

F7500 Praktikum pokročilých metod 2

Skenovací elektronový mikroskop (SEM)

Mgr. Jana Jurmanová, Ph.D.

Přírodovědecká fakulta MU
Ústav fyzikální elektroniky

CEPLANT Research & development centre for low-cost plasma and nanotechnology surface modifications



podzim 2013

Od elektronu k TEM (transmisní elektronový mikroskop)

- 1897 – objev elektronu – J. J. Thompson

Od elektronu k TEM (transmisní elektronový mikroskop)

- 1897 – objev elektronu – J. J. Thompson
- 1925 – vlnově částicová hypotéza – L. de Broglie

Od elektronu k TEM (transmisní elektronový mikroskop)

- 1897 – objev elektronu – J. J. Thompson
- 1925 – vlnově částicová hypotéza – L. de Broglie
- 1926 – analogie světlo + čočka, elektron + solenoid – H. Busch

Od elektronu k TEM (transmisní elektronový mikroskop)

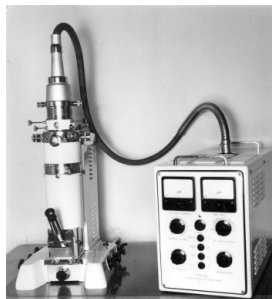
- 1897 – objev elektronu – J. J. Thompson
- 1925 – vlnově částicová hypotéza – L. de Broglie
- 1926 – analogie světlo + čočka, elektron + solenoid – H. Busch
- 1927 – elektronová difrakce – Davisson + Germer, Thompson + Reid

Od elektronu k TEM (transmisní elektronový mikroskop)

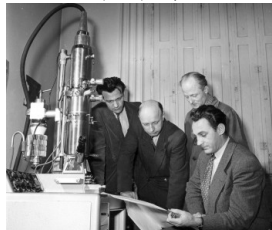
- 1897 – objev elektronu – J. J. Thompson
- 1925 – vlnově částicová hypotéza – L. de Broglie
- 1926 – analogie světlo + čočka, elektron + solenoid – H. Busch
- 1927 – elektronová difrakce – Davisson + Germer, Thompson + Reid
- 1932 – TEM s rozlišením 10nm – Knoll a Ruska, od 1939 komerční výroba

Od elektronu k TEM (transmisní elektronový mikroskop)

- 1897 – objev elektronu – J. J. Thompson
- 1925 – vlnově částicová hypotéza – L. de Broglie
- 1926 – analogie světlo + čočka, elektron + solenoid – H. Busch
- 1927 – elektronová difrakce – Davisson + Germer, Thompson + Reid
- 1932 – TEM s rozlišením 10nm – Knoll a Ruska, od 1939 komerční výroba



Tesla BS242 (1954), Expo 58, 20 let, 2-5 nm, 30 až 75 kV



100 kV (1960), L. Zobač, V. Drahoš, J. Speciální a A. Delong

Vznik SEM (skenovací, též rastrovací, elektronový mikroskop)

- 1934 – fotonásobič – N. J. Harley
Iams + Bernard Salzberg, 1936
V. K. Zworykin (detekce SE)

Vznik SEM (skenovací, též rastrovací, elektronový mikroskop)

- 1934 – fotonásobič – N. J. Harleys + Bernard Salzberg, 1936 V. K. Zworykin (detekce SE)
- 1938 – teoretický i praktický princip rastrování u TEM – M.von Ardenne

Vznik SEM (skenovací, též rastrovací, elektronový mikroskop)

- 1934 – fotonásobič – N. J. Harleym + Bernard Salzberg, 1936 V. K. Zworykin (detekce SE)
- 1938 – teoretický i praktický princip rastrování u TEM – M.von Ardenne
- 196? - SEM – C.W.Oatley, komerce 1965 Cambridge Scientific Instruments

Vznik SEM (skenovací, též rastrovací, elektronový mikroskop)

- 1934 – fotonásobič – N. J. Harleys + Bernard Salzberg, 1936 V. K. Zworykin (detekce SE)
- 1938 – teoretický i praktický princip rastrování u TEM – M.von Ardenne
- 196? - SEM – C.W.Oatley, komerce 1965 Cambridge Scientific Instruments



BS 350 (1976), Tryska měla katodu z monokrystalu wolframu orientace (310) provozovanou za pokojové teploty, tlak v oblasti trysky lepší než 10-8 Pa a v komoře preparátu lepší než 10-6 Pa.. Komoře preparátu byla vybavena iontovou tryskou pro čištění povrchů, analyzátozem Augerových elektronů a charakteristického rtg záření a detektory sekundárních, odražených, absorbovaných a prošlých elektronů.

Meze optické mikroskopie

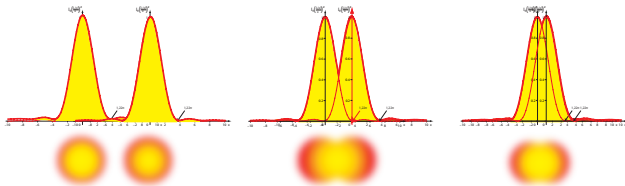
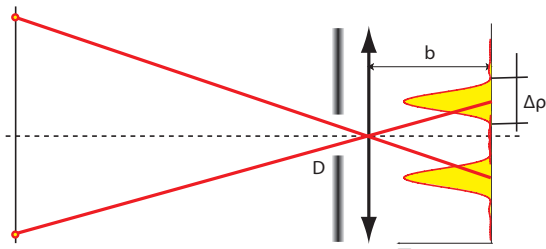
Rozlišovací
schopnost

$$\Delta\rho = 1,22\lambda \frac{b}{0.5D}$$

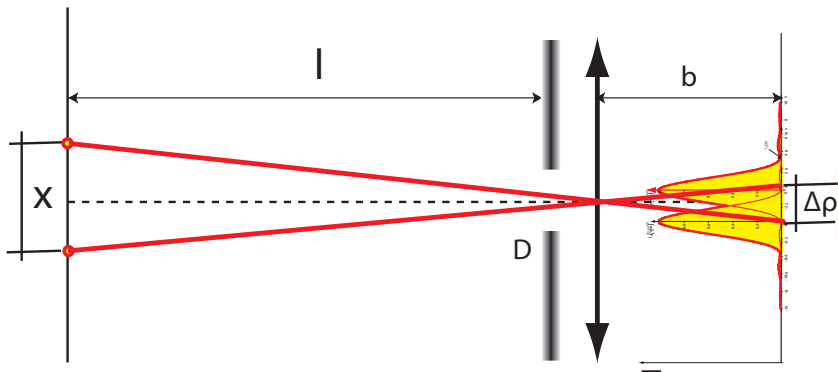
Meze optické mikroskopie

Rozlišovací
schopnost

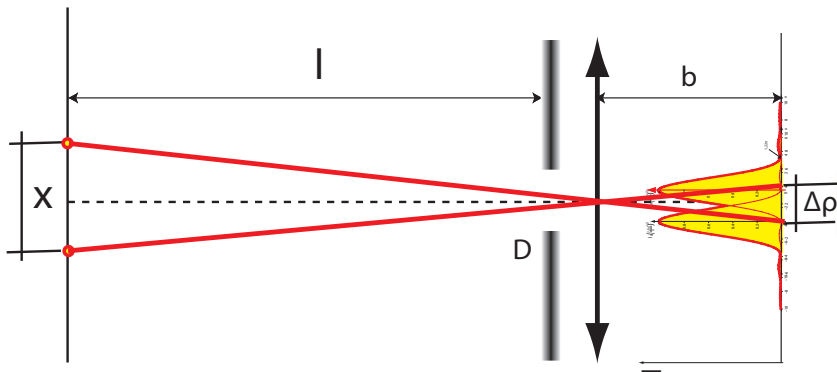
$$\Delta\rho = 1,22\lambda \frac{b}{0.5D}$$



