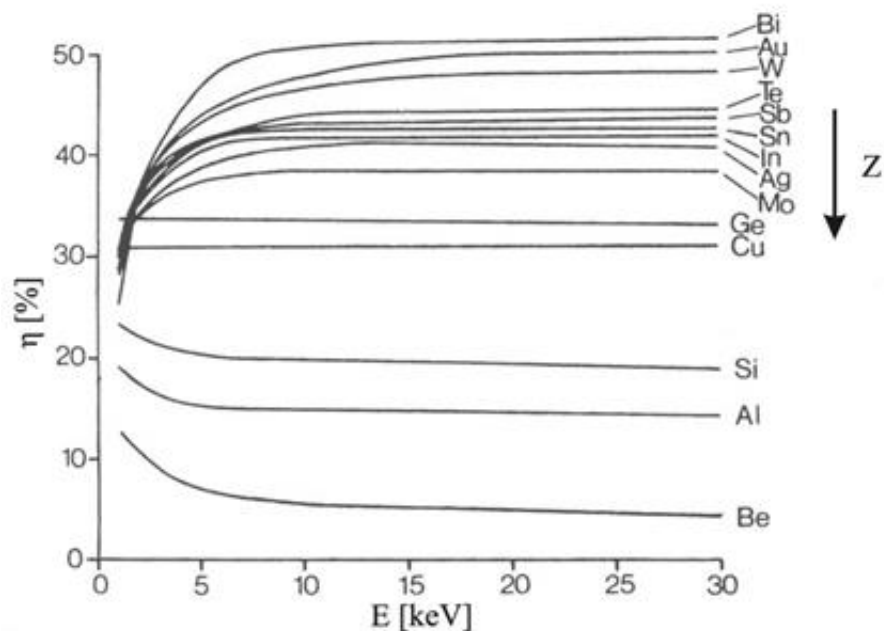


Source: Joy and Joy, Micron
27(3-4), 247-263 (1996)

Zpětně odražené elektrony

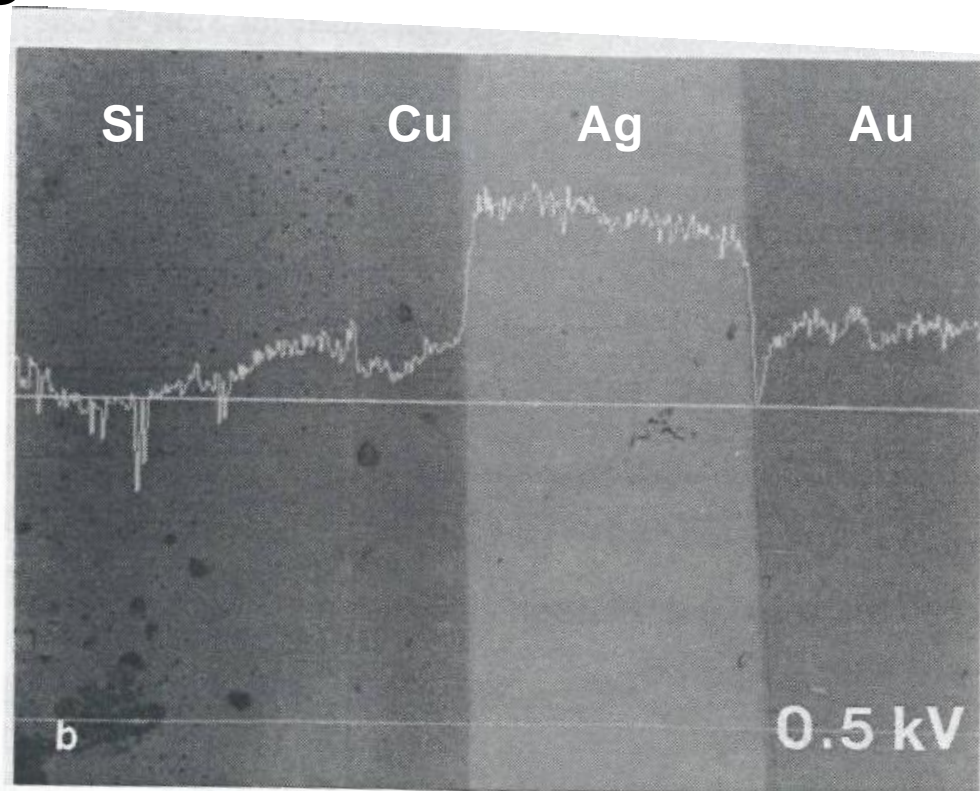
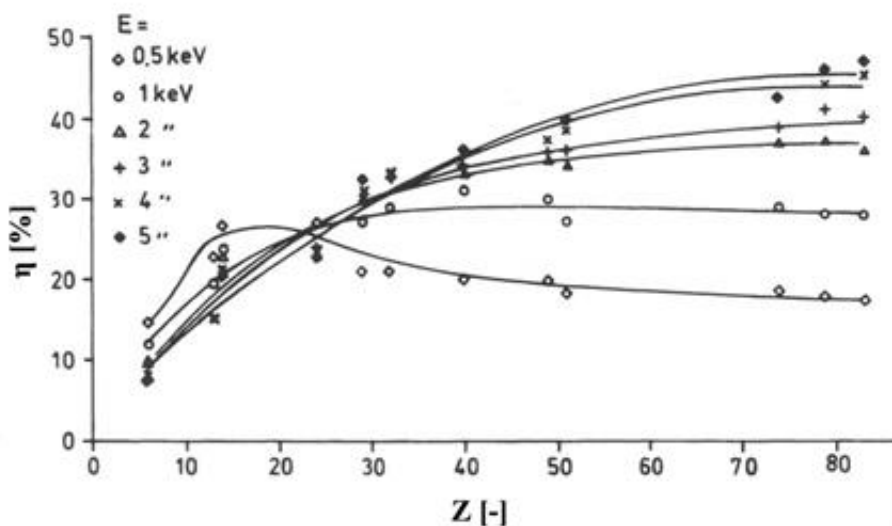
Materiálový kontrast Zpětně odražené elektrony (BSE)

Koeficient zpětného odrazu: $\eta = I_{\text{BSE}} / I_{\text{PE}}$



Změřené závislosti koeficientu zpětného odrazu η na energii PE a na atomovém čísle Z .

Materiálový kontrast BSE při nízkých energiích



Změřené závislosti koeficientu zpětného odrazu η na atomovém čísle vzorku Z pro energie elektronů 0,5 až 5 keV.

Materiálový/topografický kontrast

Úhlové rozdělení BSE

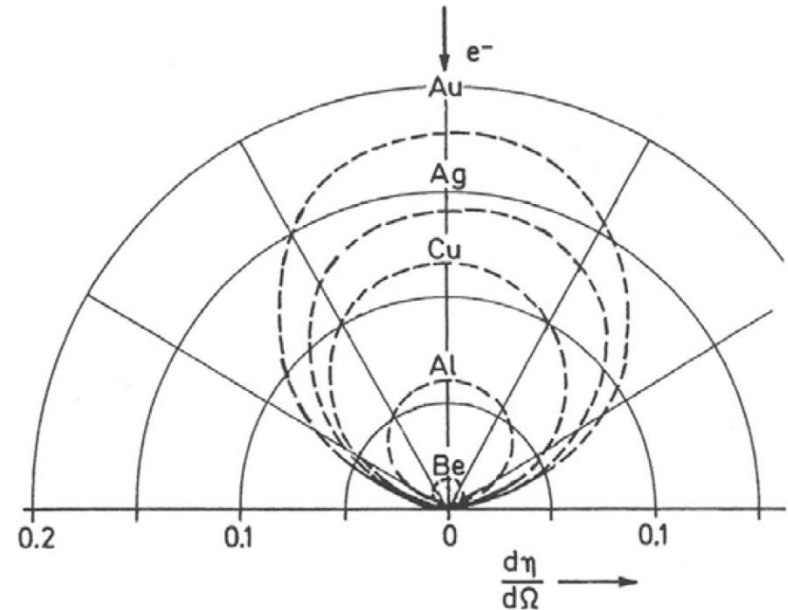
Při kolmém dopadu

- koeficient zpětného odrazu se zvyšuje se Z pro elektrony emitované v ose primárního svazku
- se zvyšujícím se úhlem od osy svazku závislost na Z slábne

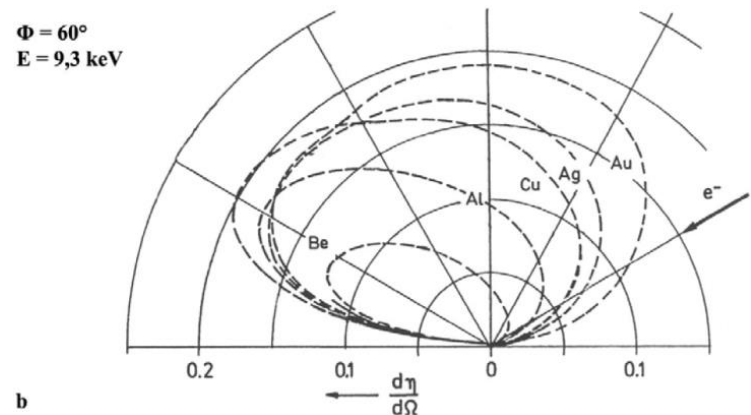
Při dopadu pod velkými úhly

- spektrum vykazuje dvě maxima
- BSE, které po vícenásobném rozptylu opustí vzorek v ose primárního svazku – platí závislost η na Z
- BSE, které po jednom odrazu opouští vzorek pod velkými úhly a η je nezávislé na Z

$$\Phi = 0^\circ$$
$$E = 9,3 \text{ keV}$$



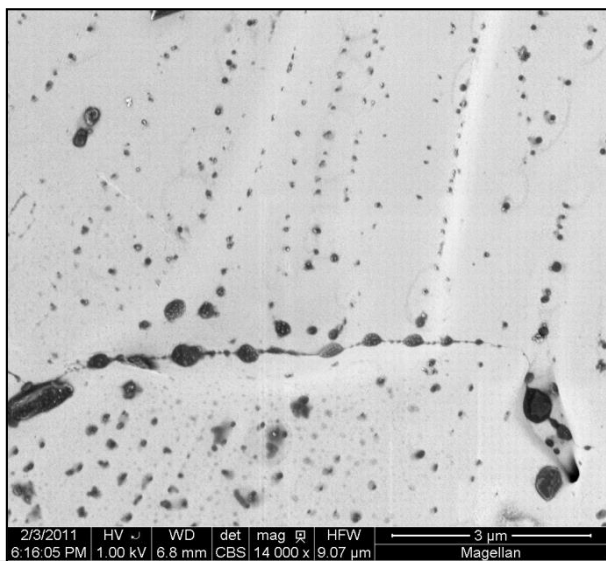
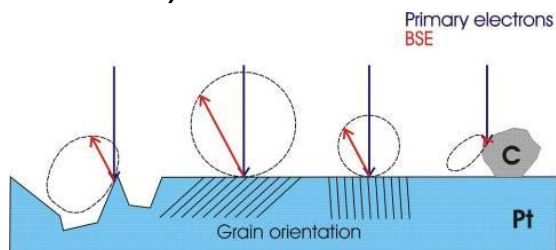
$$\Phi = 60^\circ$$
$$E = 9,3 \text{ keV}$$



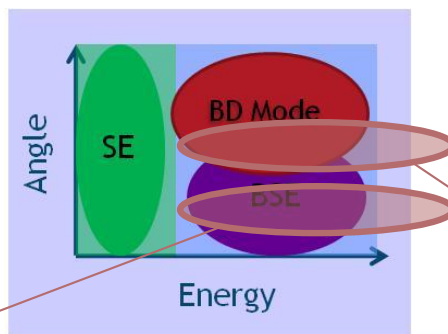
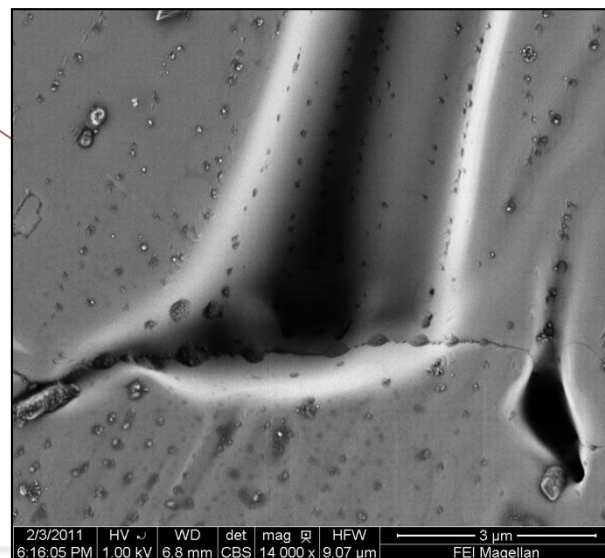
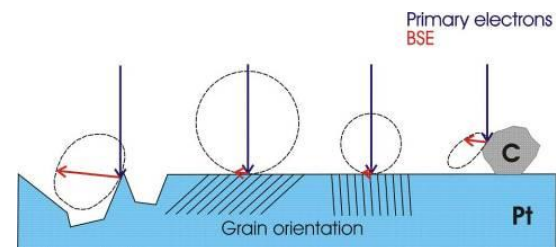
Materiálový/topografický kontrast

Úhlové rozdělení BSE

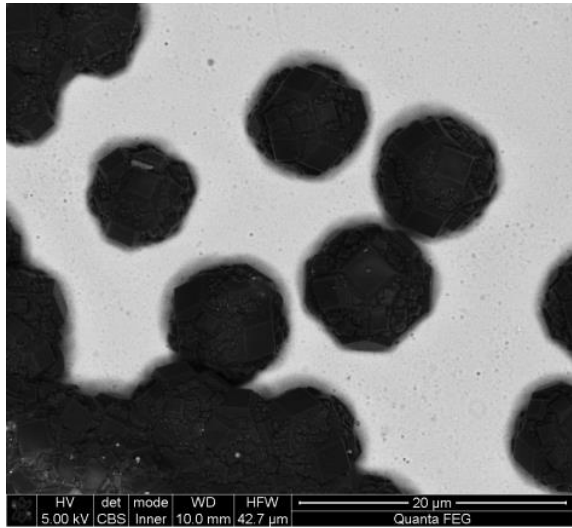
Nízkoúhlové BSE (opouští vzorek v ose primárního svazku)



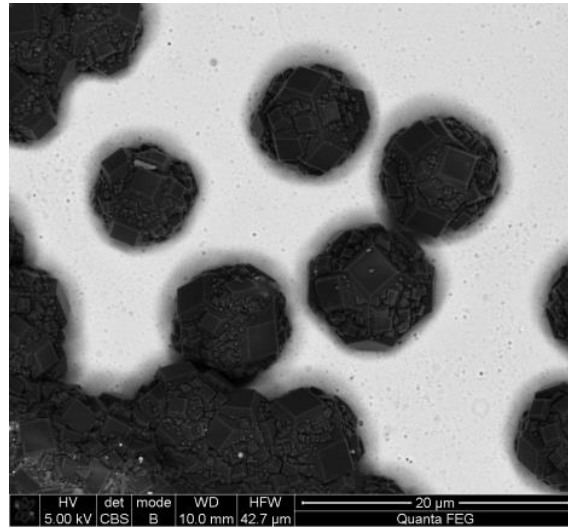
Vysokoúhlové BSE (opouští vzorek paralelně s povrchem vzorku)



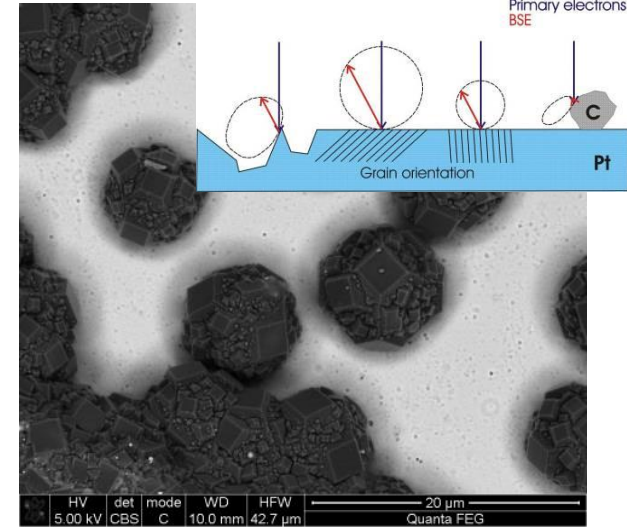
Materiálový/topografický kontrast: Úhlové rozdělení BSE



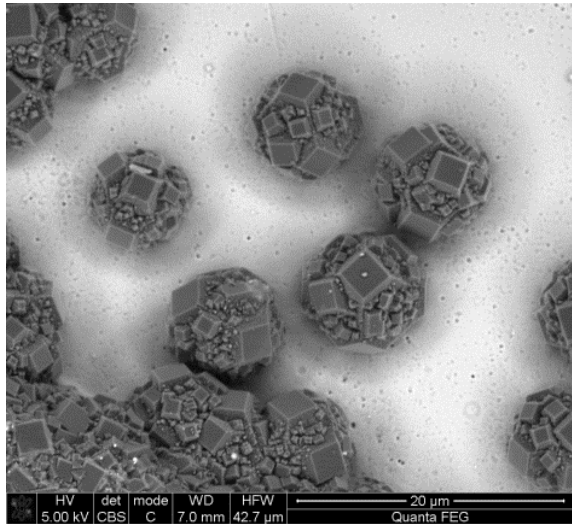
18.9°-24.5°



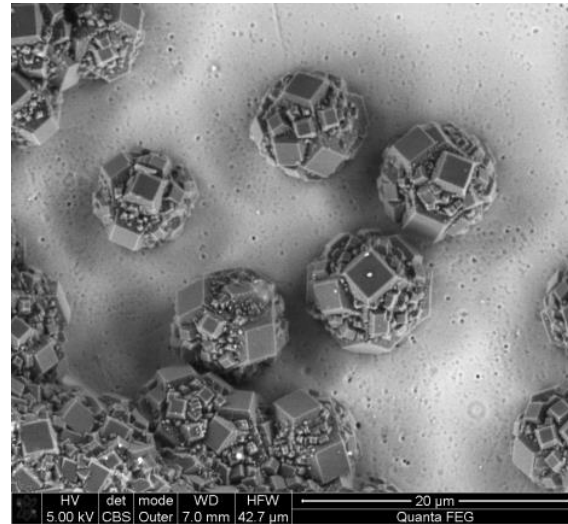
24.5°-32.8°



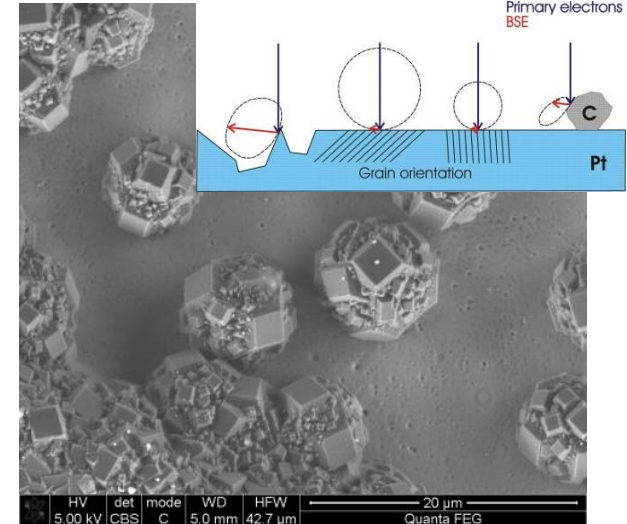
32.8°-40.7°



46.1°-54.2°



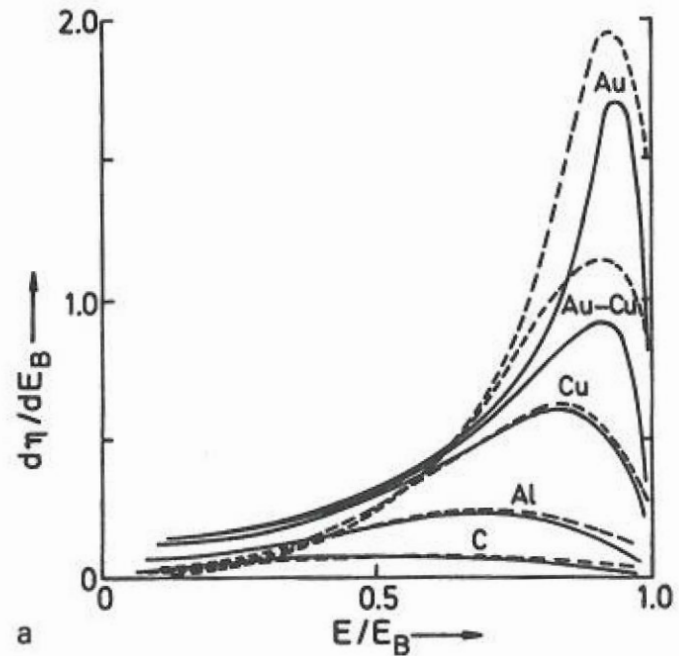
54.2°- 60.8°



60.4°-66.9°

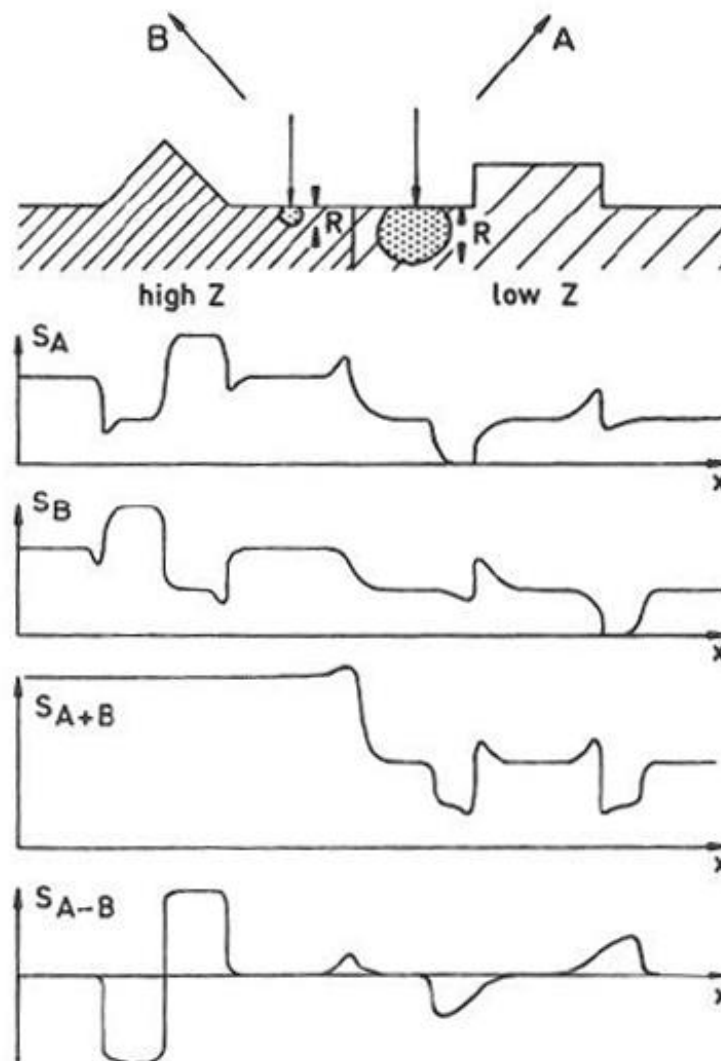
Materiálový kontrast - energiové rozdělení BSE