Meze optické mikroskopie



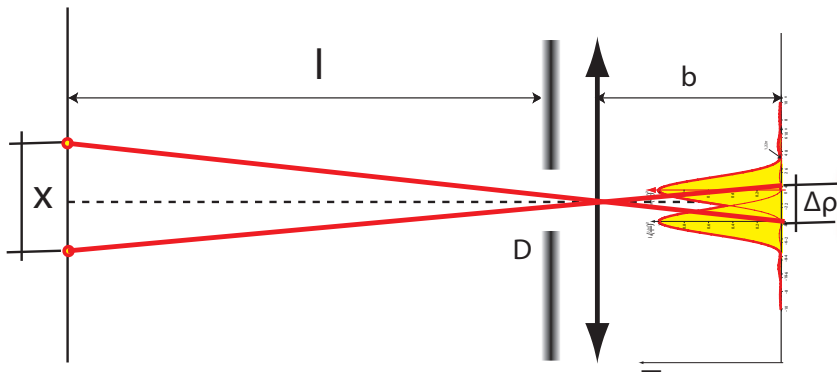
Meze optické mikroskopie



Rozlišení lidského oka ($b = 17\text{mm}$ $D = 5\text{mm}$ $\lambda = 555\text{nm}$):

$$\Delta\rho = 1,22\lambda \frac{b}{0.5D} = 1,22\lambda \frac{17}{0.5 \cdot 2} = 8\lambda = 5\mu\text{m}.$$

Meze optické mikroskopie



Rozlišení lidského oka ($b = 17\text{mm}$ $D = 5\text{mm}$ $\lambda = 555\text{nm}$):

$$\Delta\rho = 1,22\lambda \frac{b}{0.5D} = 1,22\lambda \frac{17}{0.5 \cdot 5} = 8\lambda = 5\mu\text{m}.$$

Konvenční zřaková vzdálenost: $l = 25\text{cm}$, takže v této vzdálenosti

$$x = \Delta\rho \frac{l}{b} = 5 \frac{250}{17} \mu\text{m} \doteq 100\mu\text{m}$$

Test rozlišení



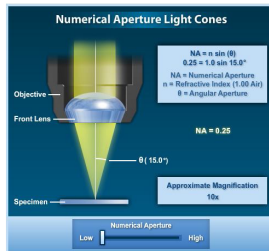
Rozlišení mikroskopu

Rozlišovací
schopnost
mikroskopu

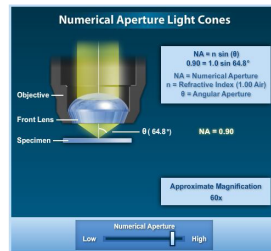
$$\Delta\rho = 0,61 \frac{\lambda}{NA},$$

$$NA = n \sin \Theta$$

Objektiv s nízkou NA



Objektiv s vysokou NA



Rozlišení mikroskopu

Rozlišovací
schopnost
mikroskopu

$$\Delta\rho = 0,61 \frac{\lambda}{NA},$$

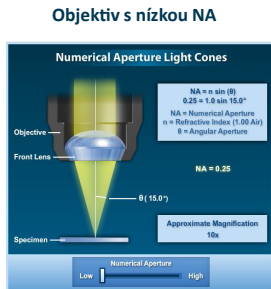
$$NA = n \sin \Theta$$

Např. v mikroskopu s úhlovou aperturou 0.25 dostaneme

$$\Delta\rho = 0,61 \frac{\lambda}{0,25} = 2,44\lambda = 1,3\mu m,$$

v mikroskopu s úhlovou aperturou 0.90 dostaneme

$$\Delta\rho = 0,61 \frac{\lambda}{0,90} = 0,67\lambda = 0,37\mu m.$$



Rozlišení mikroskopu

Rozlišovací
schopnost
mikroskopu

$$\Delta\rho = 0,61 \frac{\lambda}{NA},$$

$$NA = n \sin \Theta$$

Např. v mikroskopu s úhlovou aperturou 0.25 dostaneme

$$\Delta\rho = 0,61 \frac{\lambda}{0,25} = 2,44\lambda = 1,3\mu m,$$

v mikroskopu s úhlovou aperturou 0.90 dostaneme

$$\Delta\rho = 0,61 \frac{\lambda}{0,90} = 0,67\lambda = 0,37\mu m.$$

S maximální aperturou můžeme prohlásit, že rozlišení je přibližně rovno polovině vlnové délky použitého světla.



Meze optické mikroskopie

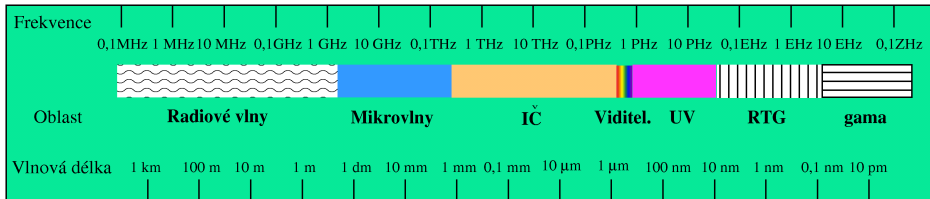
Jak snížit λ ?

Ultrafialová mikroskopie.

Meze optické mikroskopie

Jak snížit λ ?

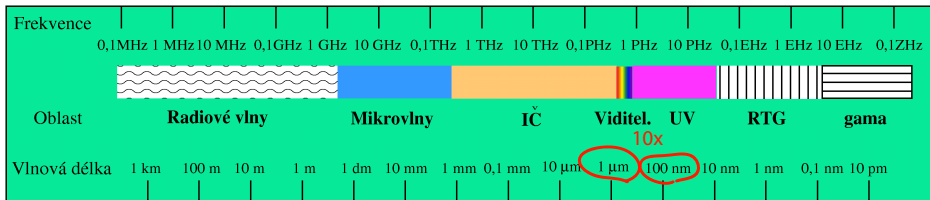
Ultrafialová mikroskopie.



Meze optické mikroskopie

Jak snížit λ ?

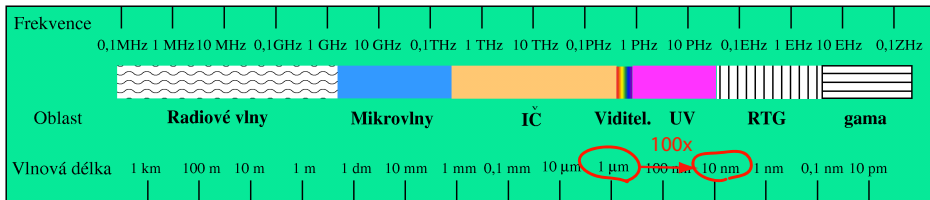
Ultrafialová mikroskopie.



Meze optické mikroskopie

Jak snížit λ ?

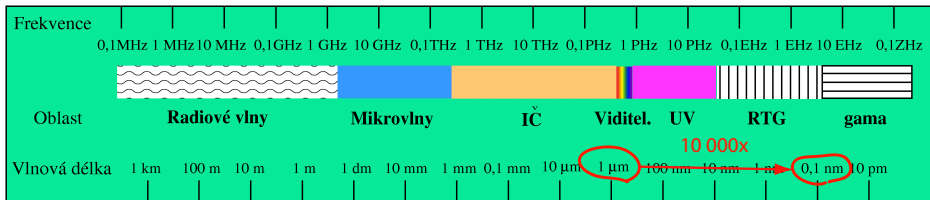
Ultrafialová mikroskopie.



Meze optické mikroskopie

Jak snížit λ ?

Ultrafialová mikroskopie.



Proč elektrony?

Jsou to lehké nabité částice s chováním analogickým fotonům.

Proč elektrony?

Jsou to lehké nabité částice s chováním analogickým fotonům.

De Broglieho hypotéza:

$$\lambda = \frac{h}{p},$$

kde p je hybnost pohybující se částice, $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ J.s je Planckova konstanta.

Proč elektrony?

Jsou to lehké nabité částice s chováním analogickým fotonům.

De Broglieho hypotéza:

$$\lambda = \frac{h}{p},$$

kde p je hybnost pohybující se částice, $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ J.s je Planckova konstanta.

Elektron je lehká částice ($m = 9 \cdot 10^{-31}$ kg), její rychlost se může přiblížit až rychlosti světla ($c = 3 \cdot 10^8$ m.s⁻¹), takže

by mohlo jít dosáhnout rozlišení

Proč elektrony?

Jsou to lehké nabité částice s chováním analogickým fotonům.
De Broglieho hypotéza:

$$\lambda = \frac{h}{p},$$

kde p je hybnost pohybující se částice, $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ J.s je Planckova konstanta.

Elektron je lehká částice ($m = 9 \cdot 10^{-31}$ kg), její rychlost se může přiblížit až rychlosti světla ($c = 3 \cdot 10^8$ m.s⁻¹), takže

by mohlo jít dosáhnout rozlišení

$$\Delta \rho \sim 10^{-34 - (-30 + 8)} \text{ m} \sim 10^{-12} \text{ m} \sim 0,001 \text{ nm}.$$

Jak na elektrony?

Elektron o náboji $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ snadno urychlit elektrickým polem o napětí U , přičemž pro kinetickou energii elektronu platí:

$$E_k = e \cdot U.$$

Jak na elektrony?

Elektron o náboji $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ snadno urychlit elektrickým polem o napětí U , přičemž pro kinetickou energii elektronu platí:

$$E_k = e \cdot U.$$

Zkombinujeme-li tento vztah s de Broglieho hypotézou, dostaneme

$$E_k = eU = \frac{p^2}{2m} = \frac{h^2}{2m_0\lambda^2},$$

Jak na elektrony?

Elektron o náboji $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ snadno urychlit elektrickým polem o napětí U , přičemž pro kinetickou energii elektronu platí:

$$E_k = e \cdot U.$$

Zkombinujeme-li tento vztah s de Broglieho hypotézou, dostaneme

$$E_k = eU = \frac{p^2}{2m} = \frac{h^2}{2m_0\lambda^2},$$

odkud:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} \sim \frac{hc}{\sqrt{2m_0c^2E_k}} = \frac{hc}{\sqrt{2m_0c^2eU}} = \frac{1,234 \cdot 10^{-9}}{\sqrt{U}}.$$

Relativista dodává:

Pokud se elektrony pohybují rychlostí srovnatelnou s rychlostí světla, je potřeba předchozí výpočet zpřesnit.

Relativista dodává:

Pokud se elektrony pohybují rychlostí srovnatelnou s rychlostí světla, je potřeba předchozí výpočet zpřesnit.

Celková energie elektronu je součtem energie kinetické a klidové:

$$E = E_k + m_0c^2$$

Relativista dodává:

Pokud se elektrony pohybují rychlostí srovnatelnou s rychlostí světla, je potřeba předchozí výpočet zpřesnit.

Celková energie elektronu je součtem energie kinetické a klidové:

$$E = E_k + m_0 c^2$$

a s hybností souvisí:

$$E^2 - p^2 c^2 = m_0^2 c^4.$$

Relativista dodává:

Pokud se elektrony pohybují rychlostí srovnatelnou s rychlostí světla, je potřeba předchozí výpočet zpřesnit.

Celková energie elektronu je součtem energie kinetické a klidové:

$$E = E_k + m_0 c^2$$

a s hybností souvisí:

$$E^2 - p^2 c^2 = m_0^2 c^4.$$

Zkombinujeme-li tyto vztahy s de Broglieho hypotézou, dostaneme:

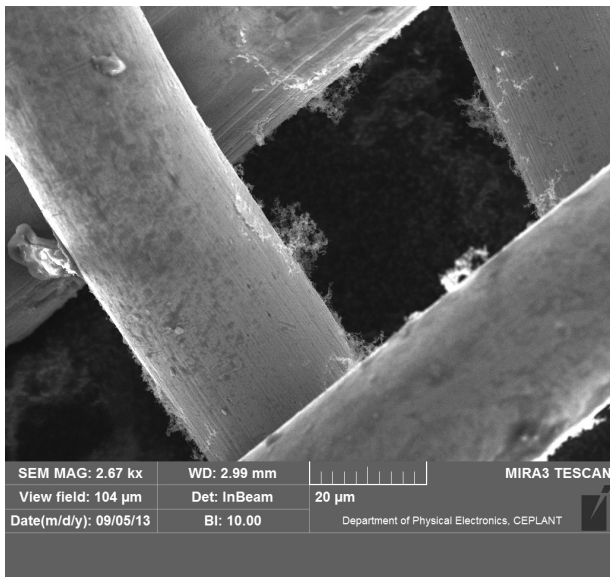
$$\begin{aligned} E^2 - m_0^2 c^4 &= p^2 c^2 \\ (E - m_0 c^2)(E + m_0 c^2) &= p^2 c^2 \\ E_k(E_k + 2m_0 c^2) &= \frac{h^2 c^2}{\lambda^2} \end{aligned}$$

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{E_k(2m_0 c^2 + E_k)}} = \frac{hc}{\sqrt{eU(2m_0 c^2 + eU)}}$$

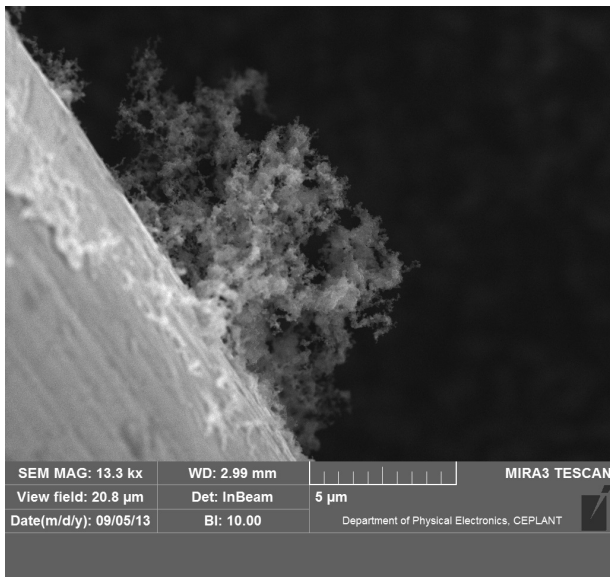
Konkrétně:

	U[kV]	v[c] klas	v[c] rel	λ [nm] klas	λ [nm] rel
SEM	0,15	0.024	0.024	0.101	0.101
	1	0.063	0.063	0.039	0.039
	2	0.090	0.089	0.028	0.028
	5	0.141	0.140	0.017	0.017
	10	0.199	0.196	0.012	0.012
	30	0.344	0.330	0.007	0.007
TEM	50	0.445	0.415	0.0055	0.0053
	100	0.629	0.550	0.0039	0.0037
	200	0.890	0.698	0.0030	0.0025
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	40 000???	13???	0.9999	0.0002	0.00003

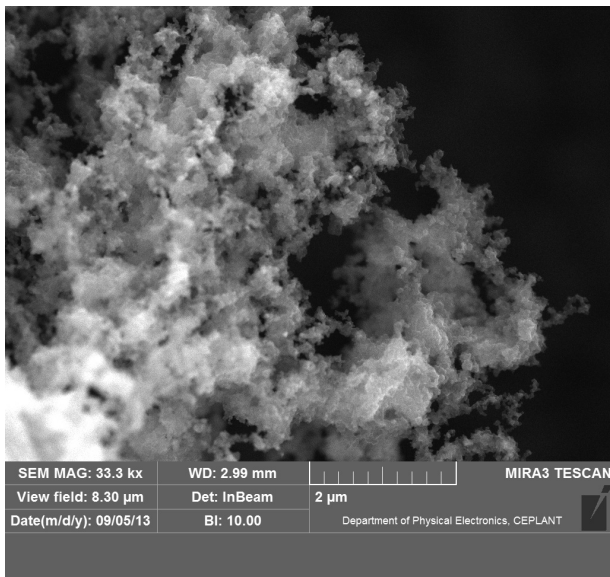
Konkrétní preparát:



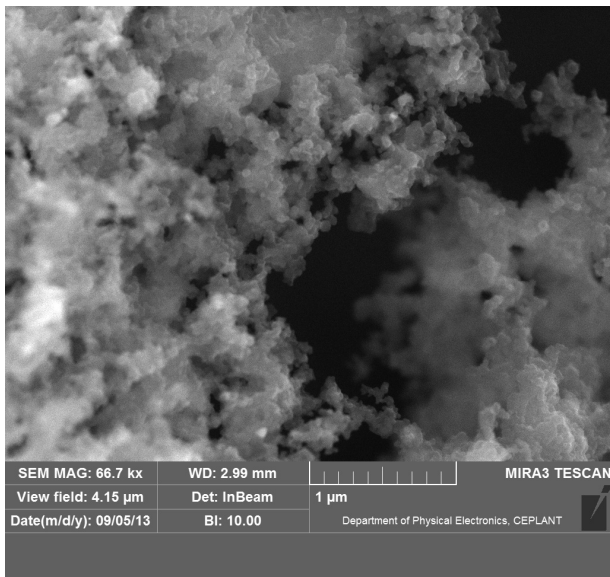
Konkrétní preparát:



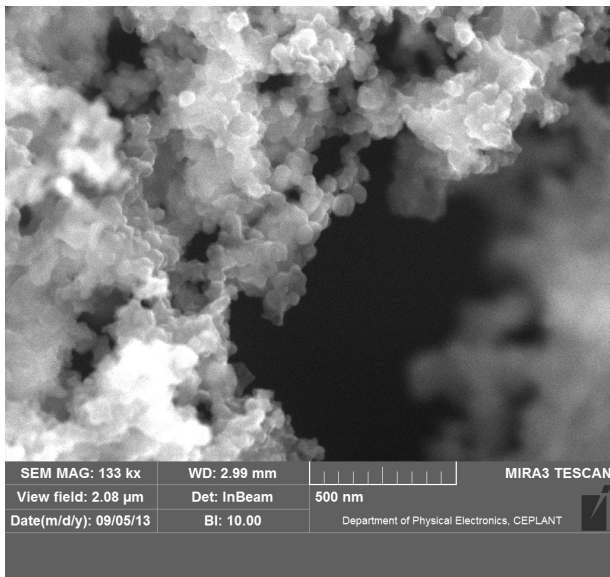
Konkrétní preparát:



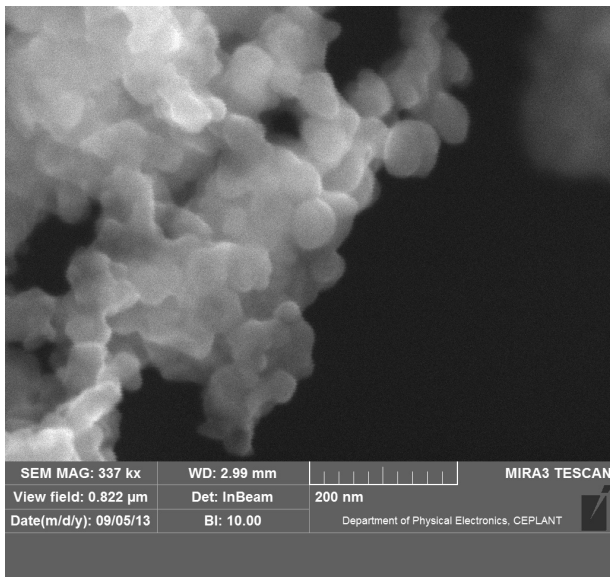
Konkrétní preparát:



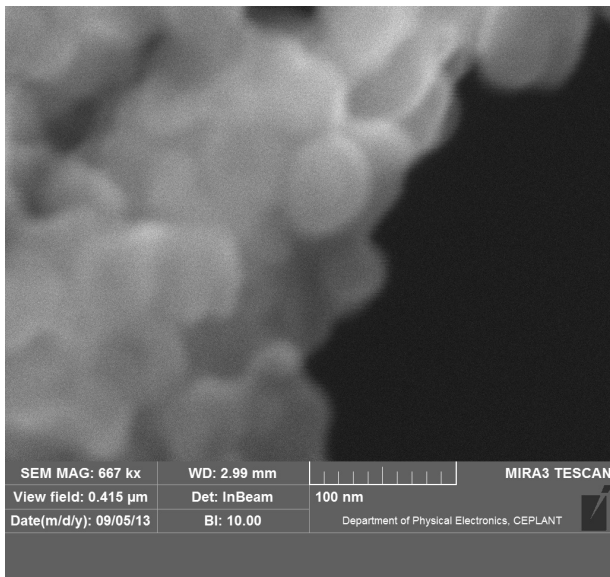
Konkrétní preparát:



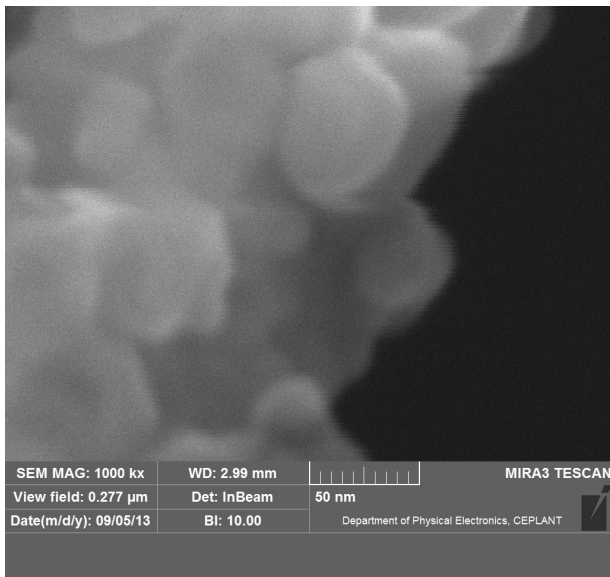
Konkrétní preparát:



Konkrétní preparát:

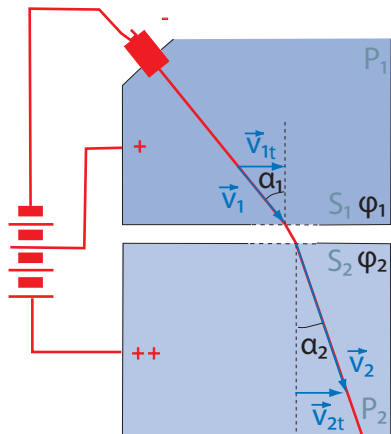


Konkrétní preparát:



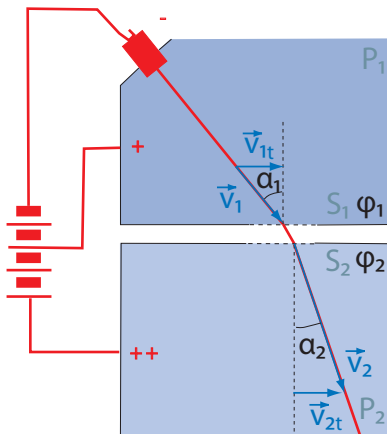
Analogie – šíření světla a elektronů

Lom elektronového svazku při změně potenciálu:



Analogie – šíření světla a elektronů

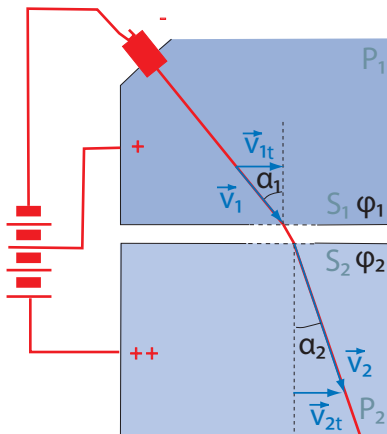
Lom elektronového svazku při změně potenciálu:



$$v_{1(2)} = \sqrt{\frac{2e\varphi_{1(2)}}{m}}$$

Analogie – šíření světla a elektronů

Lom elektronového svazku při změně potenciálu:

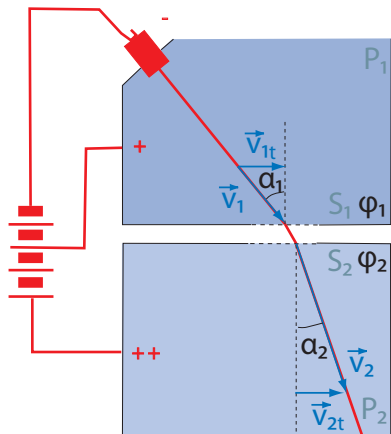


$$v_{1(2)} = \sqrt{\frac{2e\phi_{1(2)}}{m}}$$

$$v_{1t} = v_{2t}$$

Analogie – šíření světla a elektronů

Lom elektronového svazku při změně potenciálu:



$$v_{1(2)} = \sqrt{\frac{2e\varphi_{1(2)}}{m}}$$

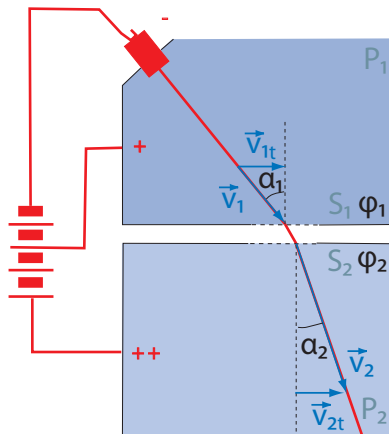
$$\sin \alpha_1 = \frac{v_{1t}}{v_1}$$

$$v_{1t} = v_{2t}$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{v_{2t}}{v_2}$$

Analogie – šíření světla a elektronů

Lom elektronového svazku při změně potenciálu:



$$v_{1(2)} = \sqrt{\frac{2e\phi_{1(2)}}{m}}$$

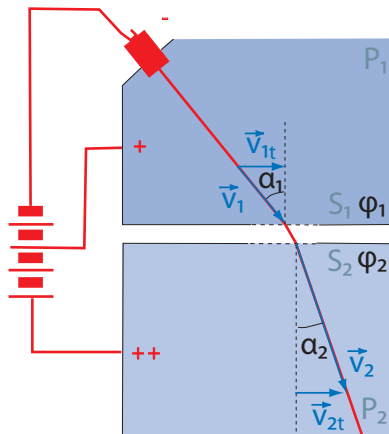
$$\sin \alpha_1 = \frac{v_{1t}}{v_1} \quad v_{1t} = v_{2t}$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{v_{2t}}{v_2}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} = \frac{\sqrt{\phi_1}}{\sqrt{\phi_2}}$$

Analogie – šíření světla a elektronů

Lom elektronového svazku při změně potenciálu:



$$v_{1(2)} = \sqrt{\frac{2e\varphi_{1(2)}}{m}} \quad v_{1t} = v_{2t}$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{v_{1t}}{v_1} \quad \sin \alpha_2 = \frac{v_{2t}}{v_2}$$

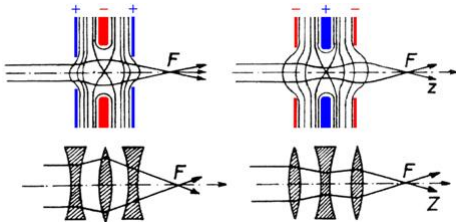
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} = \frac{\sqrt{\varphi_1}}{\sqrt{\varphi_2}}$$

Pokud se potenciál mění spojitě, připomíná situace spíše ohyb světla např. při fata morgañě.

Čočky pro elektrony

elektrostatická

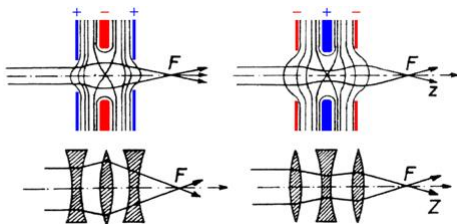
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\sqrt{\varphi_1}}{\sqrt{\varphi_2}}$$



Čočky pro elektrony

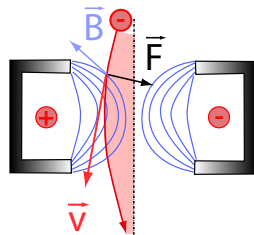
elektrostatická

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{\varphi_1}}{\sqrt{\varphi_2}}$$