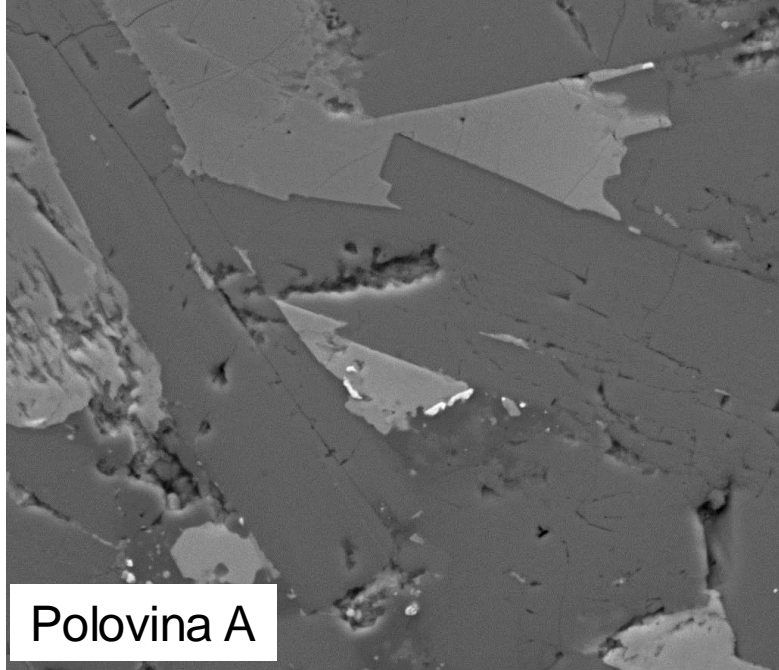
- Maximum na energii blízké energii primárního svazku
- s klesajícím Z se maximum posouvá k nižším energiím
- nízkoztrátové BSE - prošly pouze jedním odrazem s minimální ztrátou energie v hloubce shodné s hloubkou vzniku SE
- Závislost η na Z v nízkoenergiové oblasti BSE spektra klesá/zaniká



Topografický kontrast pomocí BSE

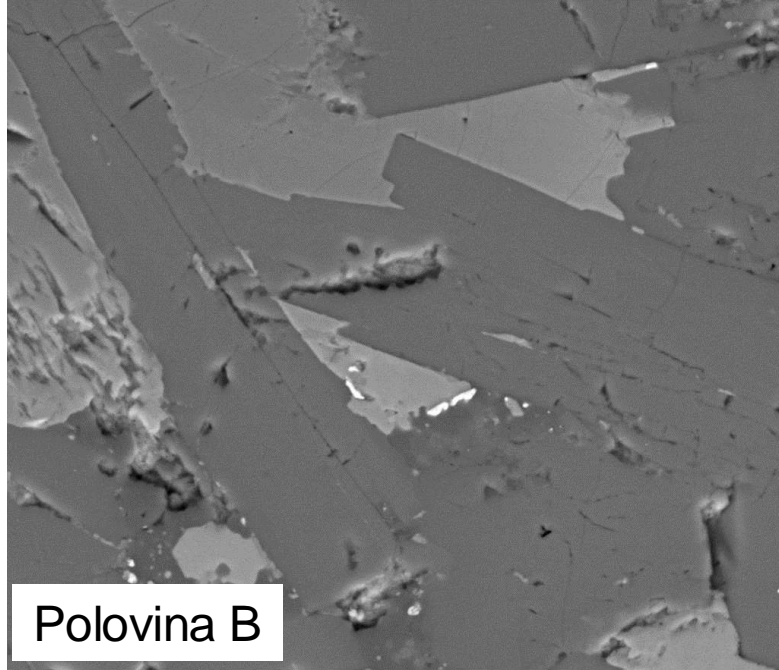
- BSE detektor rozdělený na dvě poloviny
- Součet signálu z obou polovin = materiálový kontrast
- Rozdíl signálů = topografický kontrast
- Každá polovina zvlášť = směrový kontrast





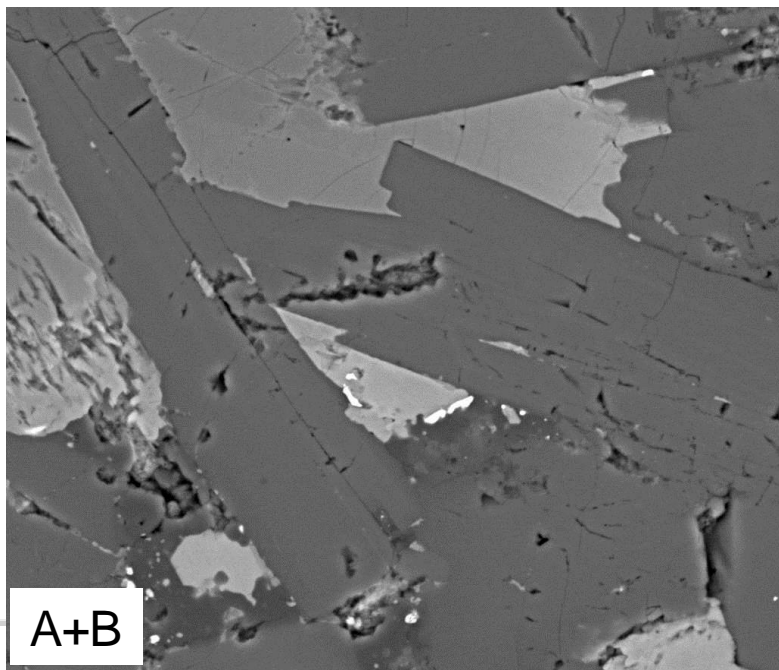
Polovina A

HV	Spot	Mag	Det	Sig	WD	Mode	—20 µm—
20.0 kV	4.5	1600x	SSD	BSE	10.00 mm	A	



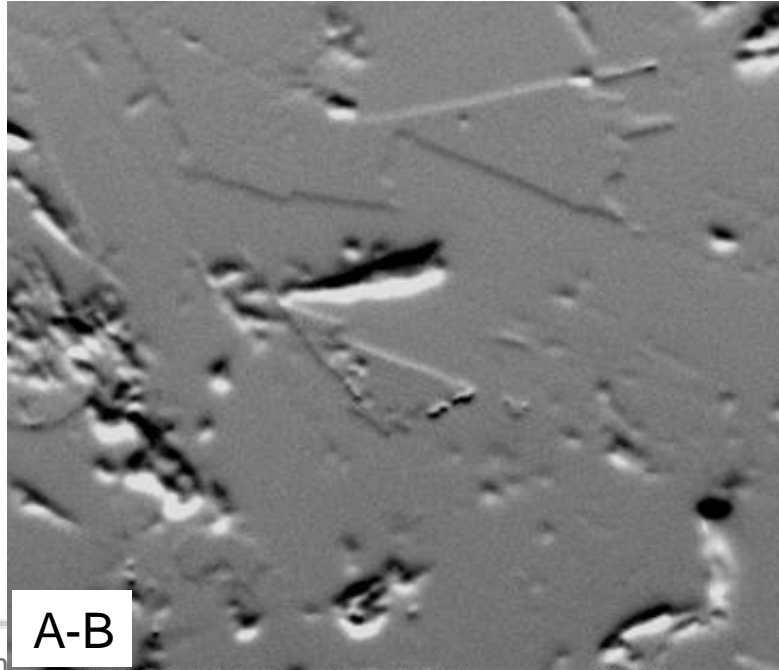
Polovina B

HV	Spot	Mag	Det	Sig	WD	Mode	—20 µm—
20.0 kV	4.5	1600x	SSD	BSE	10.00 mm	B	



A+B

HV	Spot	Mag	Det	Sig	WD	Mode	—20 µm—
20.0 kV	4.5	1600x	SSD	BSE	10.00 mm	A+B	



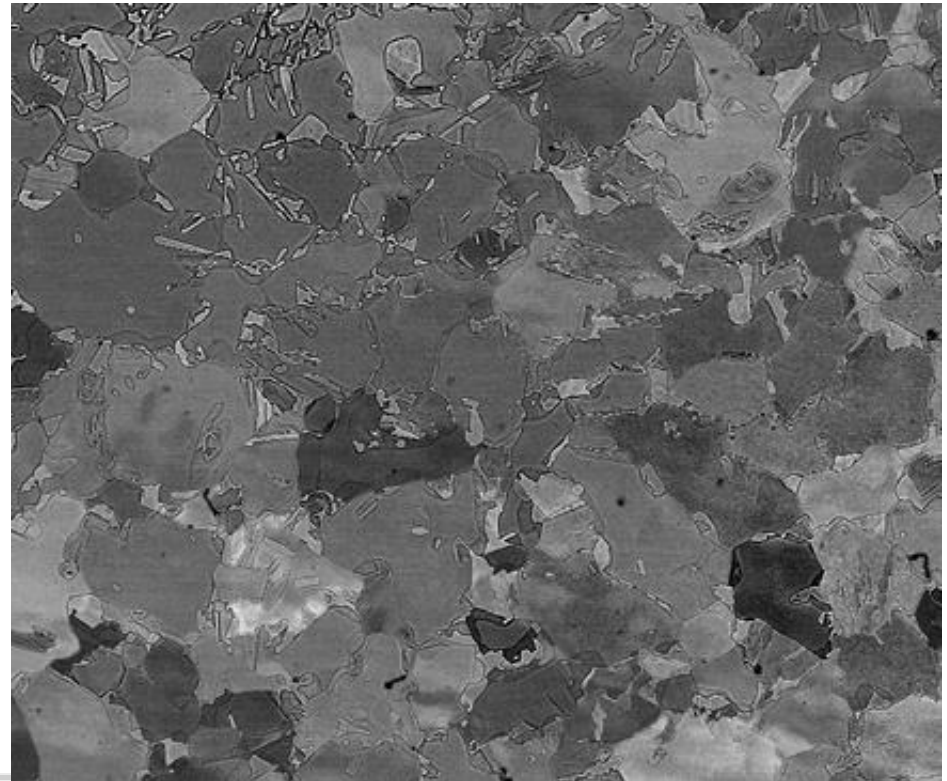
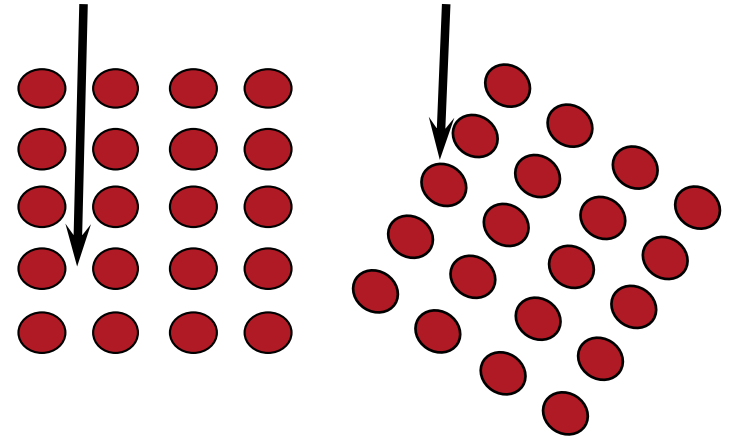
A-B

HV	Spot	Mag	Det	Sig	WD	Mode	—20 µm—
20.0 kV	4.5	1600x	SSD	BSE	10.03 mm	A-B	

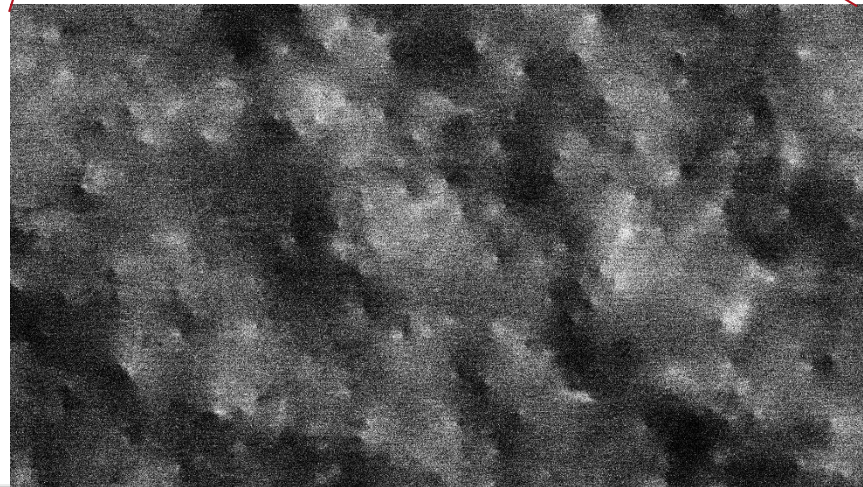
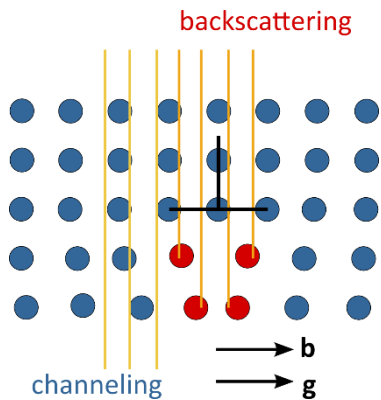
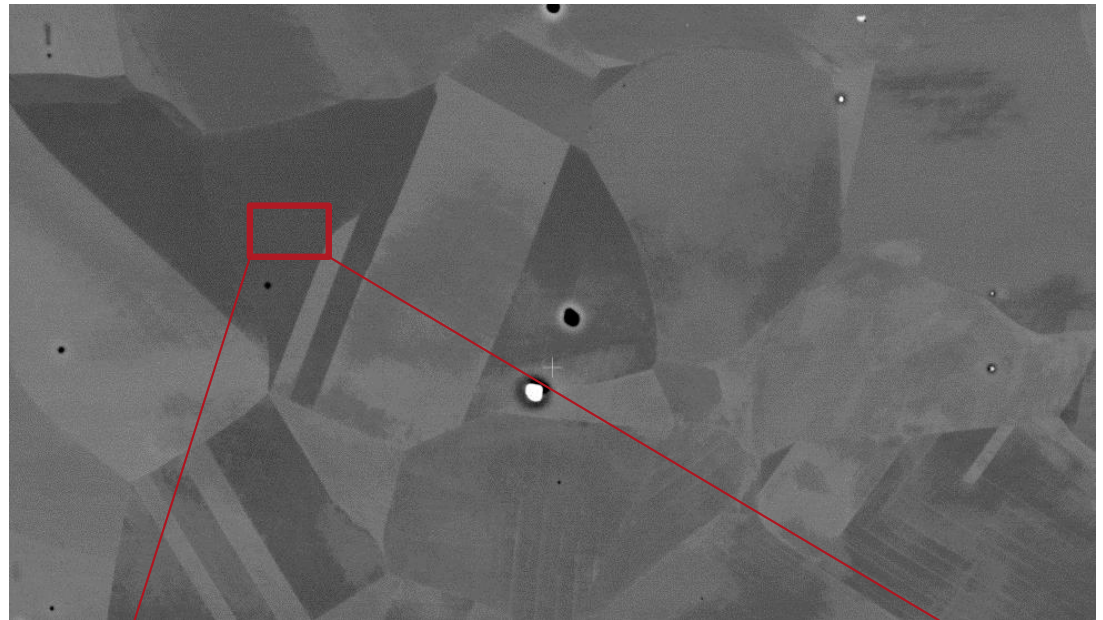
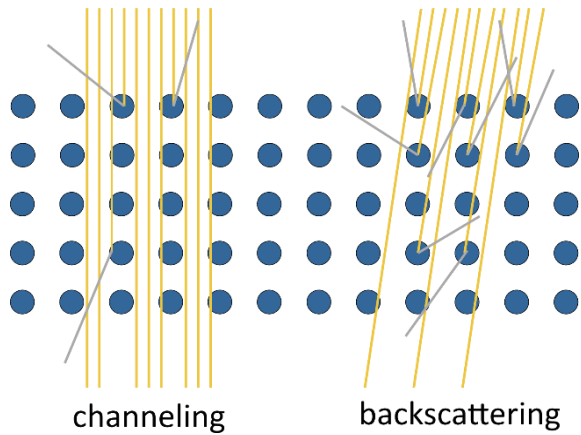
elektronové m

Kanálovací kontrast

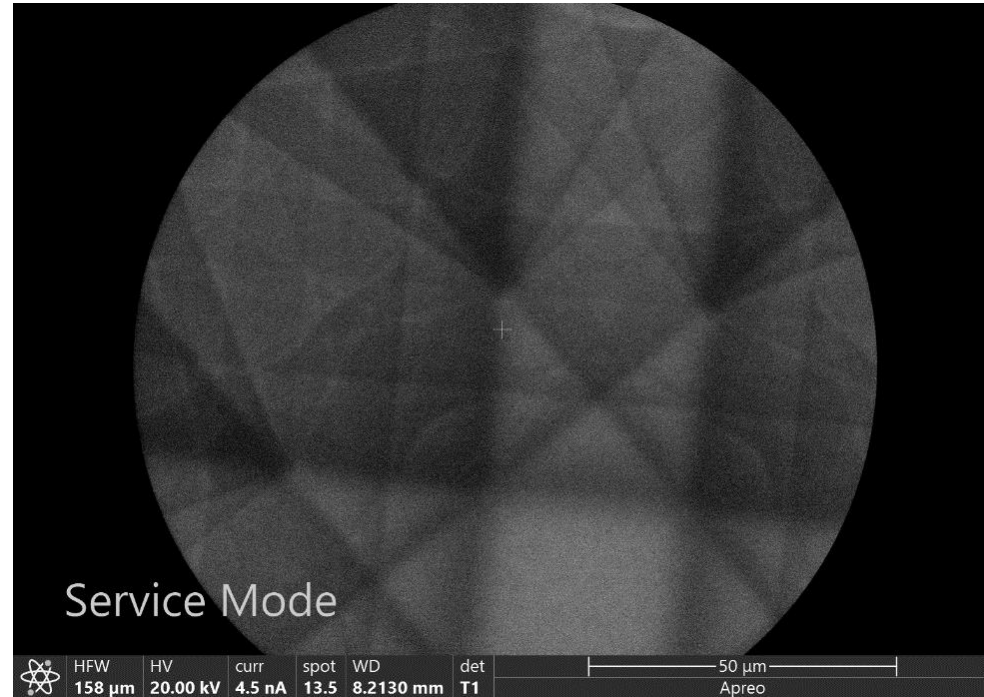
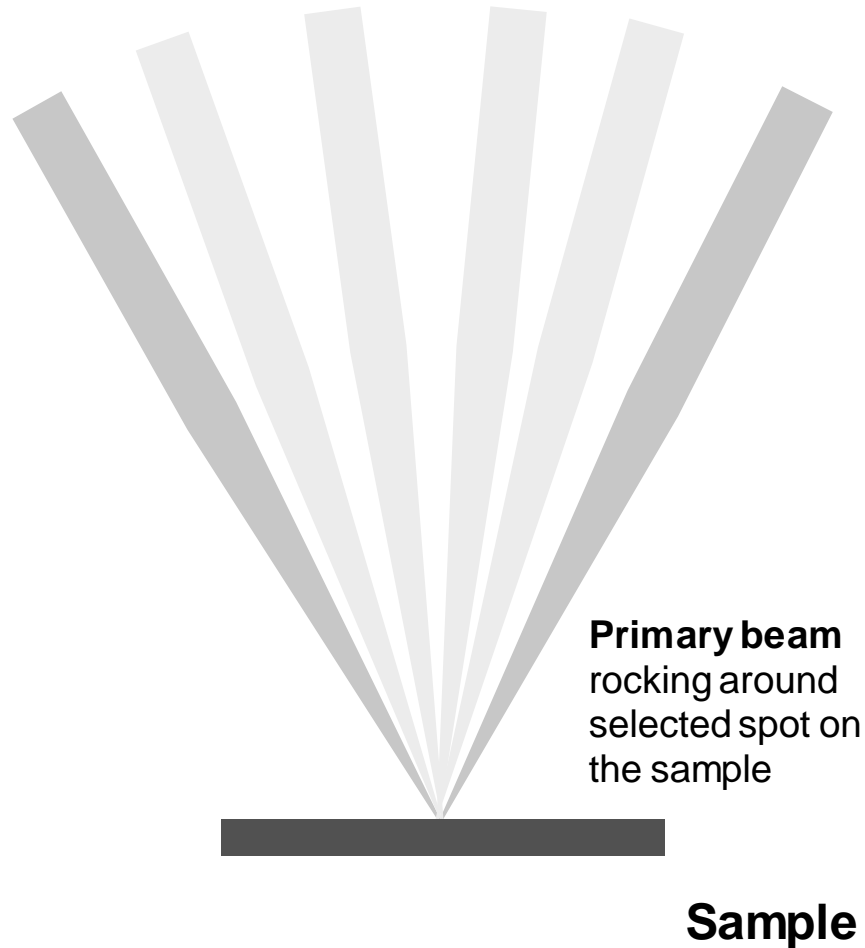
- kontrast odrazu závisí na dopadu primárního svazku vzhledem k orientaci krystalové mřížky
- souhlasně orientovaná zrna jsou tmavější
- kontrast se mění s náklonem vzorku
- maximální kontrast na nízkých energiích primárního svazku (5keV a méně)
- povrchová metoda – zpětně odražené elektrony jsou v tomto případě generovány pouze v tenké vrstvě těsně pod povrchem vzorku



ECCI - Electron Channeling Contrast Imaging

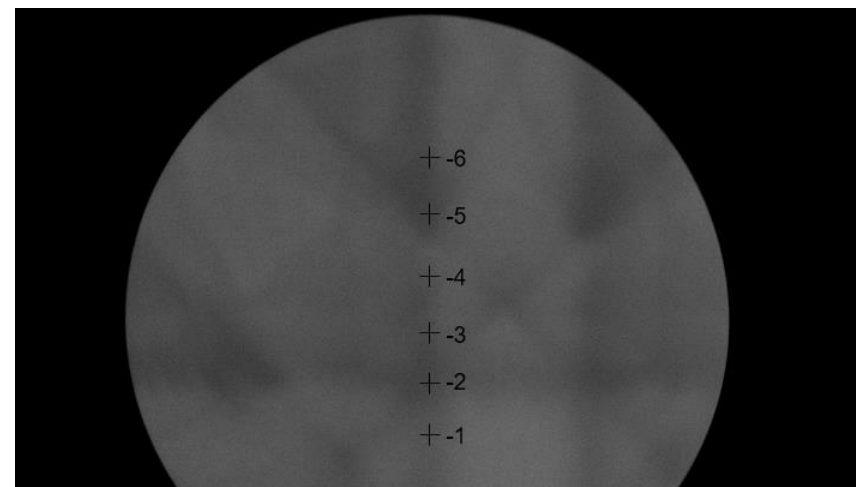
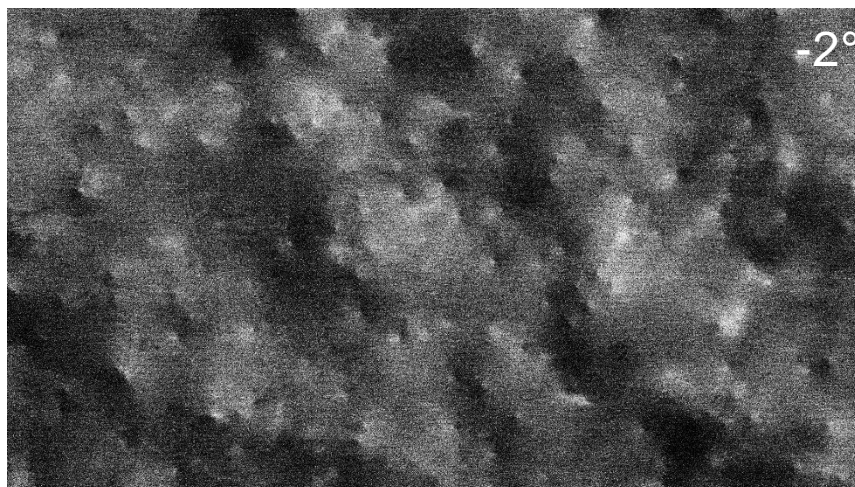
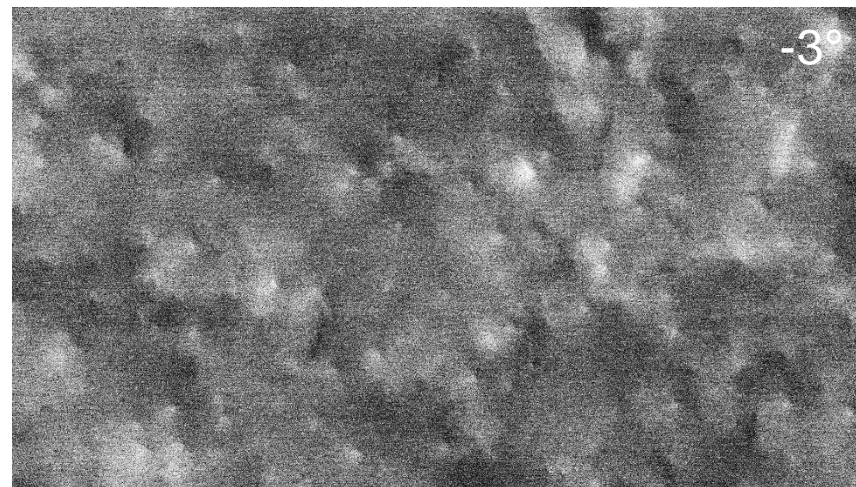
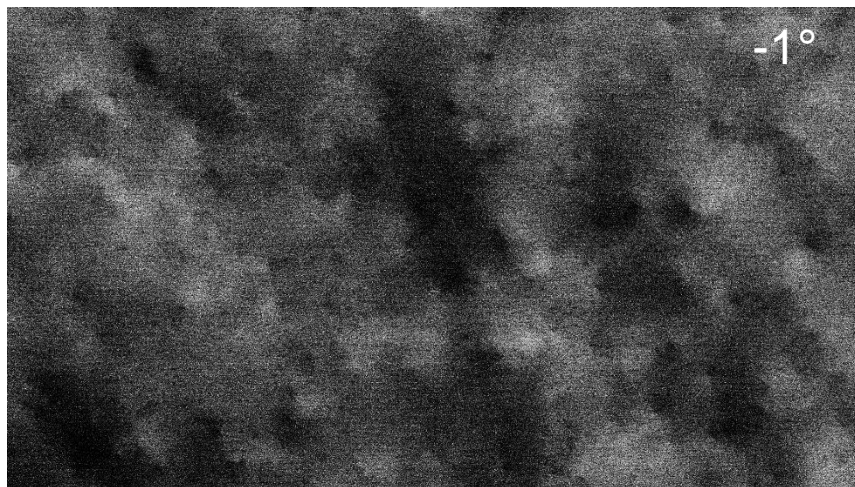


Beam rocking



Use stage tilt and rotation to place a grain into desired diffraction condition.

ECCI under controlled diffraction conditions

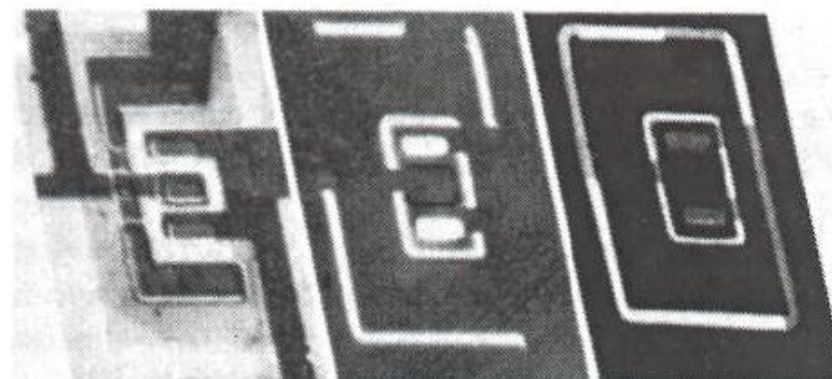


SE and BSE imaging - Live demo

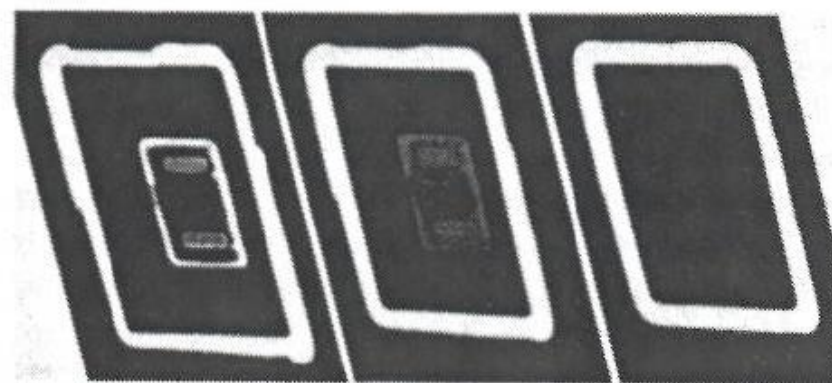
Další typy kontrastu

Kontrast proudu indukovaného elektronovým svazkem EBIC

- elektronový svazek generuje v polovodiči páry elektron - díra
- takto indukovaný proud může být použit jako zobrazovací signál
- v závislosti na energii primárního svazku umožňuje přímé zobrazování p-n přechodu pod povrchem



a) SE image b) 8 kV c) 15 kV



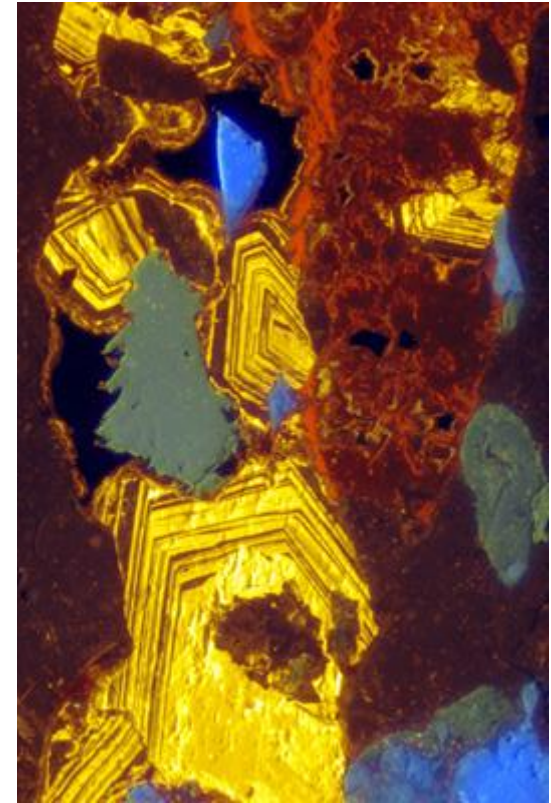
d) 25 kV e) 35 kV f) 45 kV

Kontrast absorbovaného proudu

- nejjednodušší zobrazovací signál, který však není příliš využíván
- proudy jsou v řádech jednotek pA až nA - příliš málo pro kvalitní obraz
- absorbovaný proud primárního svazku je potřeba účinně oddělit od SE a BSE, které se mohou v určitých případech vracet zpět na vzorek
- může poskytovat materiálový, kanálovací či magnetický kontrast

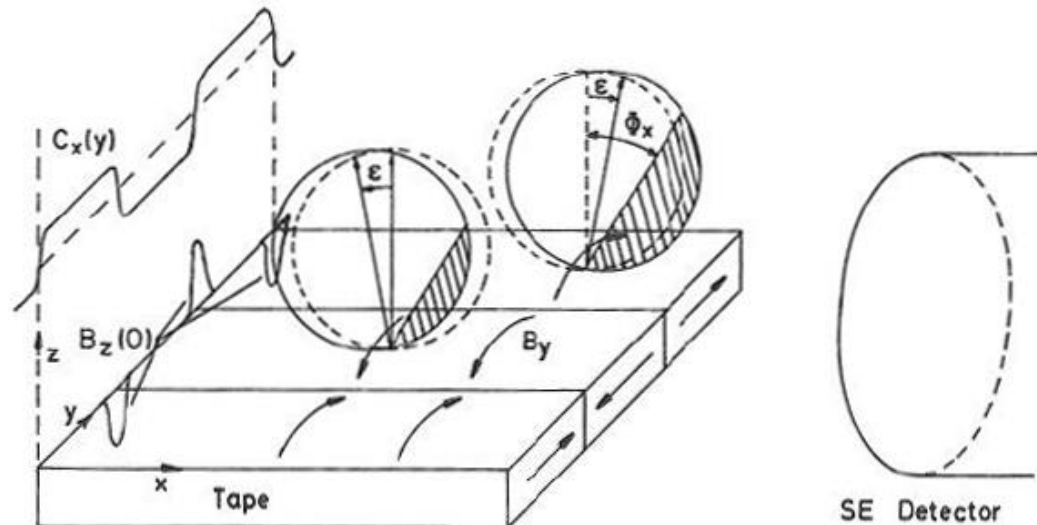
Katodoluminiscence (CL)

- emise světla stimulovaná dopadem urychlených elektronů
- princip shodný s fotoluminiscencí
- zářivá rekombinace elektronu vybuzeného z valenčního do vodivostního pásu
- vyskytuje se u polovodičů a nevodičů
- Panchromatická CL - snímání všech λ
- Monochromatická CL - snímání vybrané λ , případně intervalu λ
- CL spektroskopie
- Využití CL: mineralogie, polovodičový průmysl



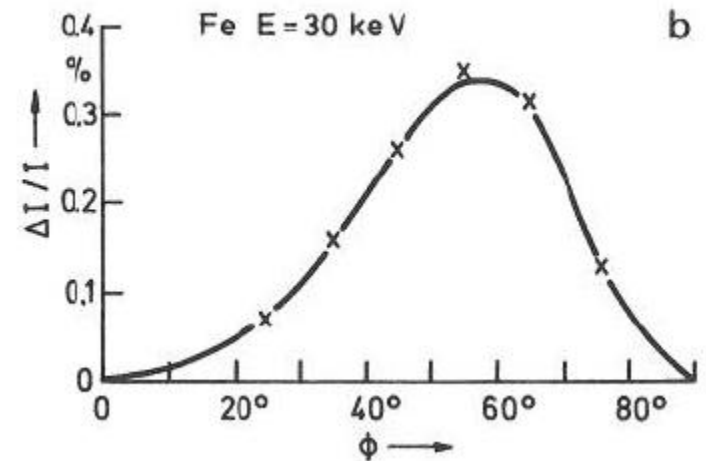
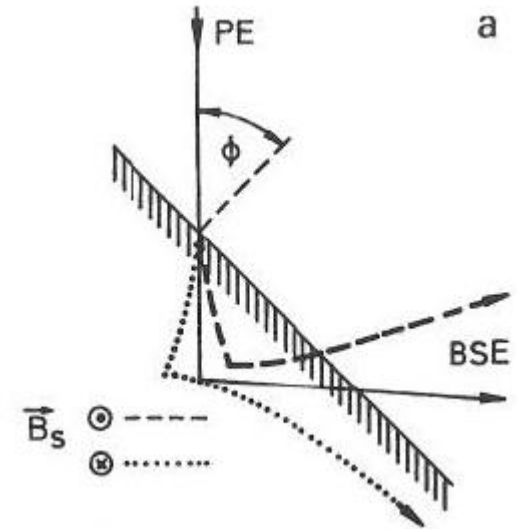
Magnetický kontrast - typ I

- trajektorie sekundárních elektronů opouštějících vzorek jsou ovlivněny magnetickým polem domén feromagnetických materiálů, případně magnetických záznamových médií
- kontrast závisí na energii a úhlu detekovaných SE - nejlépe SE kolmé k povrchu vzorku a o energii ~ 3 eV
- závisí na poloze detektoru vůči vzorku (několik detekčních strategií, např. odčítání signálu dvou protilehlých SE detektorů)



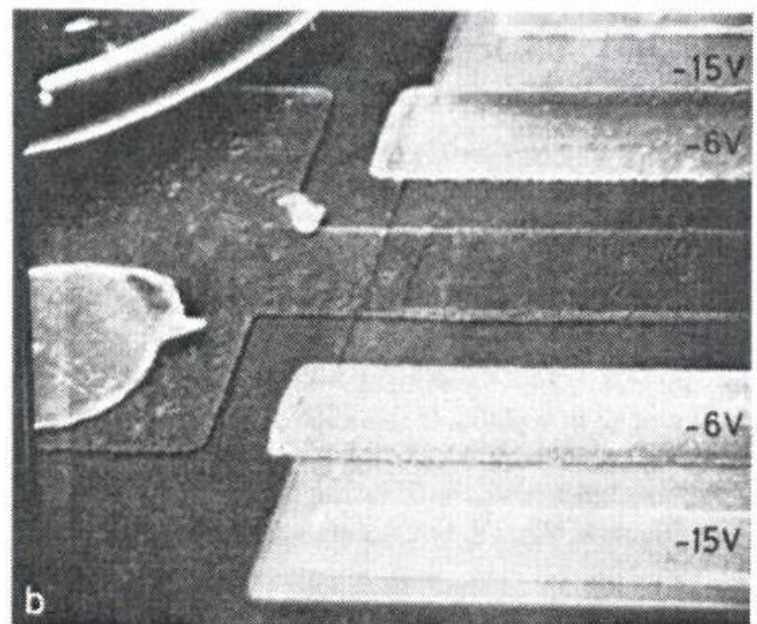
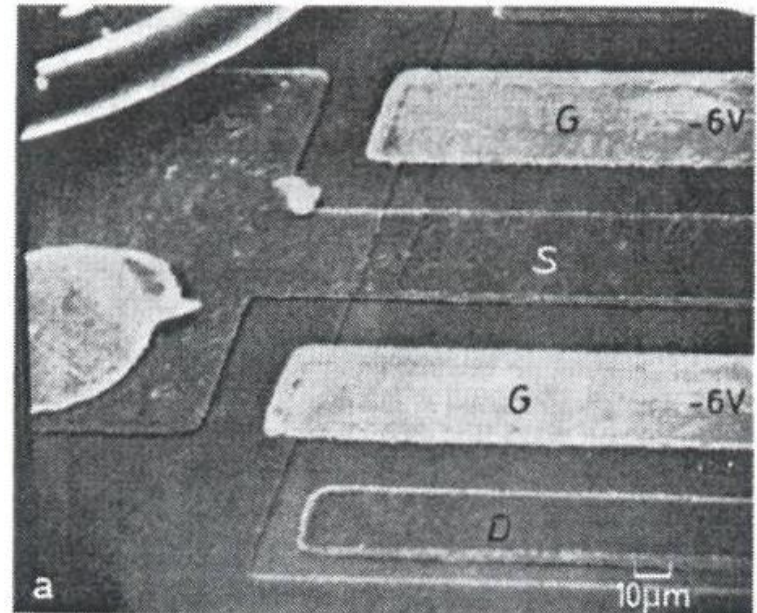
Magnetický kontrast - typ II