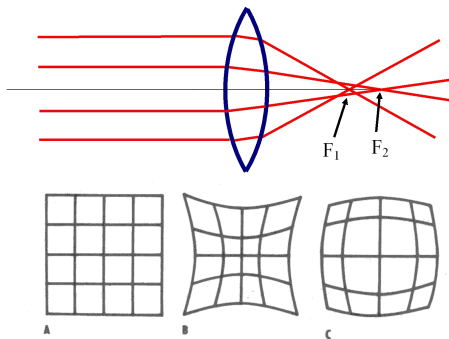
magnetická:

$$\vec{F} = e(\vec{v} \times \vec{B})$$



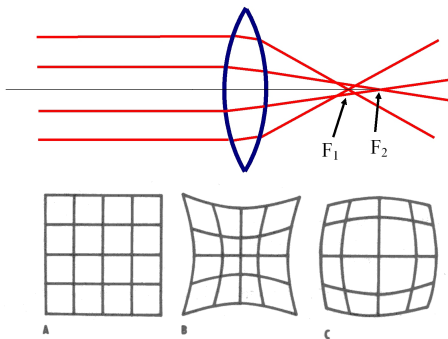
Dokonalá analogie

Okrajová vada

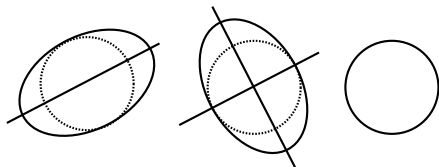


Dokonalá analogie

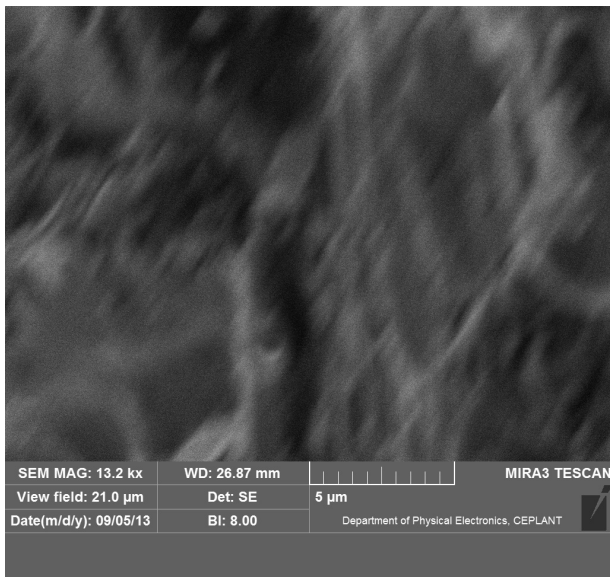
Okrajová vada



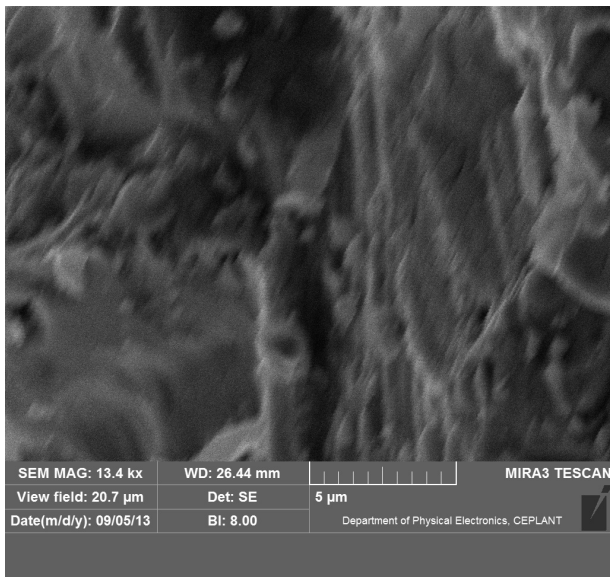
astigmatismus



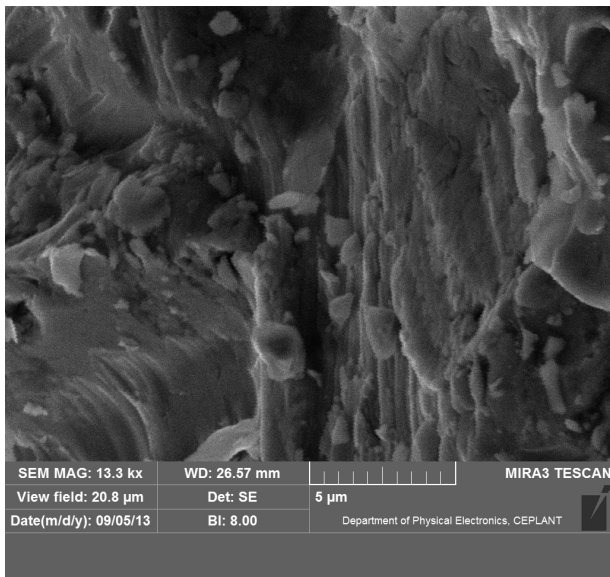
Konkrétní preparát:



Konkrétní preparát:



Konkrétní preparát:



Tubus a čočky

**Světelný
mikroskop**



Reálná velikost 40 cm

**Elektronový
mikroskop
TEM**



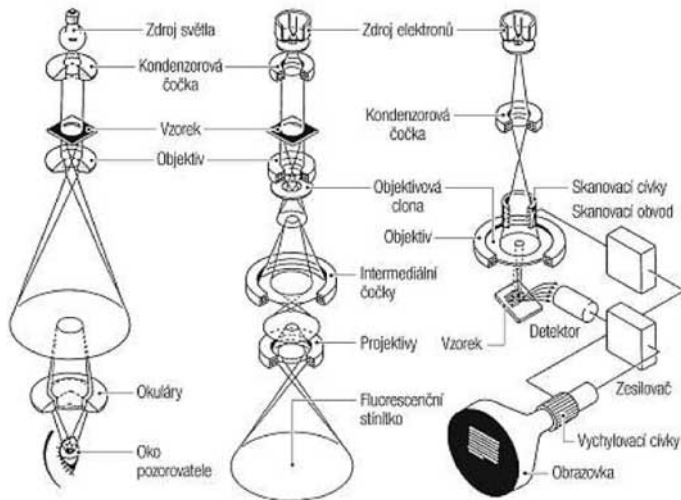
Je velký 2 metry

**Elektronový
mikroskop
SEM**



Měří 90 cm

Tubus a čočky

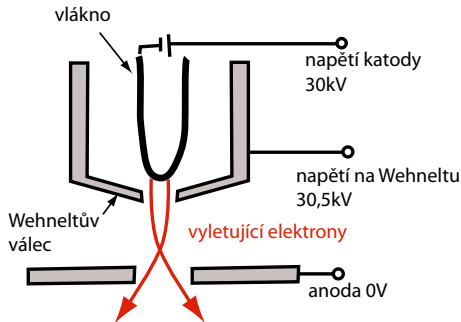


Rozlišení 200 nm
Zvětšení do X 2000

0,1 nm
X 50 až X 1 500 000

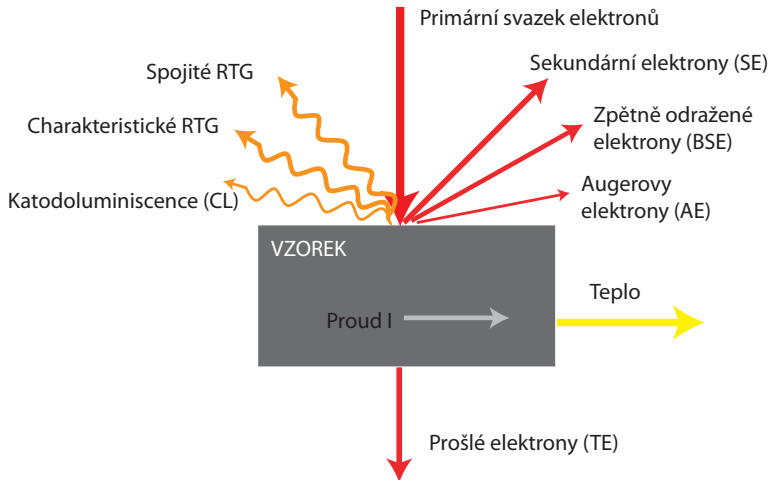
0,5 nm
X 10 až X 1 000 000

Zdroj

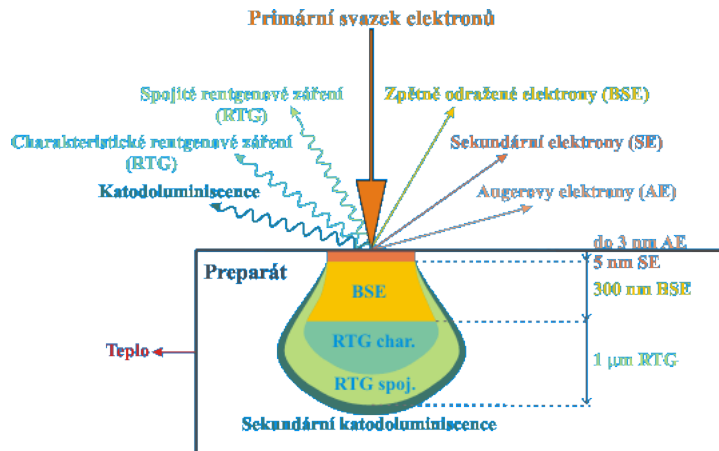


Typ katody	Proud. hust. [A/m ²]	Proud v 1 nm stopě [pA]	Max. proud [nA]	Energiový rozptyl [eV]	Pracovní teplota [K]	Pracovní tlak [Pa]	Životnost [hod]
termoemisní	$< 10^5$	0,1	10^3	1-3	2700	$< 10^{-3}$	60-200
LaB ₆	10^6	1	10^3	0.5-2	2000	10^{-4}	1000
Shotkyho emise	10^8	$5 \cdot 10^2$	> 200	0.4-0.6	1800	10^{-6}	> 2000
studená autoemise	10^{10}	10^3	10 – 20	0.2-0.4	300	10^{-8}	> 2000

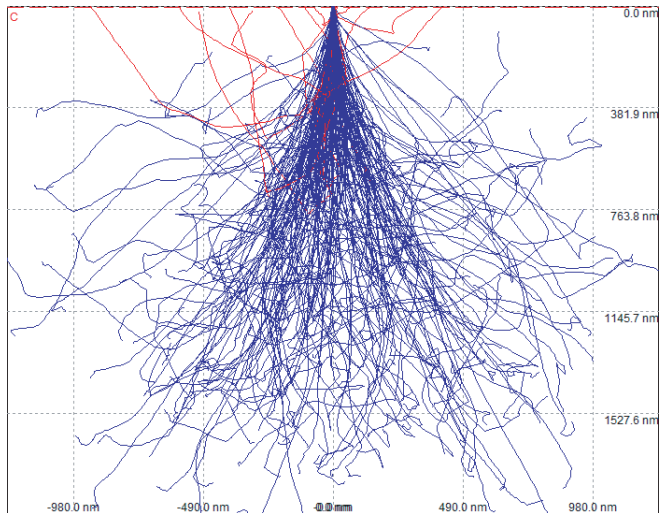
Vystupující signály



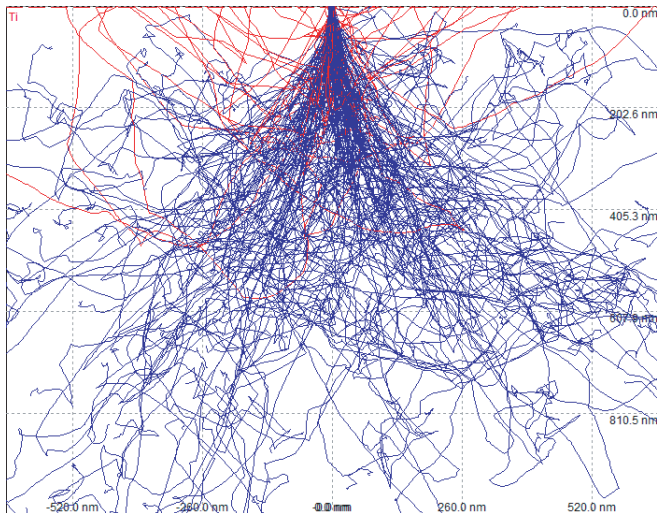
Informace z různých hloubek



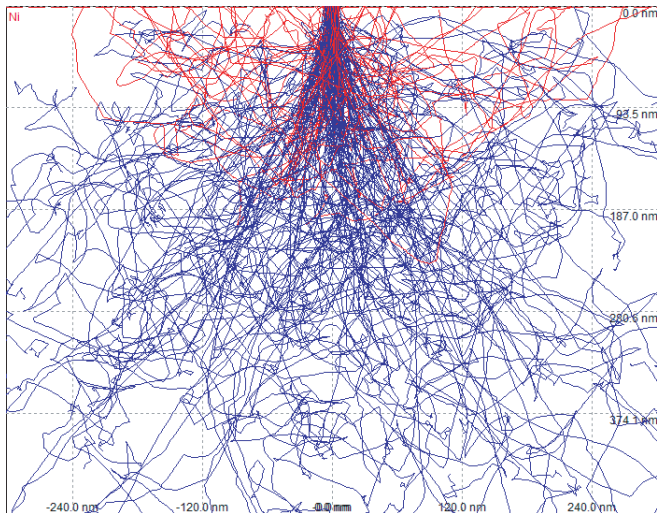
Simulace pro různé materiály



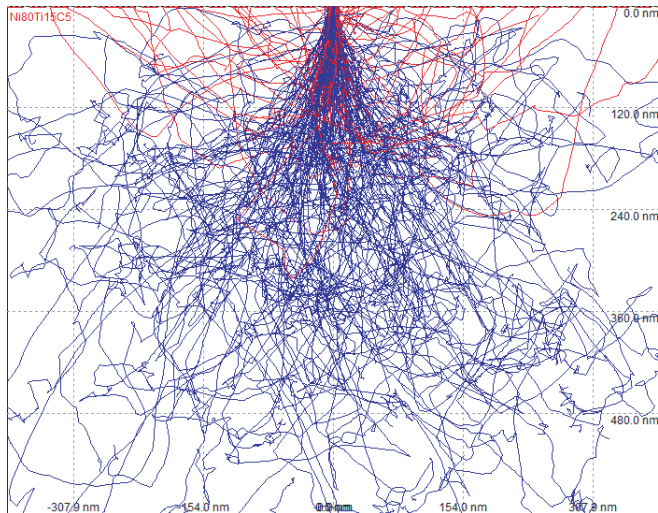
Simulace pro různé materiály



Simulace pro různé materiály

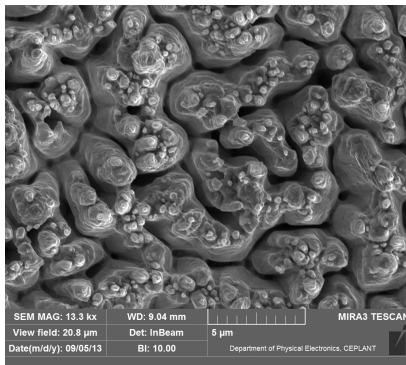


Simulace pro různé materiály



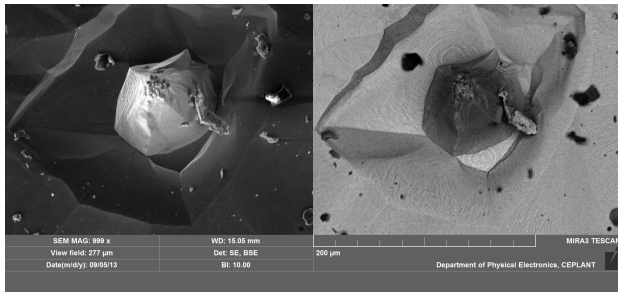
Sekundární elektrony

- Vznikají srážkou primárního svazku s elektrony ve valenčním nebo vodivém pás
- Potřebují ke své emisi poměrně malé hodnoty energie (kolem 50eV) a mohou tedy vzorek opouštět v blízkosti povrchu do 5nm
- Výnos (SE:PE) se mění s úhlem naklonění preparátu nebo povrchu vůči primárnímu svazku