- Lorenzova síla spontánní indukce B_S uvnitř feromagnetických domén působí na trajektorie zpětně odražených elektronů uvnitř vzorku
- Opačný směr indukce B_S způsobí odklonění/přiklonění trajektorie BSE od/k povrchu vzorku - viz. obr.
- maximální kontrast při náklonu vzorku 50° - 60° a při vysokých energiích primárního svazku, ideálně 30keV a více



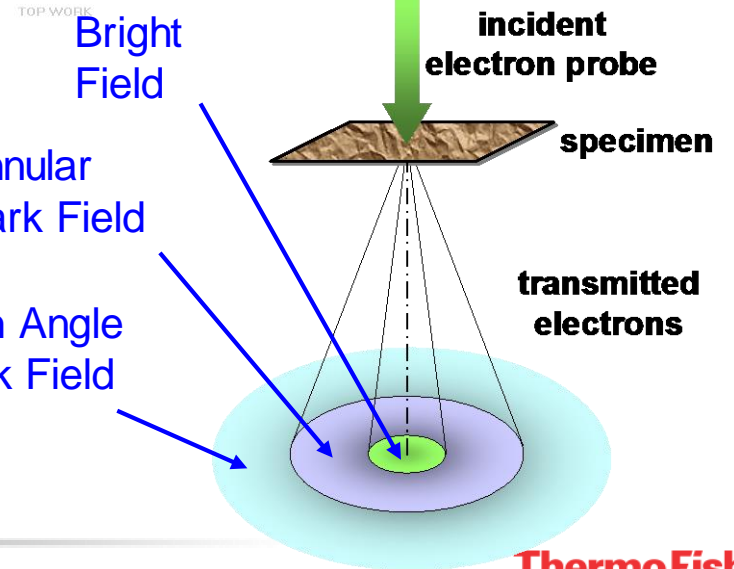
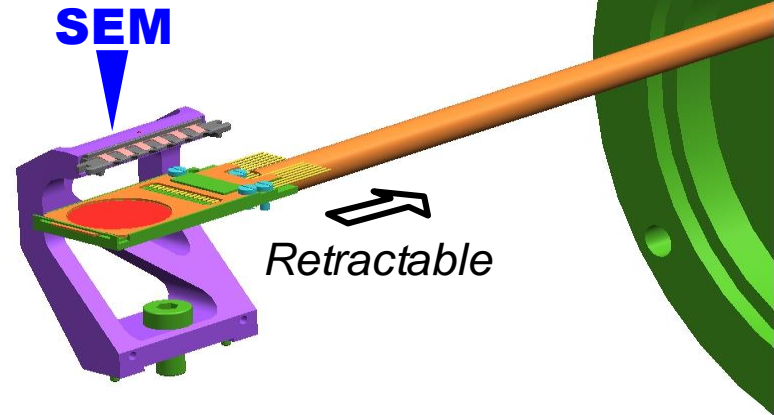
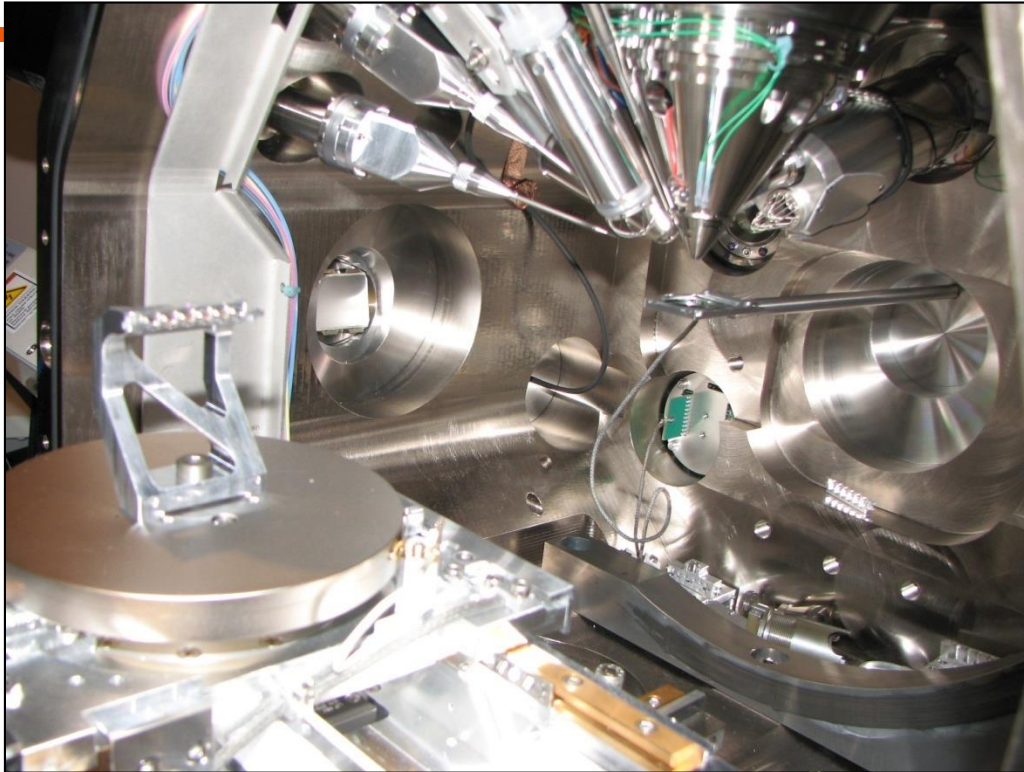
Napět'ový kontrast

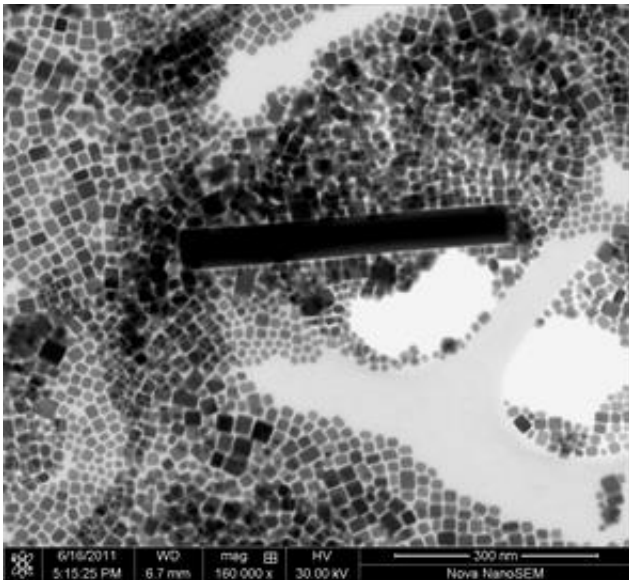
- různý potenciál povrchu vzorku ovlivňuje trajektorie SE a tudíž signál detektoru sekundárních elektronů
- přivedením malého napětí na části integrovaného obvodu ovlivníme sběr SE tak, že oblasti s kladným potenciálem se budou jevit tmavé (SE přitaženy zpět na vzorek) a záporně nabitá místa světlé (SE odpuzovány)
- napět'ový kontrast bude v obraze společně s topografickým - možno separovat odečtením obrazu
- nejčastěji nežádoucí „nabíjení“ nevodivých vzorků - viz. další slidy



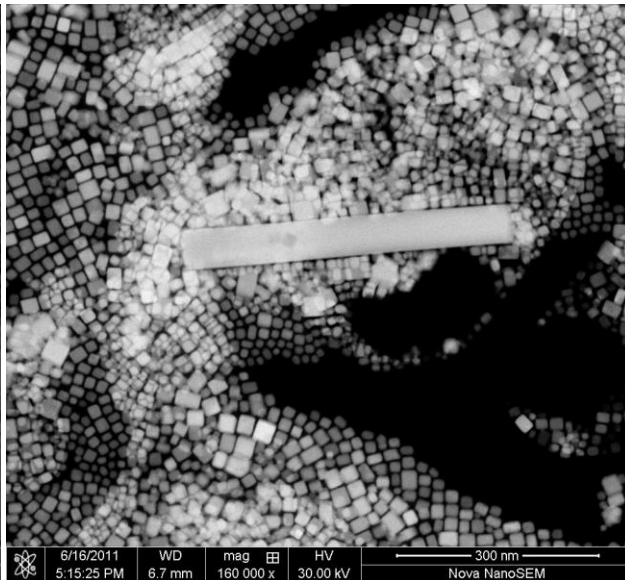
Kontrast pomocí prošlých elektronů (STEM)

- nutnost ultratenkých vzorků (~100nm) jako pro TEM
- poskytuje nejvyšší rozlišení v SEM
- kontrast závisí na rozptylu elektronů ve vzorku - mass thickness contrast - materiály o vyšší hustotě či tloušťce rozptylují primární elektrony do větších úhlů
- kromě vzorku závisí také na energii primárního svazku
- koncentricky segmentovaný detektor umístěný pod vzorkem umožňuje snímat jak nerozptýlené elektrony (zobrazování ve světlém poli - bright field), tak elektrony rozptýlené do různého prostorového úhlu (tmavé pole - dark field, high angle dark field)

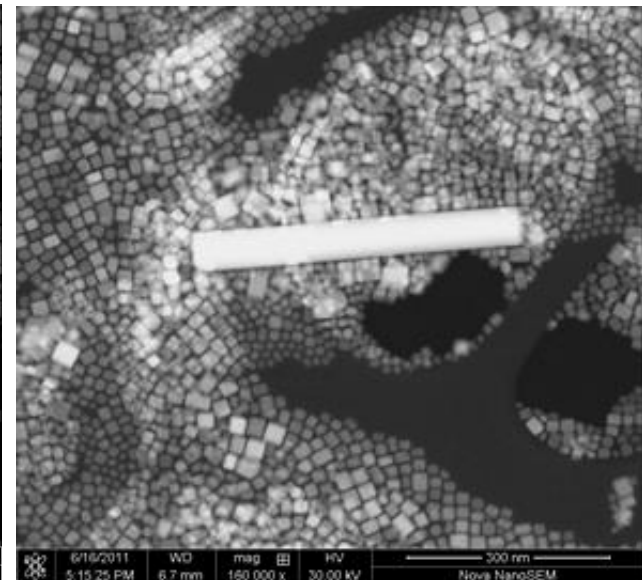




Bright field



Dark field



HAADF

30 keV

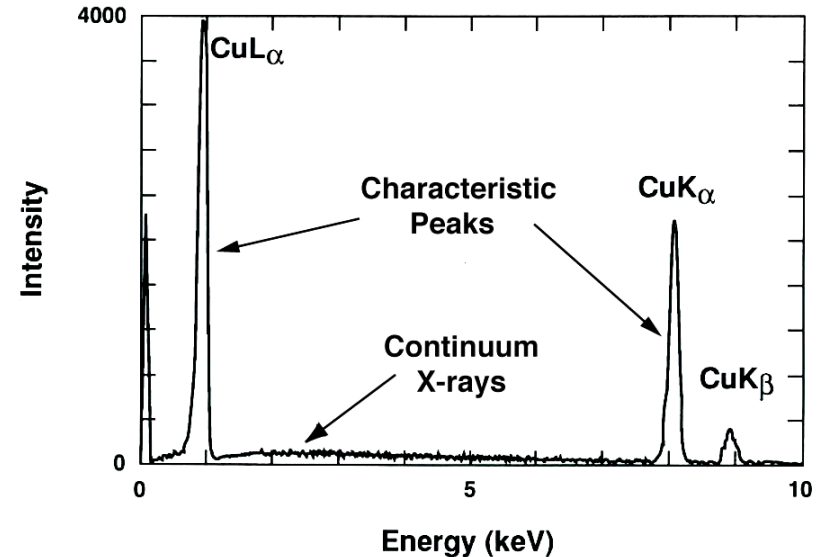
Spektroskopické techniky

Spektroskopické techniky

- Charakteristické rentgenové záření
- Augerovy elektrony
- Katodoluminiscence

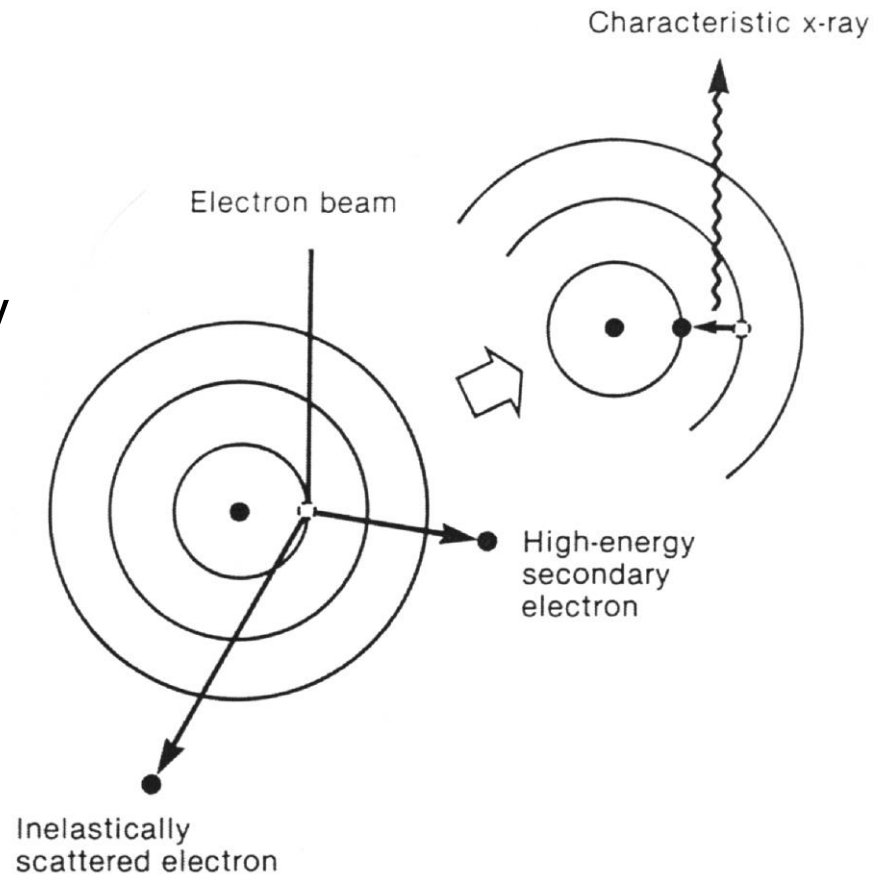
Rentgenové záření

- Charakteristické/brzdné
- Prvková analýza na mikroskopické úrovni
- Energiově nebo vlnově disperzní
- Prostorové rozlišení: nm - 3 μm
- Kvalitativní analýza => zda je přítomen určitý prvek na dané místě
- Kvantitativní analýza => procentuální zastoupení daného prvku v daném místě
- Prvkové mapy



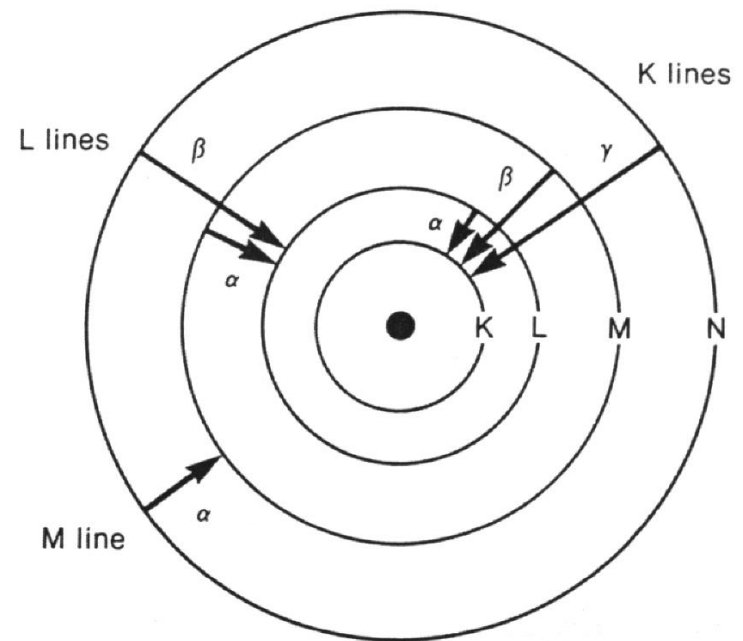
Charakteristické rentgenové záření

- Incoming electron ionises the sample atom by ejecting an inner-shell electron (inelastic scattering)
- Gap is filled by another electron (higher shell)
- Excess of energy is emitted as X-ray photons
- De-excitation process produces characteristic X-ray radiation



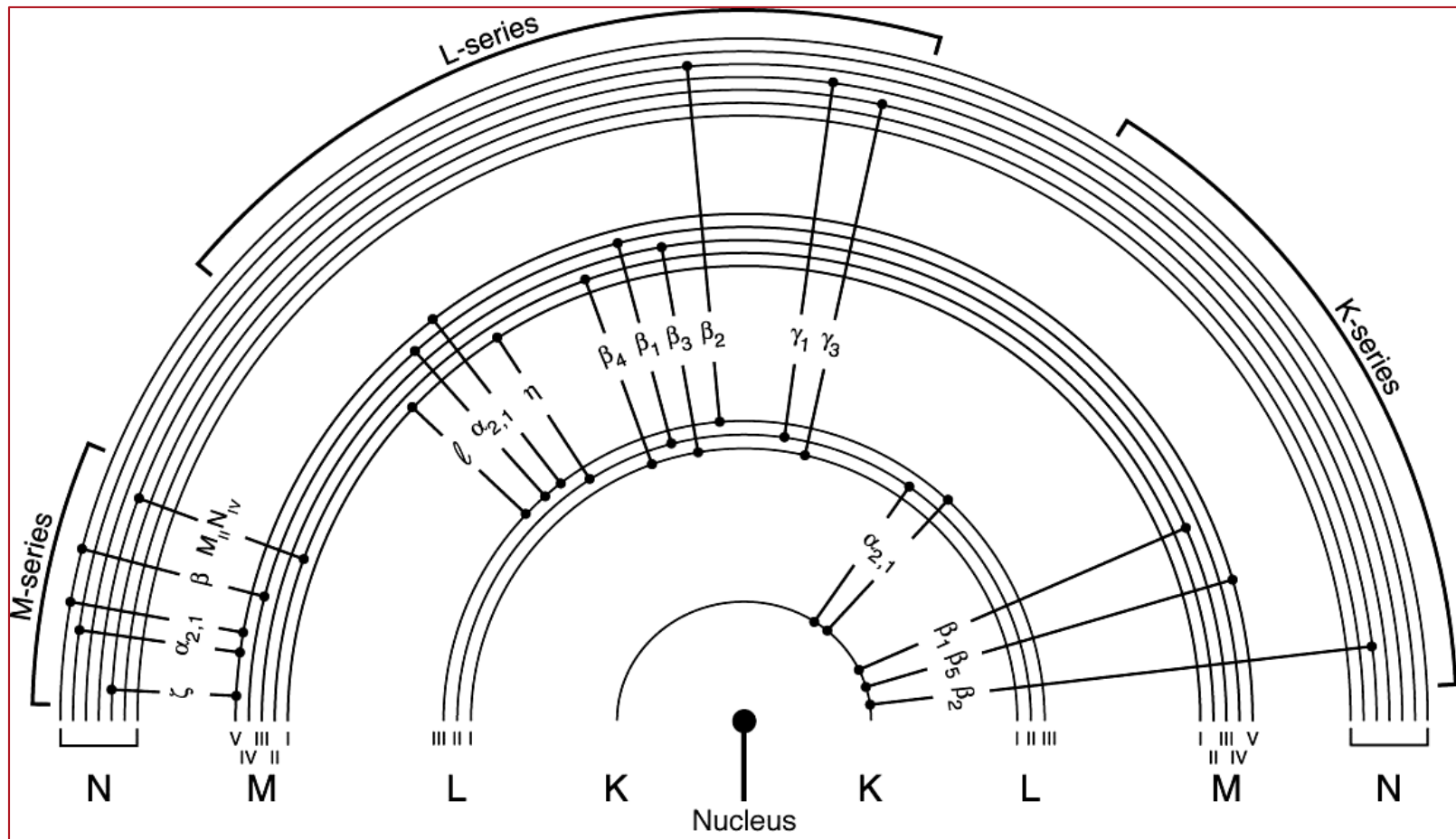
X-ray Generation - Nomenclature

- Typically transitions observed in X-ray spectra : K - L and M multiple lines
- Each shell comprises several energy levels
- Transitions are more numerous than
- Complex transition system
 - $L\alpha_1 = L_3 - M_5$
 - $L\alpha_2 = L_3 - M_4$
 - $L\beta_1 = L_2 - N_4$



X-ray Generation - Families of Lines

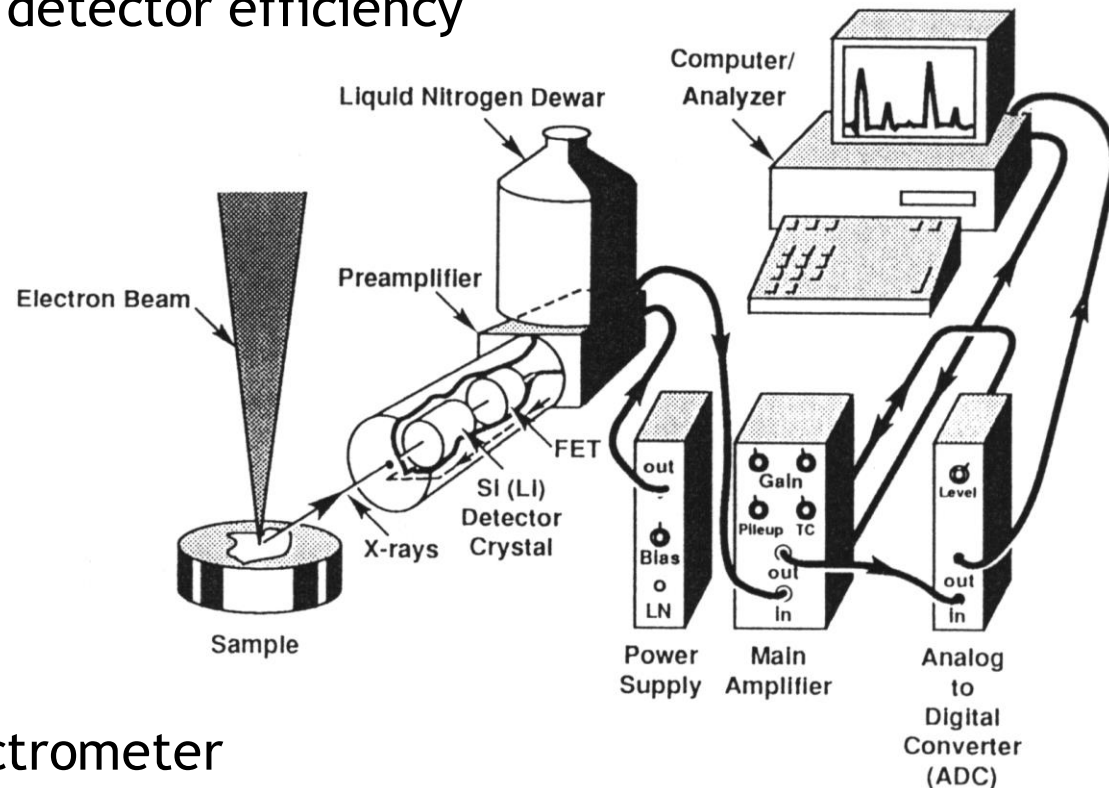
- Typically transitions observed in X-ray spectra : K - L and M multiple lines



Note: this is a simplified version of Goldstein Figure 6.9 showing only lines seen in EDS

X-ray Measurement - EDS

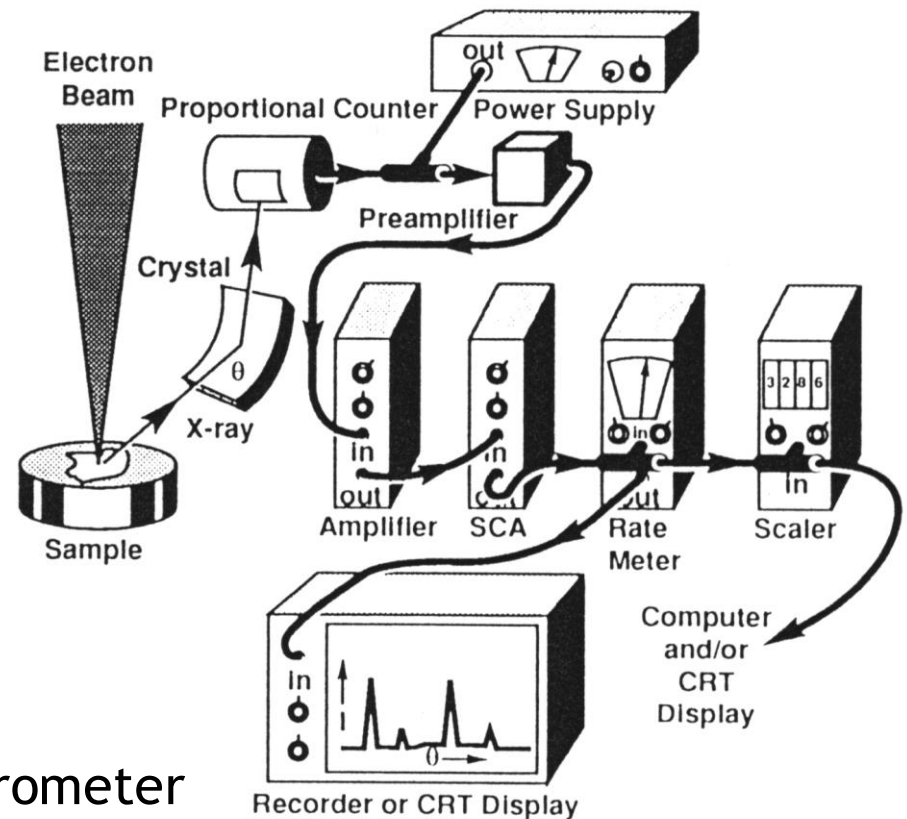
- Based on separation of energies
- Simultaneously all energy levels : MCA
- Fast, poor resolution high detector efficiency
- ~ 123 eV



EDS = Energy dispersive spectrometer

X-ray Measurement - WDS

- Based on separation by a crystal (diffraction)
- Mono-chromatic : Single Channel Analyser (SCA)
- Slow, good resolution
 - Resolution ~ 5eV
- poor detector efficiency
- Available on SEM only
- Not commonly used



WDS = Wavelength dispersive spectrometer

X-ray Measurement - Comparison EDS /WDS

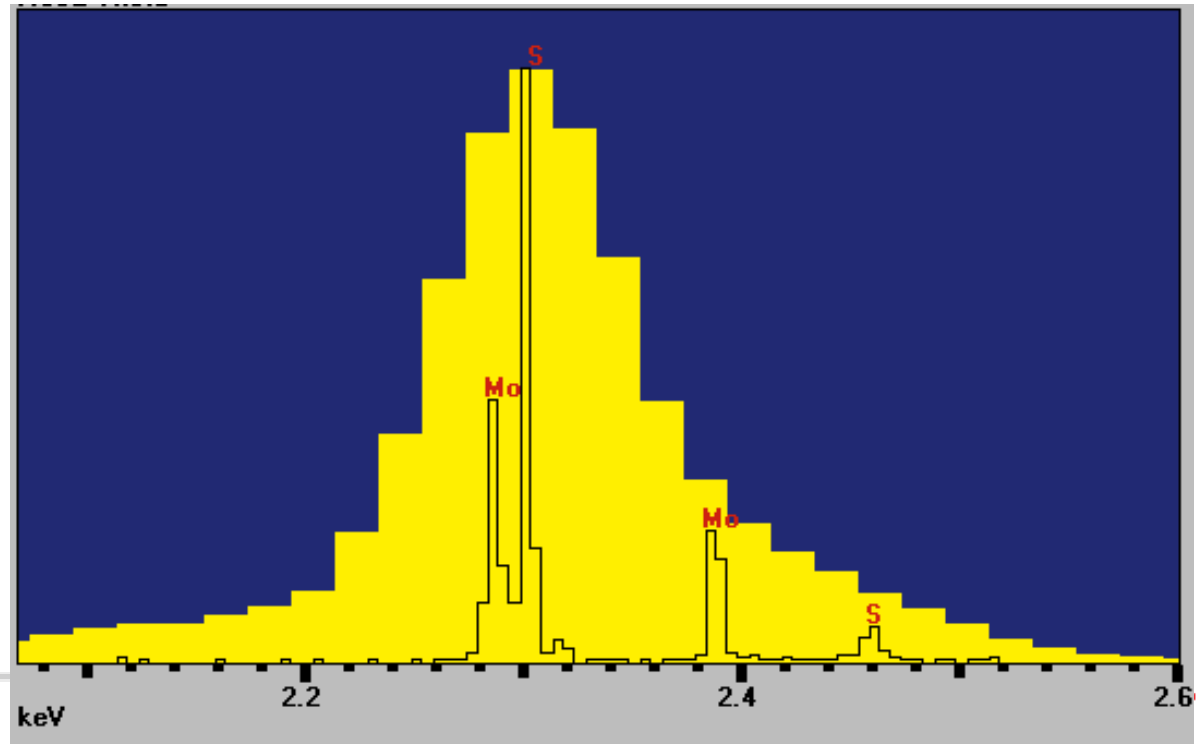
- Resolving power is the biggest discriminator
- Example of EDS and WDS
 - Overlap of Mo $L\alpha$ (2.293 KeV) and S $K\alpha$ (2.307 KeV)
 - Difference = 14 eV

WDS:

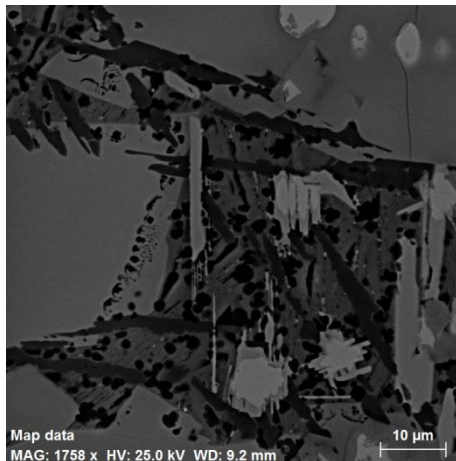
- separation (black line)

EDS:

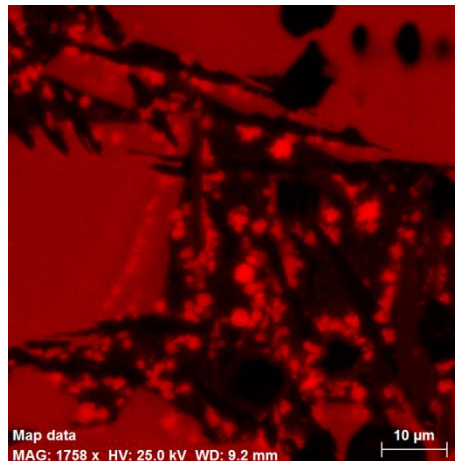
- no separation of raw data (yellow)
- Can be separated using deconvolution and background correction algorithms



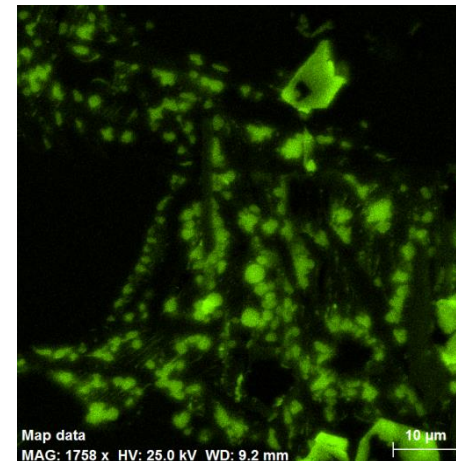
BSE



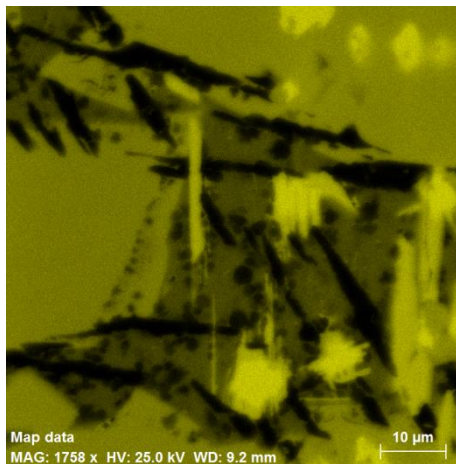
Si



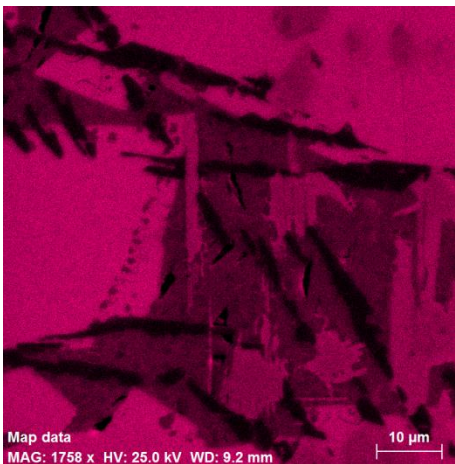
Al



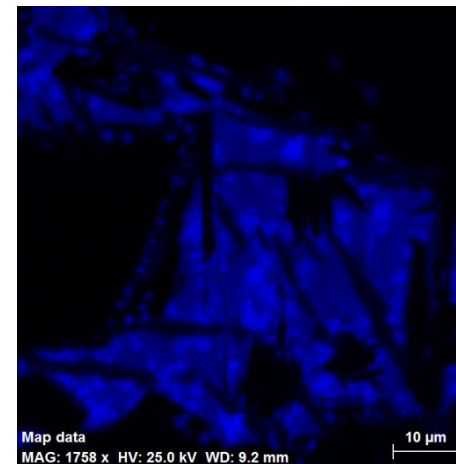
Fe



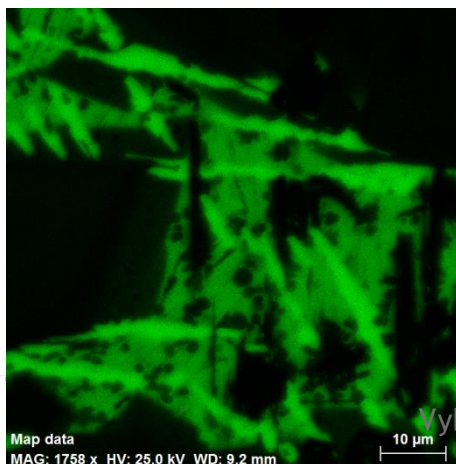
O



K



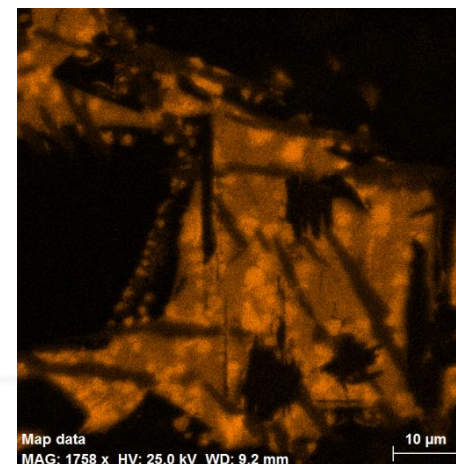
P



Ca



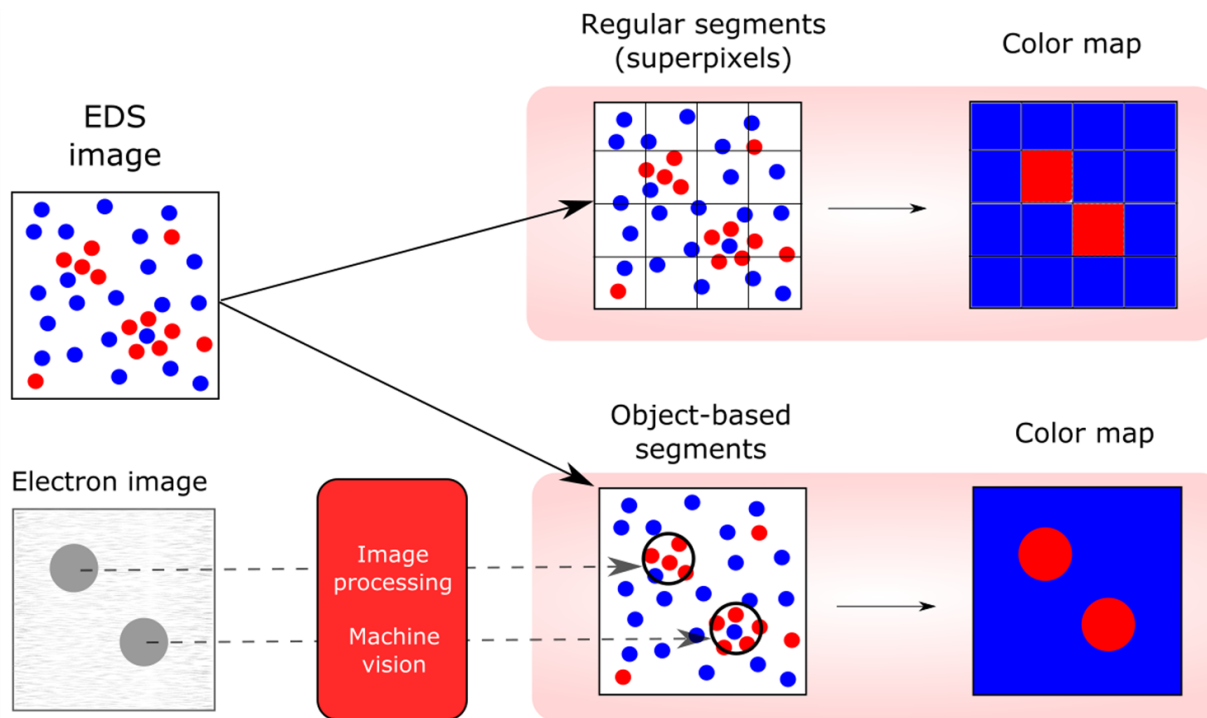
Sn



Vybrané partie z elektronové mikroskopie

Multimodal elemental mapping

- EDS elemental mapping is much slower than electron imaging
- combining EDS mapping with electron imaging can significantly increase its throughput



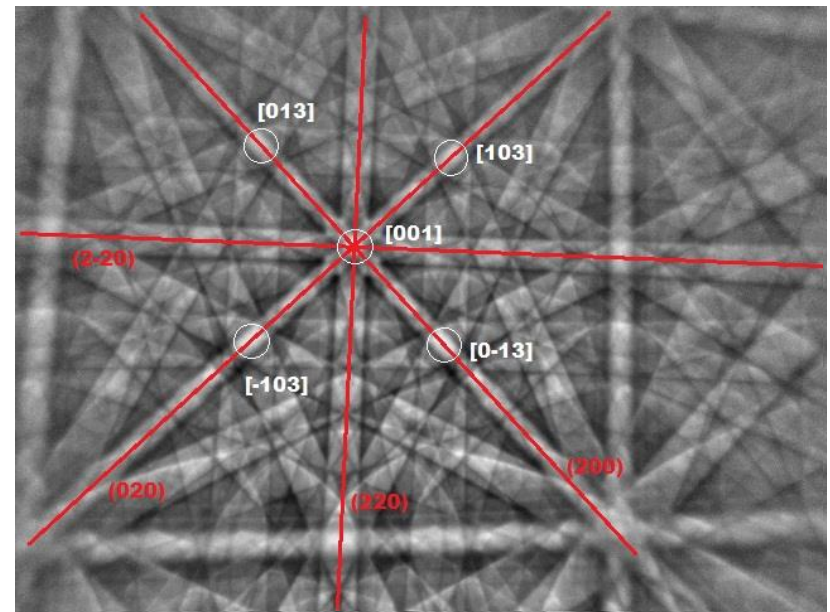
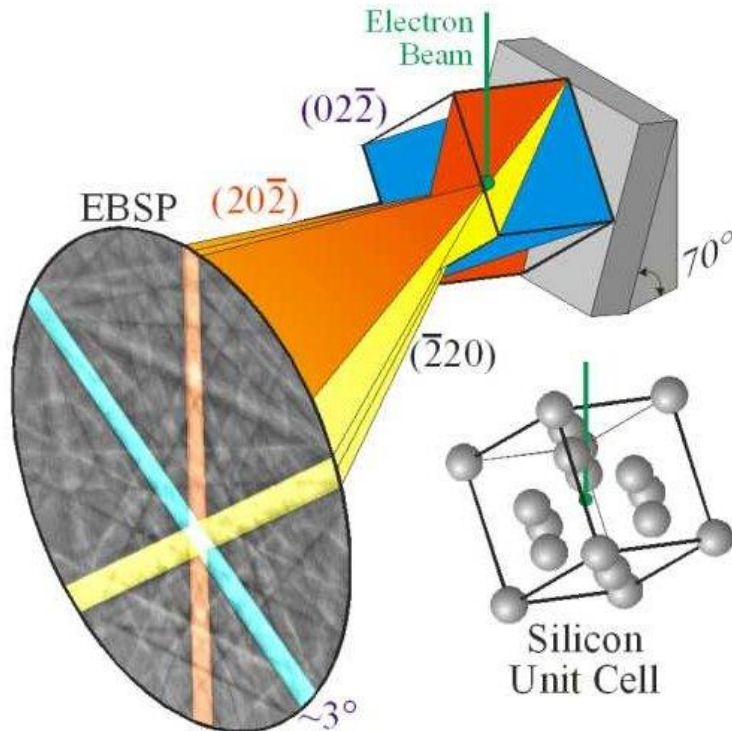
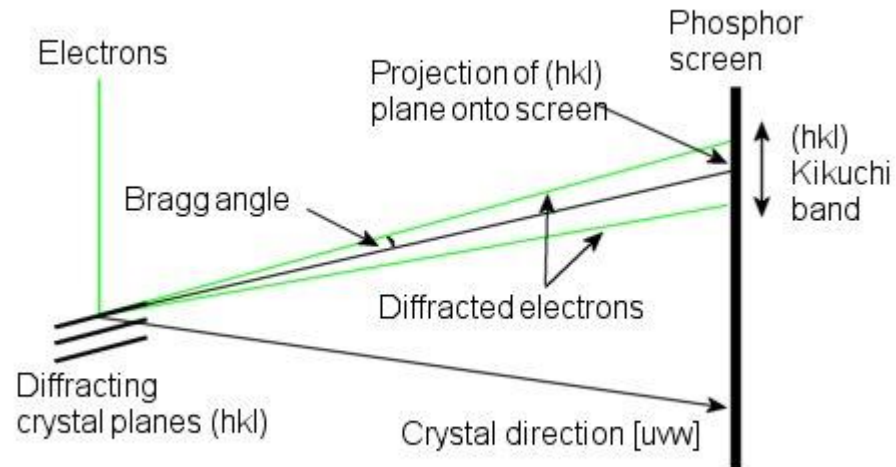
EDS - Live demo

Difrakce zpětně odražených elektronů - EBSD

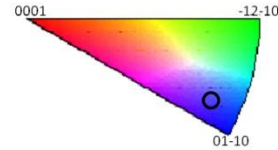
Electrons will be diffracted when the angle of incidence, θ on a crystal plane satisfies the Bragg Equation:

$$n\lambda = 2 d \sin \theta$$

where λ is the wavelength of the electrons, d is the spacing of the crystal planes

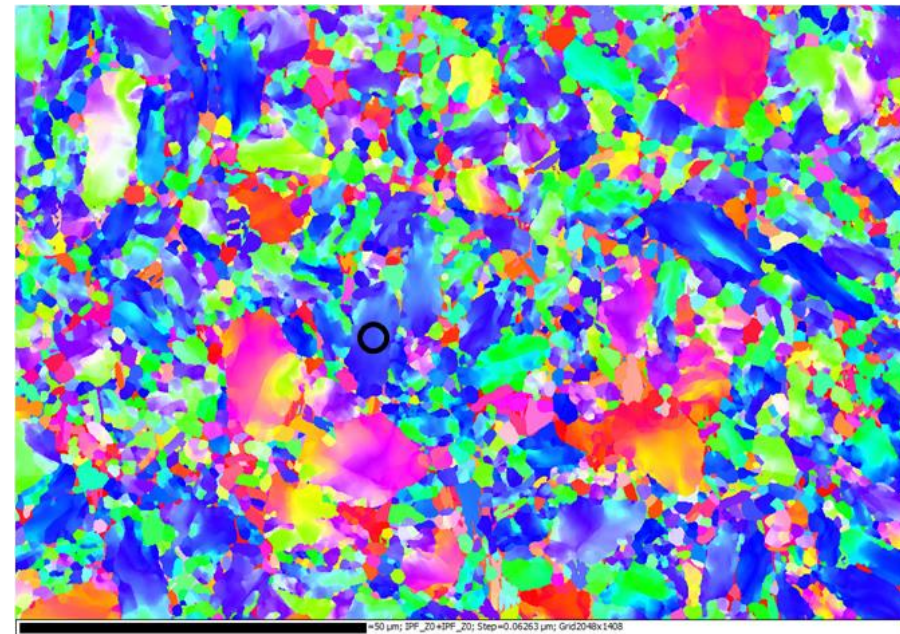
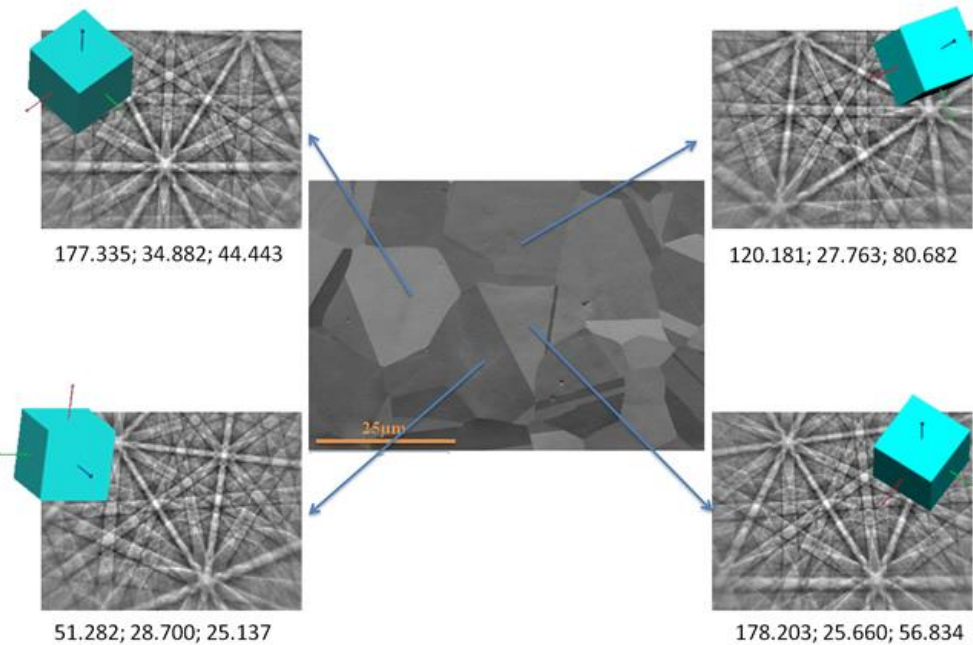


Difrakce zpětně odražených elektronů - EBSD



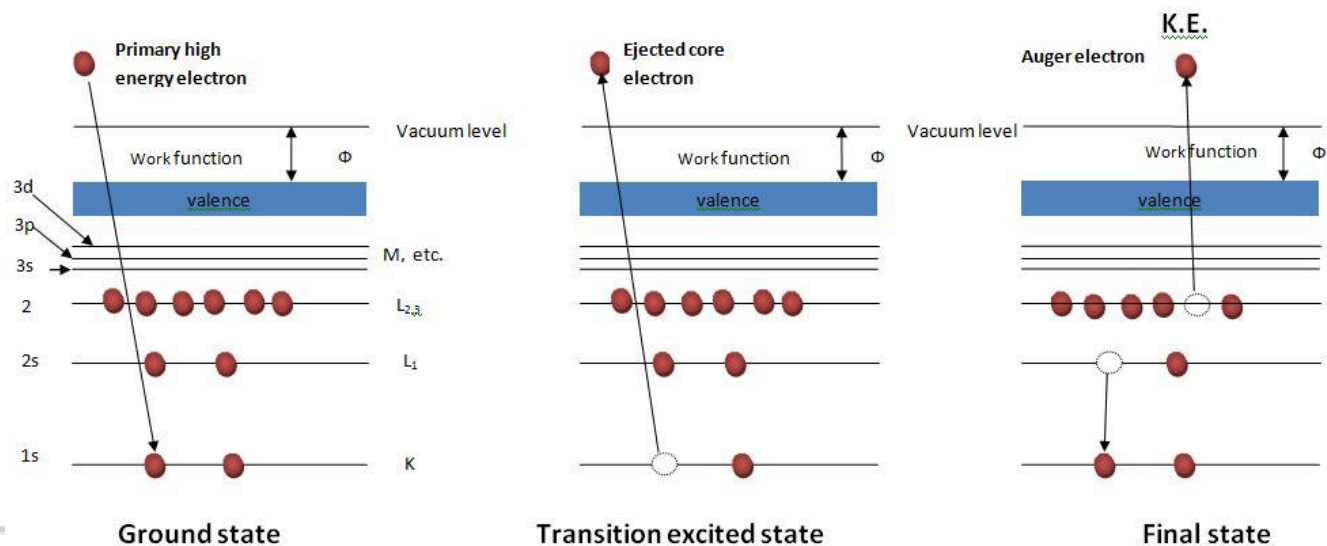
Bodová analýza

Orientační mapa



Augerova spektroskopie

- Vznik Augerova elektronu (AE) je alternativou k emisi charakteristického rentgenového záření po ionizaci vnitřní elektronové hladiny. Elektron z vyšší energiové hladiny zaplní v krátké době vakanci v ionizované vnitřní hladině. Přebytek energie je pak z atomu emitován buď vyzářením kvanta rentgenového záření nebo nezářivou emisí Augerova elektronu.
- Kinetická energie emitovaného elektronu je charakteristické pro daný prvek
- Rozsah prvků od $Z=3$, laterální rozlišení $\sim 50\text{nm}$
- Velmi povrchově citlivá metoda - AE emitován z hloubky jednotek nm
 - Potřeba ultravakuové aparatury a in-situ čištění povrchu vzorku

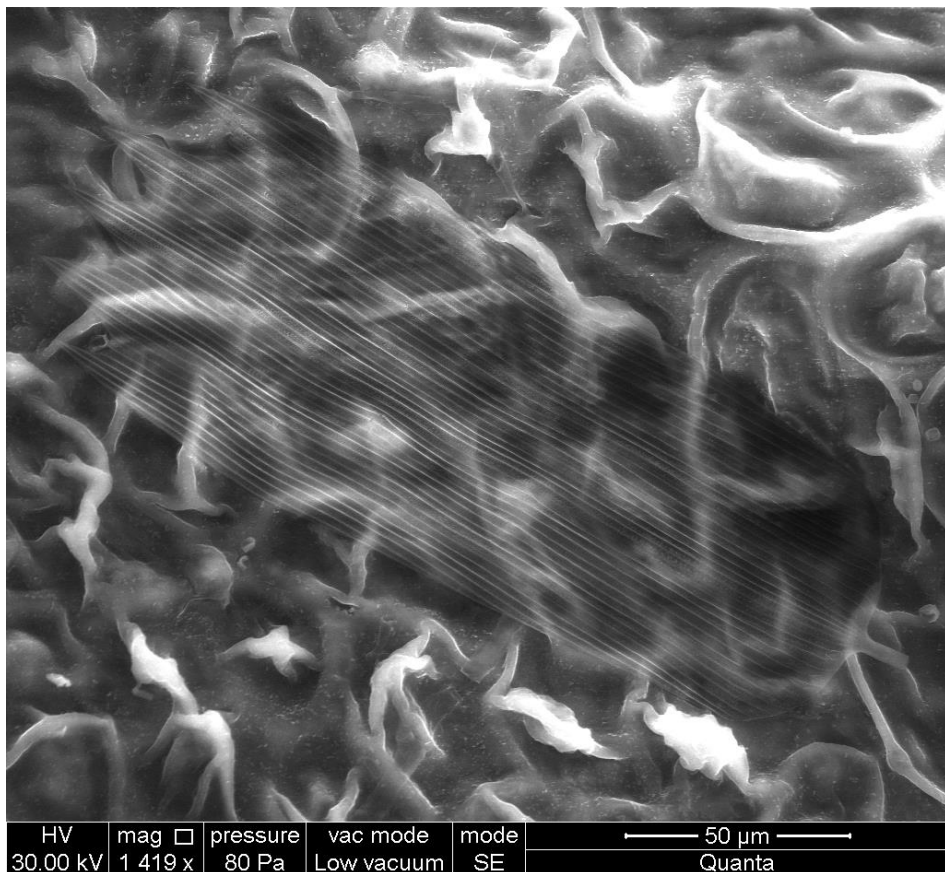


Faktory ovlivňující obraz/kontrast v SEM

Faktory ovlivňující obraz/kontrast v SEM

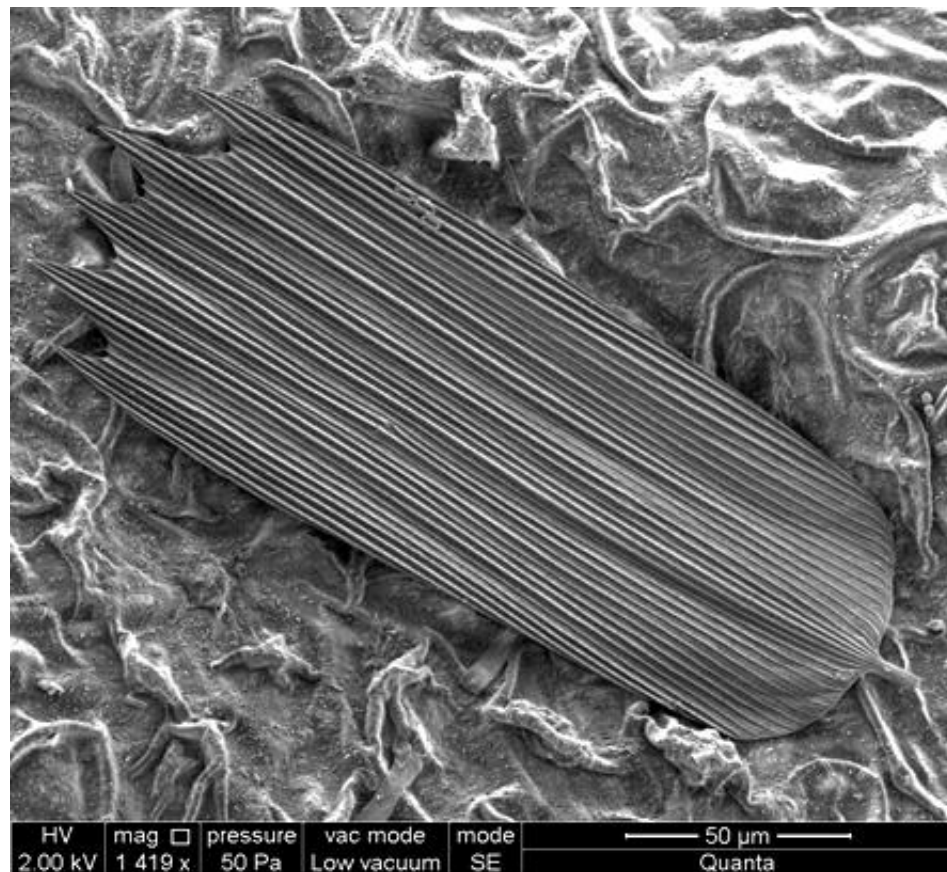
- nastavení parametrů mikroskopu
 - energie primárního svazku
 - proud primárního svazku
 - rychlost rastrování (dwell time)
- vzorek
 - vodivý/nevodivý (nabíjení)
 - citlivý na ozáření elektronovým svazkem

Energie primárního svazku



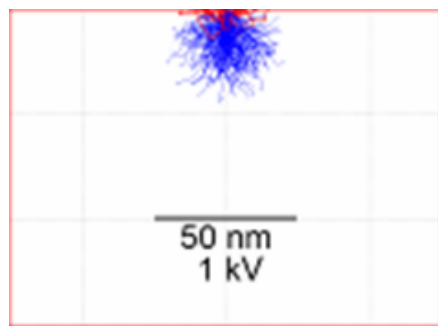
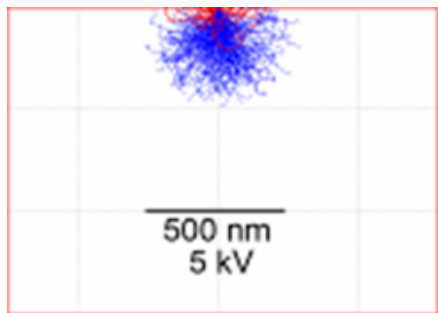
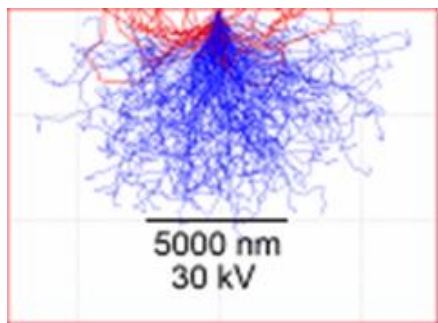
Šupina z křídla komára

30 kV

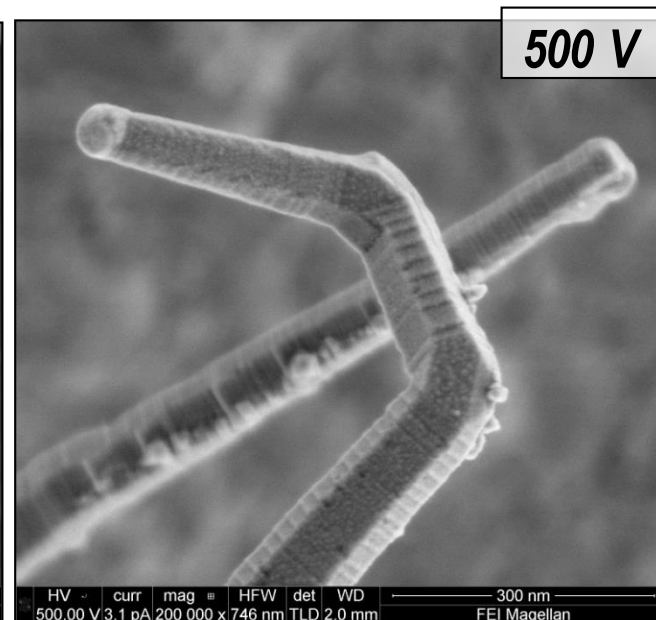
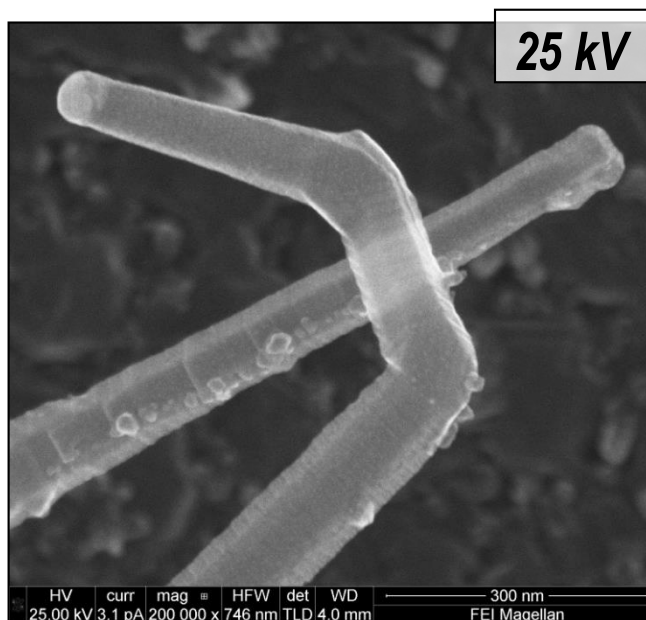


2 kV

Energie primárního svazku



- Vysoká energie = vyšší rozlišení (menší optické vady), větší interakční objem
- Nízká energie = vyšší citlivost na detaily povrchu, redukovaný hranový jev, nižší rozlišení (u většiny SEM)



vzorek: Dr. Emanuel Tutuc, University of Texas, Austin

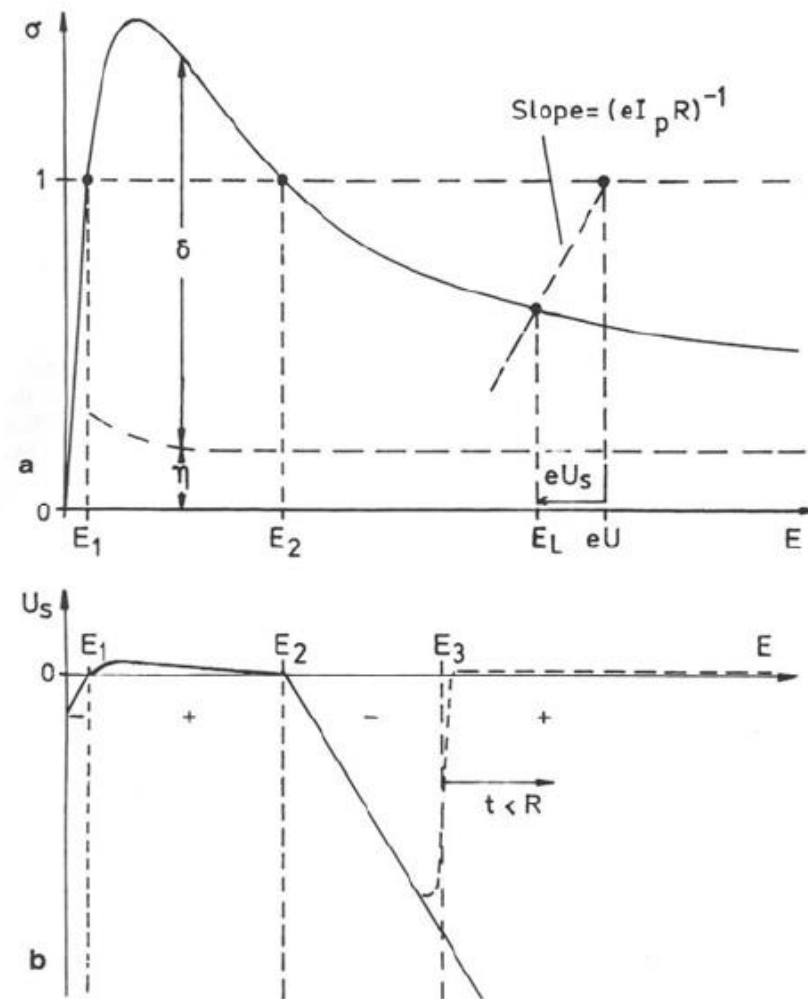
Monte Carlo simulace rozptylu elektronů v křemíku. Primární elektrony jsou modré, zpětně odražené červené.

Proud primárního svazku a rychlost rastrování (dwell time)

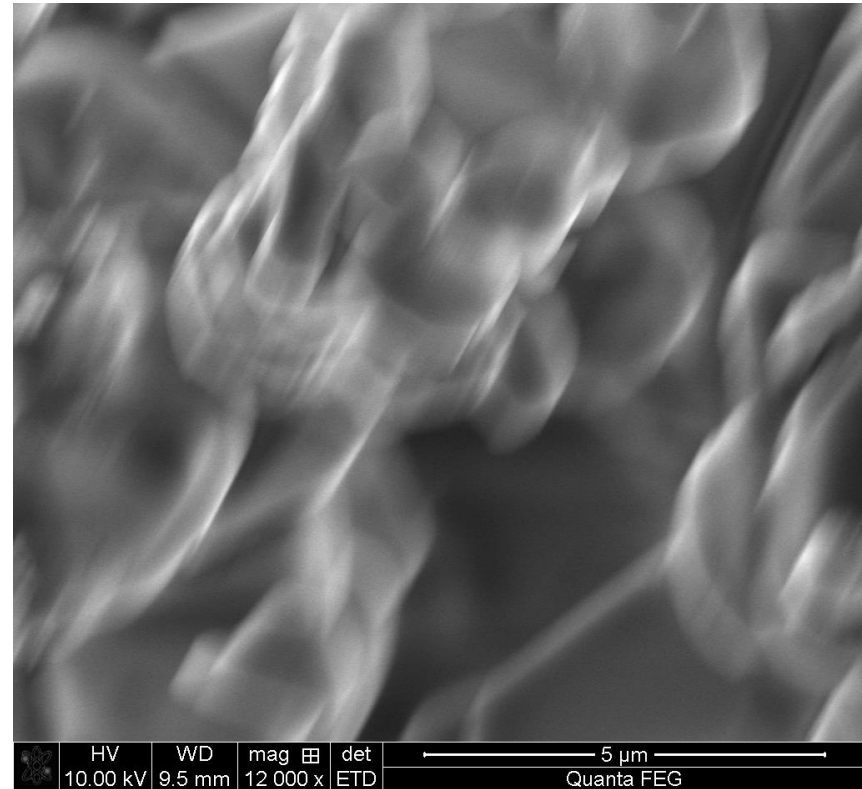
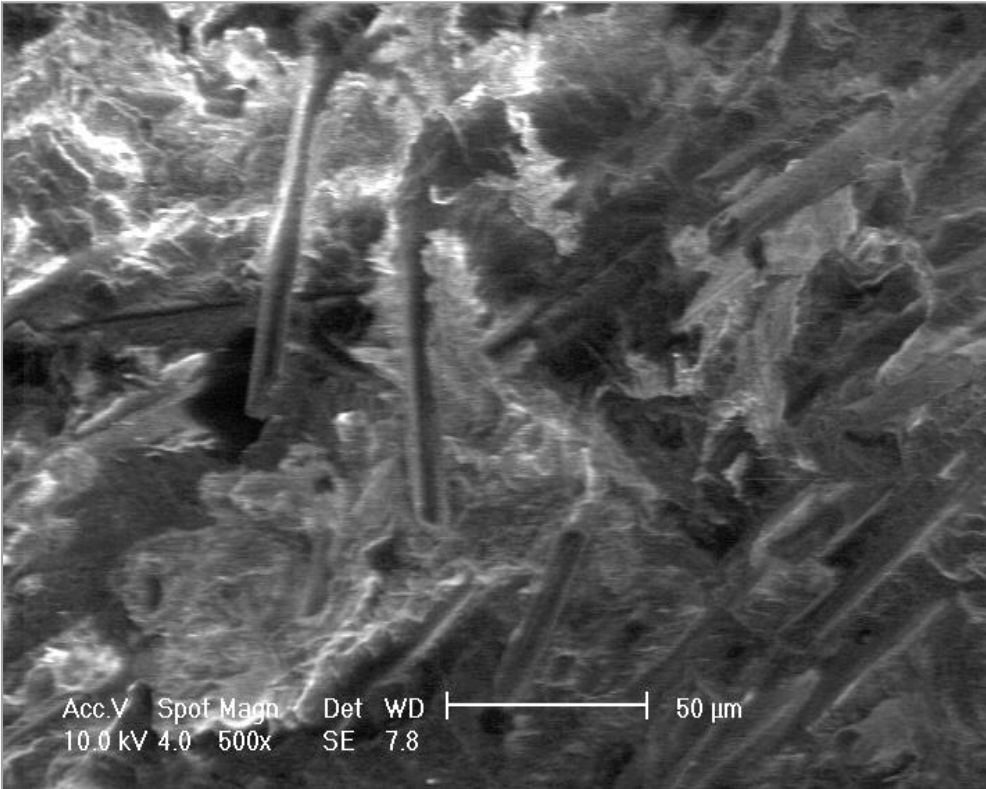
- malý proud = malá stopa = vysoké rozlišení
- malý proud = málo SE a BSE = málo signálu, více šumu => pomalejší dwell time
- se zvyšujícím se proudem se zvětšuje i velikost stopy a tudíž snižuje rozlišení, ale roste signál a zmenšuje šum => kratší dwell time
- **Pozorování v SEM - najít optimální kombinaci energie, proudu a rychlosti rastrování pro daný vzorek**

Nevodivé vzorky - nabíjení

- Náboj dodaný izolantu po dopadu primárních elektronů není z ozářeného místa dostatečně účinně odváděn a hromadí se na povrchu vzorku
- ovlivňuje signální i primární elektrony a způsobuje tak nábojové artefakty
- kritické energie E_1 a E_2 , při kterých se celkový výtěžek σ rovná jedné a tudíž žádný náboj nezůstává na povrchu vzorku
- $E_1 > E > E_2$ - kladný potenciál řádově jednotky V
- $E > E_2$ - záporný potenciál až kV

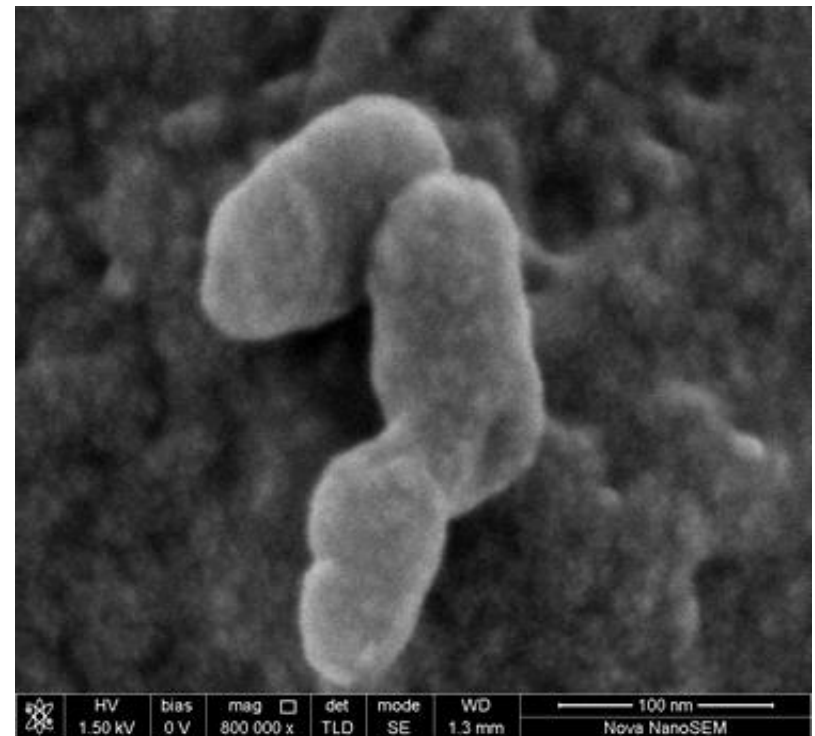
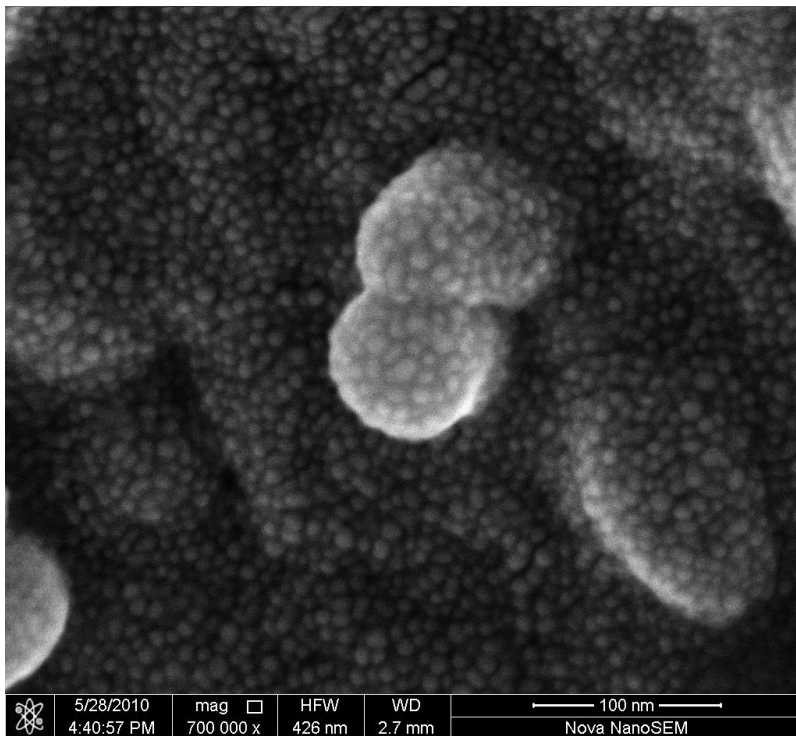


Nevodivé vzorky - nabíjení



Jak zabránit nabíjení - Pokovení

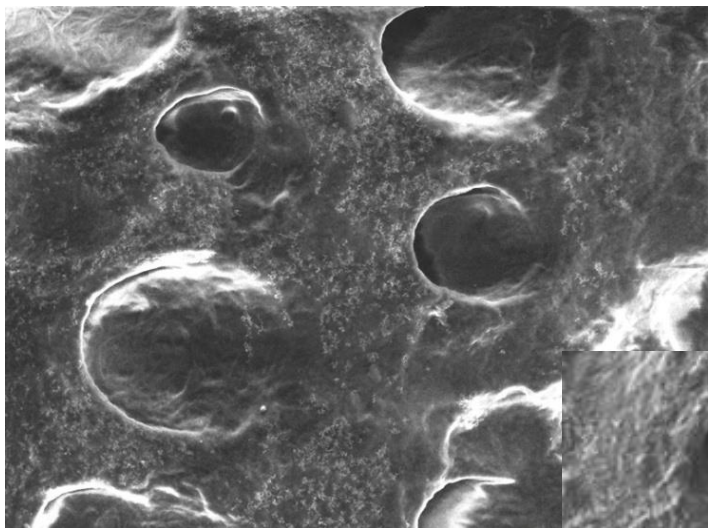
- Naprášení nebo napaření tenké vodivé vrstvy na povrch preparátu
 - + jednoduché, rychlé, účinné
 - vzorek je nepoužitelný pro další analýzu, pokovení může zakrýt drobné povrchové detaily



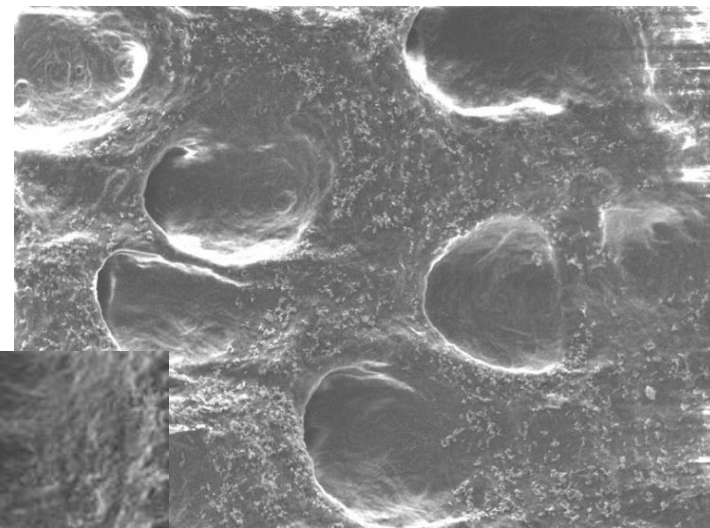
Jak zabránit nabíjení - Práce na kritické energii E_2

- Experimentálně lze nalézt kritickou energii
- Pro každý materiál různá

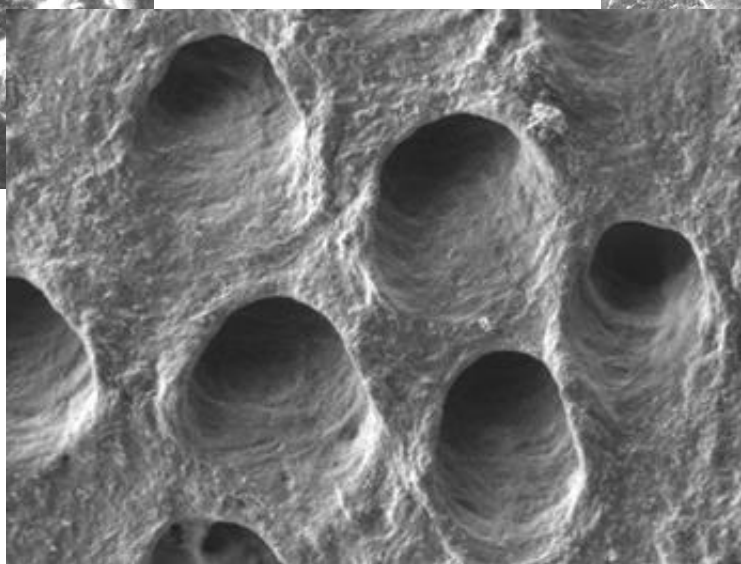
Jak zabránit nabíjení - nižší urychlovací napětí a proud



5 keV



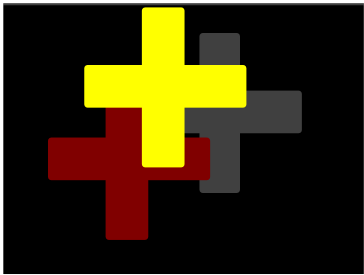
3 keV



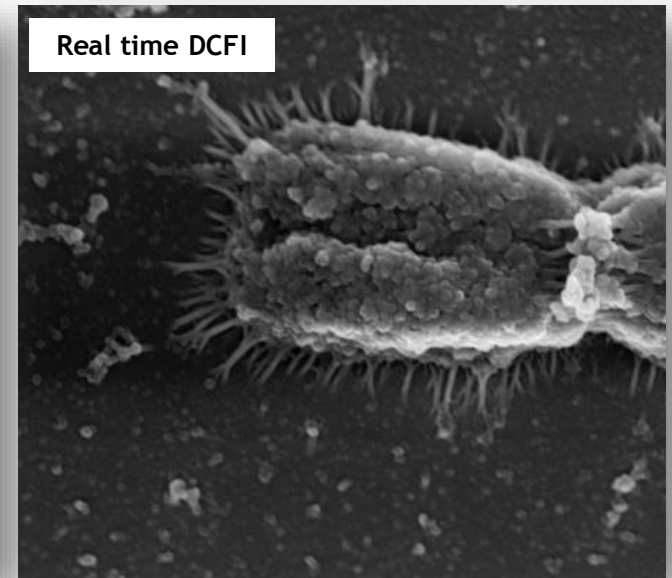
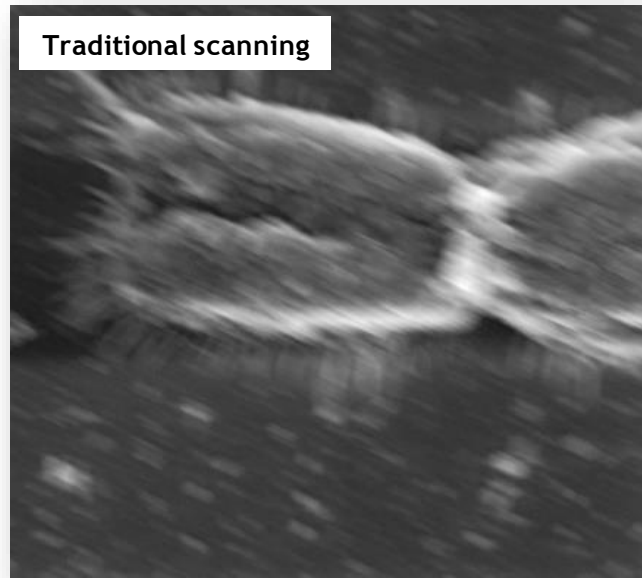
1 keV

nepokovený zubní dentin

Jak zabránit nabíjení - inteligentní rastrování



DCFI principle:
Automatic, real-time
realignment of
individual frames



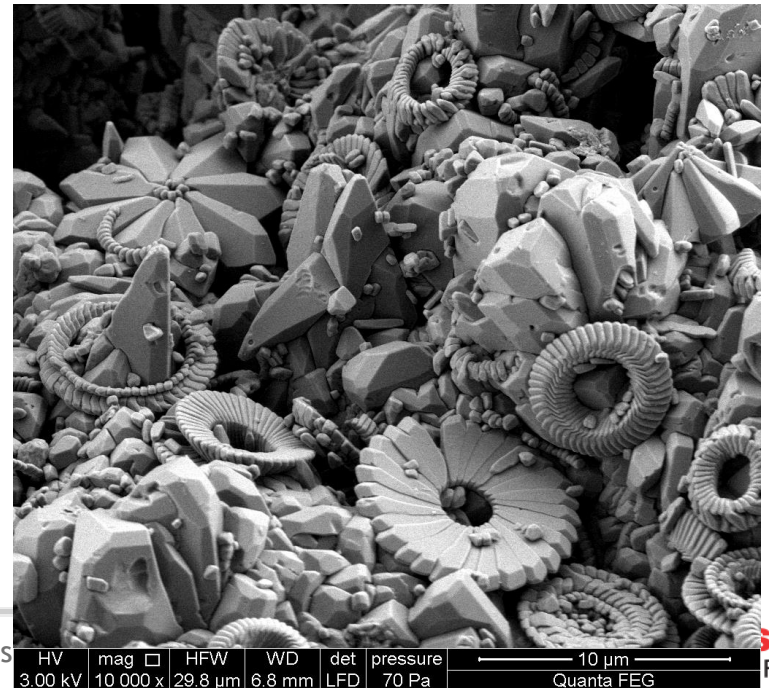
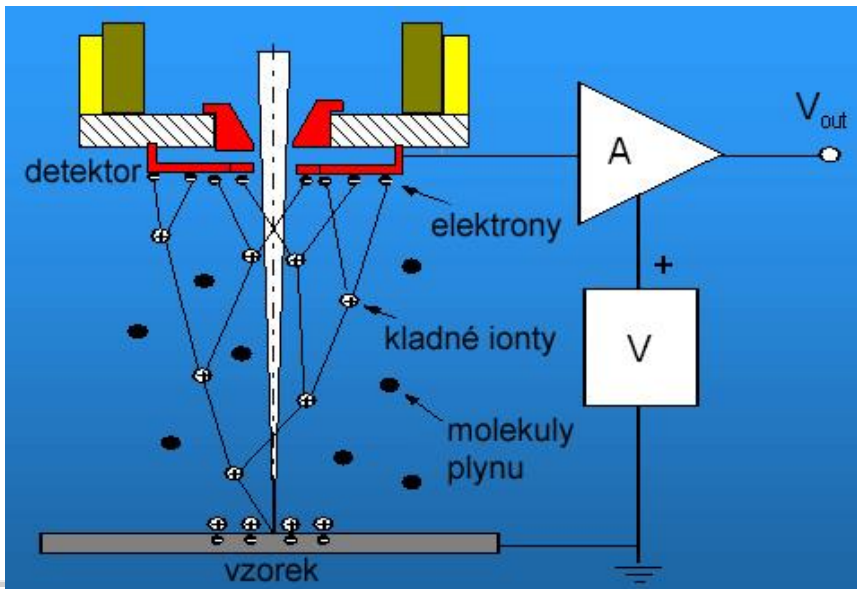
Uncoated biological sample

Jak zabránit nabíjení - režim nízkého vakua

klasický SEM – aby se zabránilo kolizím elektronů s molekulami vzduchu je celý mikroskop čerpán na tlak min. 10^{-3} Pa

low vacuum (LV), variable pressure (VP) SEM – tlak v komoře vzorku max. 200 Pa

připouštění plynu do komory vzorku – dochází ke srážkám elektronů s molekulami plynu – vznikají kladné ionty – kompenzují negativní náboj na nevodivého vzorku

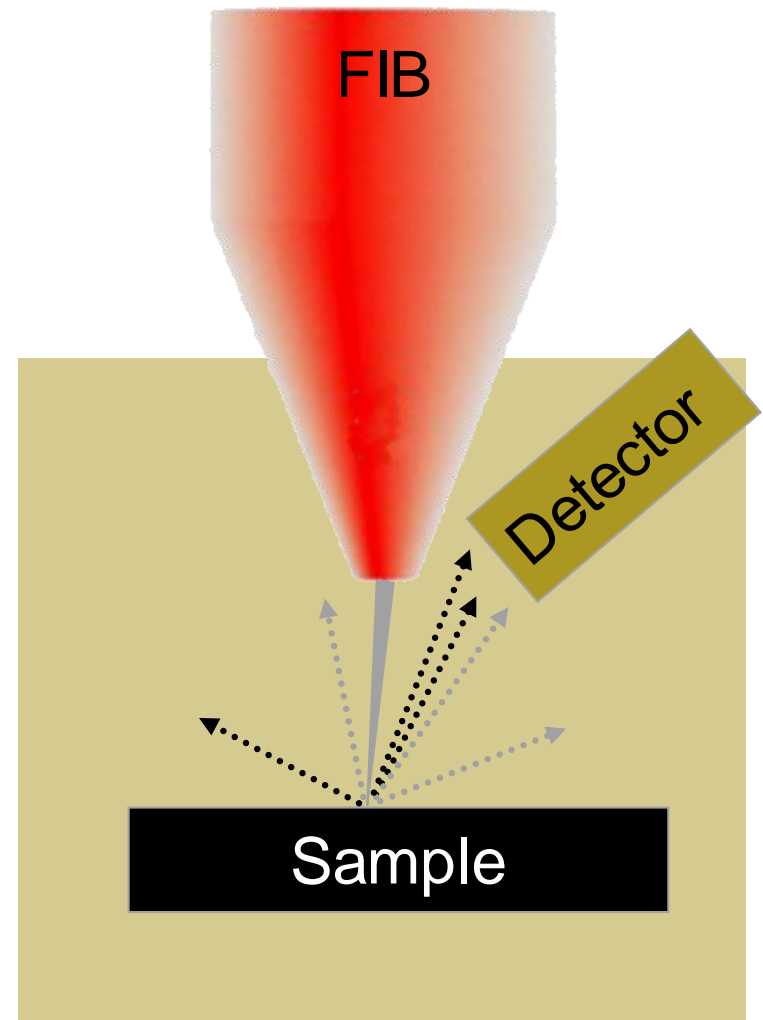


Charging - Live demo

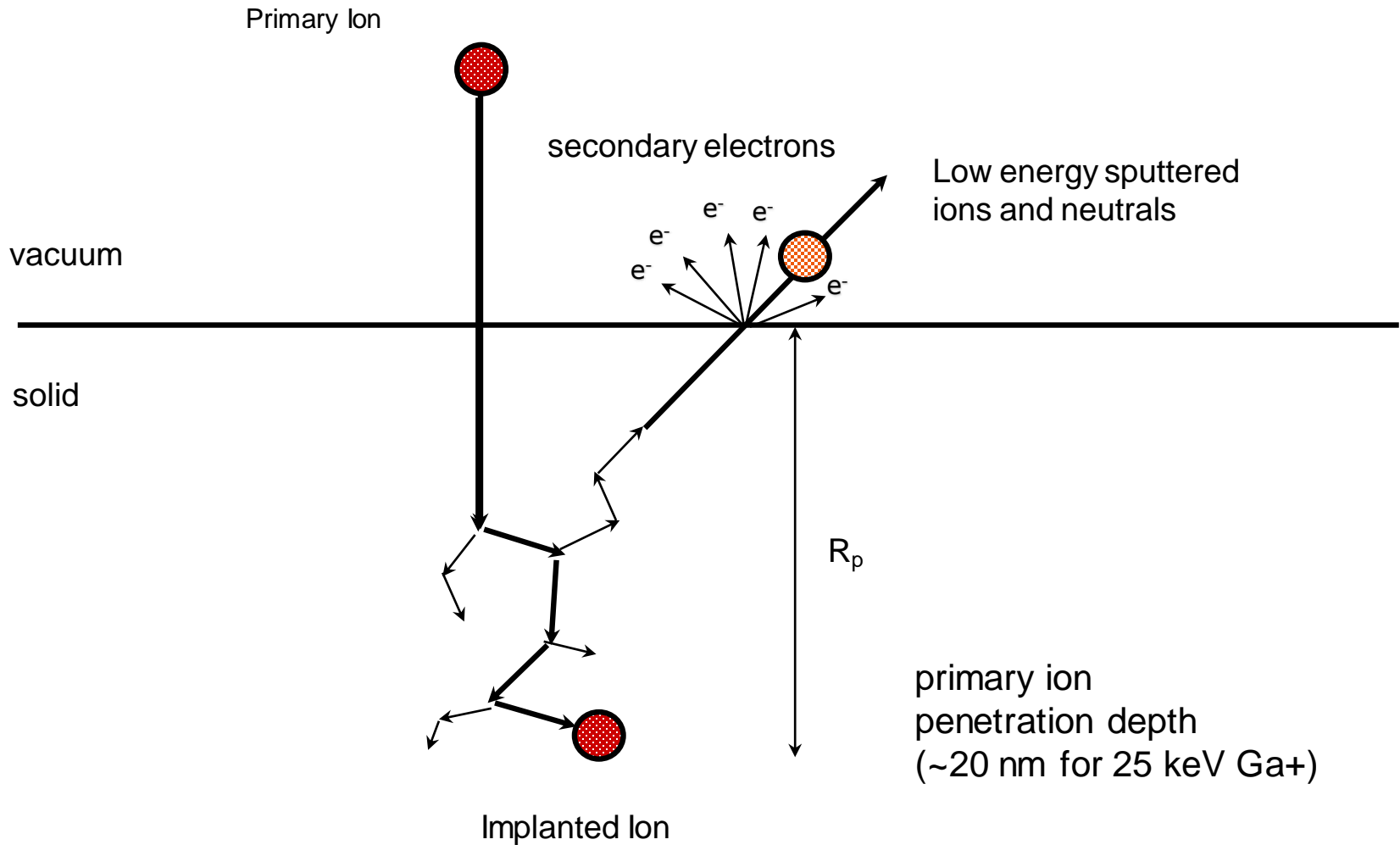
lontová mikroskopie

Working Principle of a Focused Ion Beam

- Focused beam of primary Ga^+ ions is scanned over the sample surface
- Secondary electrons, secondary ions, neutral atoms, ... leave the sample
- Collected on detector(s)
- Main use case = sample modification
 - Cross section prep
 - TEM sample prep
 - Nanoprototyping
- Usually not used for imaging



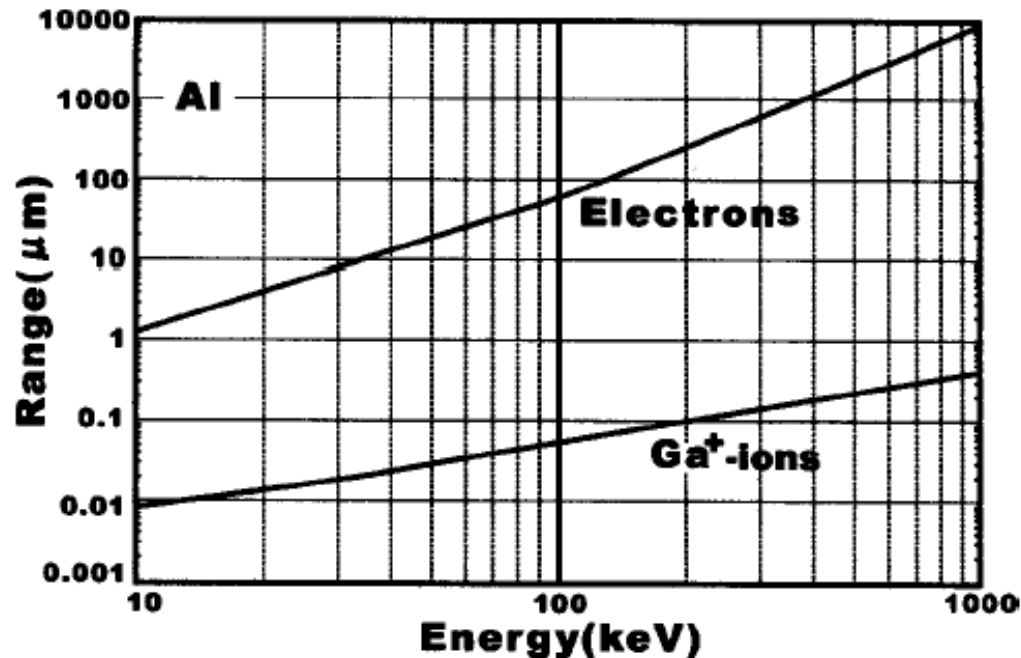
Ion Sputtering



B.I. Prenitzer, Ph.D. Dissertation, University of Central Florida, 1999

Penetration depth - Electrons vs. Ga⁺ ions

- The penetration depth as a function of the incident beam energy for Al.



*J. Lindhard and M. Scharff, *Phys. Rev.* (1961) 124, p.128,

*P. D. Townsend, J. C. Kelly, and N. E. Hartley, *Ion Implantation, Sputtering, and their Applications* (London, 1976), p.304.

*K. Kanaya and S. Okayama, *J. Phys.* (1972) D 5, p.43

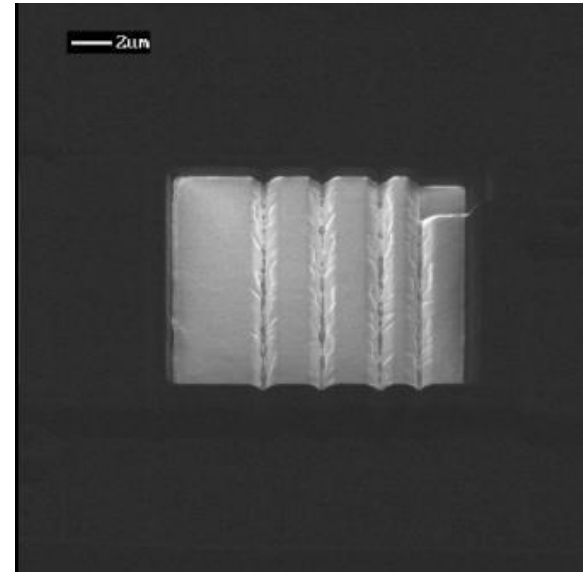
Ion induced Secondary Electron Image and Secondary Ion Image

Secondary Electron Image (ISE)

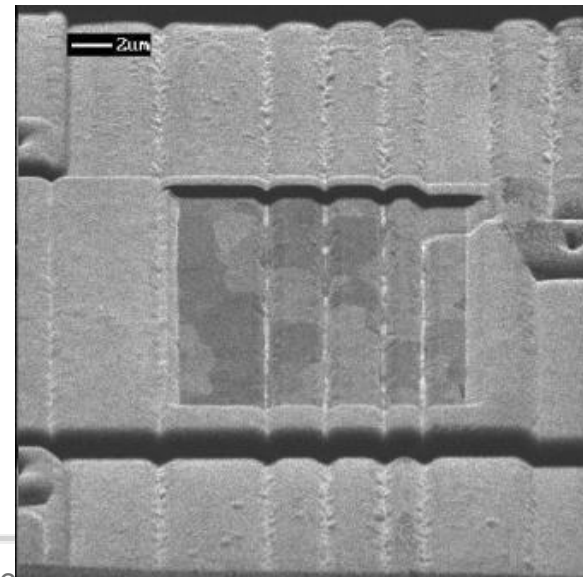
Since the primary ion beam is positively charged, insulators will charge positively, and will show low secondary electron yield. Therefore, the insulators will show dark on the images, while conducting materials will show bright and the current caused by the primary beam can flow away.

Secondary Ion Image (ISI)

The ion yield is much lower than electron yield. For this reason ISE images are often clear than ion images, longer scan times or larger beam currents are some times requires for high quality images.



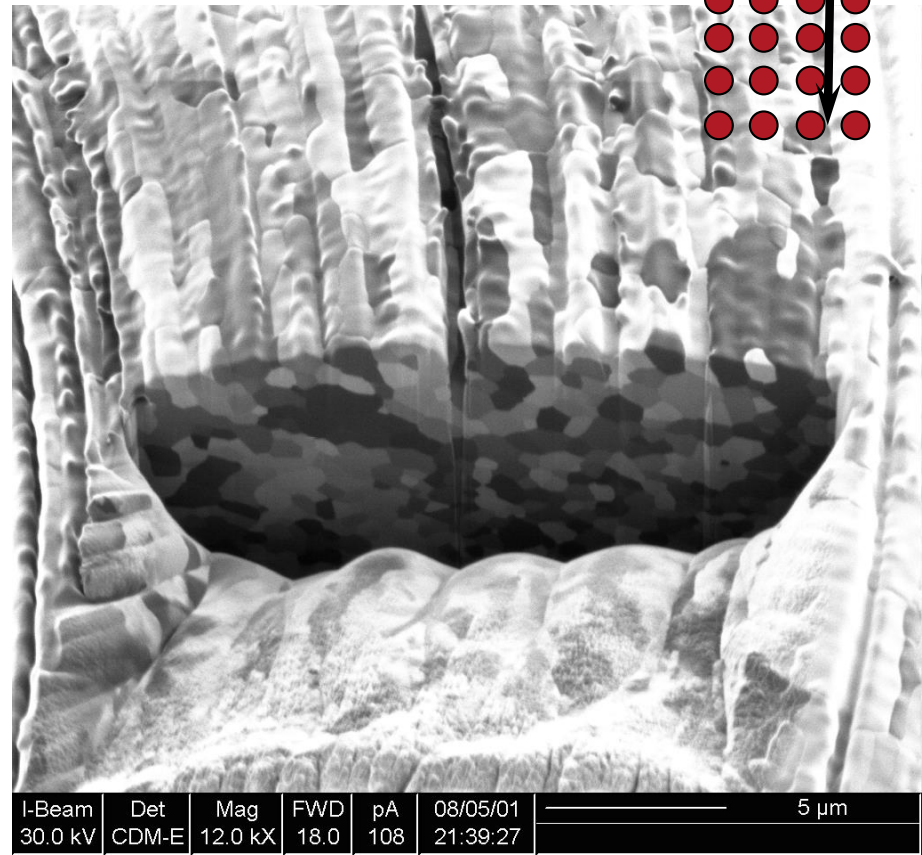
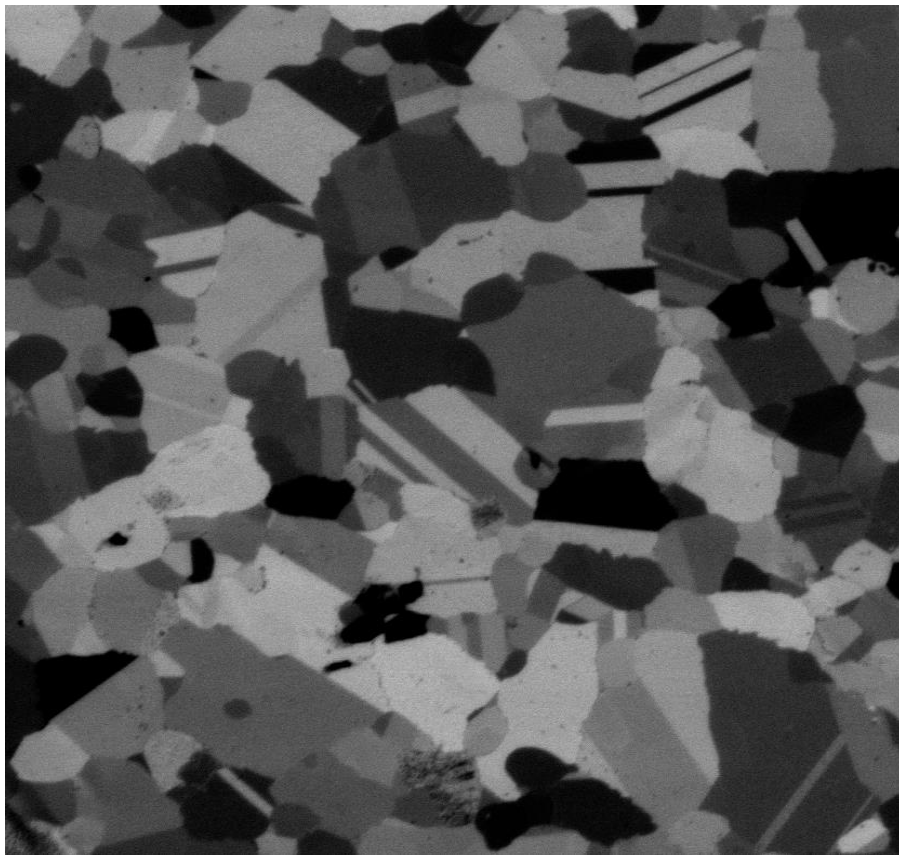
ISE



ISI

Channeling (grain) contrast by FIB

Ions channel through open columns in grains if zone axis // ion beam trajectory



I-Beam	Det	Mag	FWD	pA	08/05/01	5 μ m
30.0 kV	CDM-E	12.0 kX	18.0	108	21:39:27	

Literatura

- Reimer L.: Scanning Electron Microscopy - Physics of Image Formation and Microanalysis, ISBN: 3-540-63976-4
- Goldstein J.: Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis, ISBN: 0-306-47292-9
- Schwartz A. J.: Electron Backscattered Diffraction in Material Science, ISBN: 978-0-387-88135-5
- Nan Yao: Focused Ion Beam Systems: Basics and Applications, ISBN: 978-0-521-83199-4