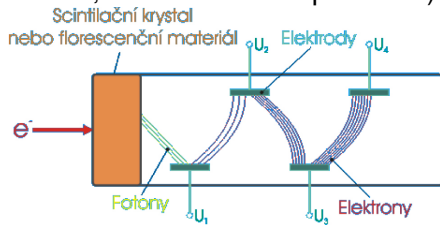
Zpětně odražené elektrony

- Vznikají srážkou primárního svazku s jádrem vzorku či mnohonásobnou srážkou s elektrony vzorku
- Jejich energie je 50eV - jednotky keV a mohou tedy pocházet i z větší hloubky (stovky nanometrů)
- Výnos (BSE:PE) závisí na protonovém čísle vzorku - čím těžší prvky, tím více BSE

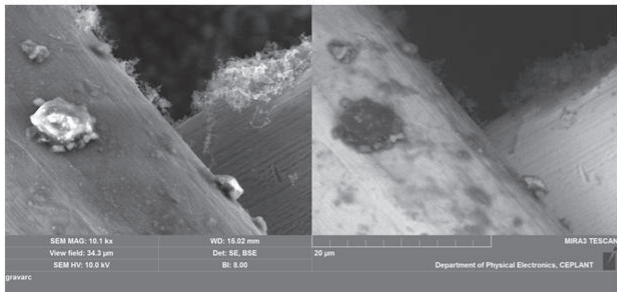
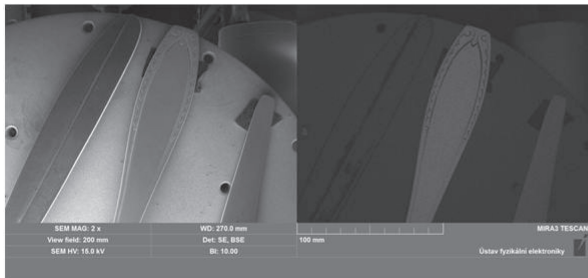


Detekce SE a BSE – ET detektory (Everhart a Thornley)

- scintilační počítač s fotonásobičem
- Elektron vyvolá při dopadu na scintilační krystal nebo fluorescenční materiál záblesk, ten dopadá na fotokatodu, z ní se uvolňují elektrony a fotonásobič zvýší proud tisíckrát až milionkrát
- Scintilátor YAG (ytrium-hliník-granát) vysílá 550nm
- Pomocí předpětí na mřížce kolektoru vybíráme BSE nebo SE
- SE detektor sekundárních elektronů, typ Everhart- Thornley (YAG krystal) (1.2 nm při 30 kV, inBeam 1.0 nm při 30 kV)

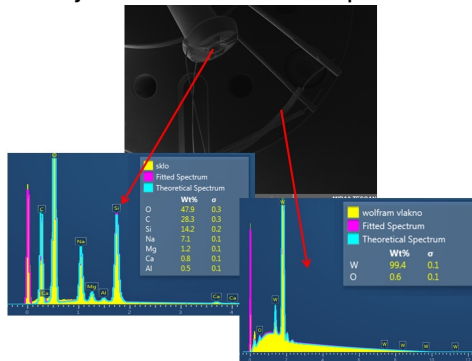


Konkrétní preparáty



Vznik charakteristického RTG

- Elektrony dopadají do vnitřních orbitalů atomu, tam vyřázejí elektrony přítomné v těchto orbitalech. Na uprázdněné místo seskočí elektron z valenčního orbitalu a uvolní energii ve formě RTG fotonu.
- Energie RTG čar jsou charakteristické pro různé prvky.



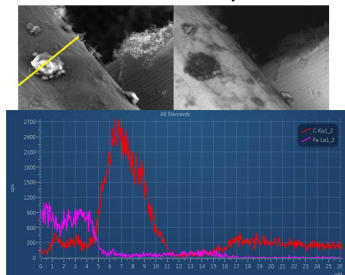
RTG detektor polovodičový – PIN

- Velmi čistý polovodič s velkou intristickou (vnitřní oblastí), v něm vzniká po dopadu fotonu pár elektron-díra. Pro detekční účely se zapojuje v závěrném směru, funguje jako fotoodpor (s rostoucím osvětlením odpor klesá).
- Velmi rychlý náběh (ns)

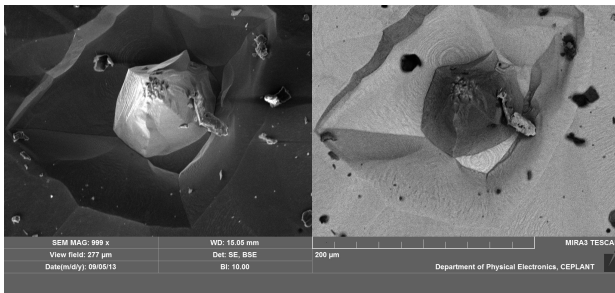


EDX analyzátor

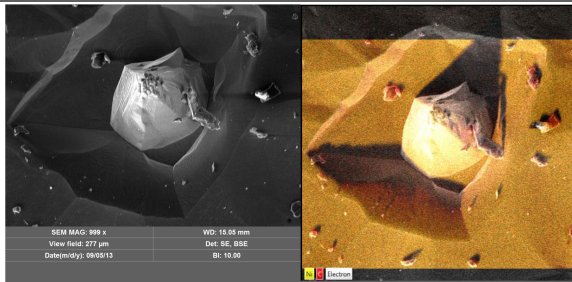
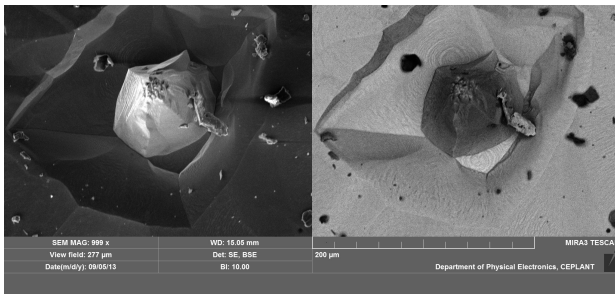
- Analyzuje velmi přesně prvkové složení na základě znalosti energie dopadajícího rtg záření.
- Detektor (Energy-dispersive microanalyzer) s "Silicon Drift Detector" (SDD), bez chlazení tekutým dusíkem, energiové rozlišení 132 eV nebo lepší (problém Zn-Na), detekce při koncentračním limitu nad 1%,
- Možnost udělat spektrum, linescan, mapu...



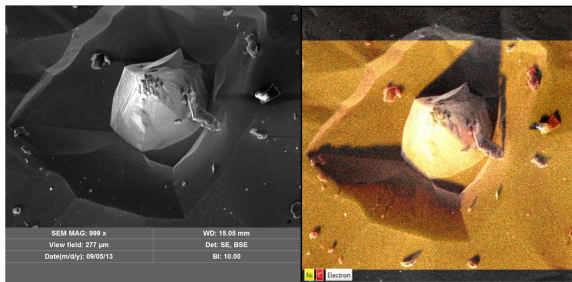
EDX analýza - mapa



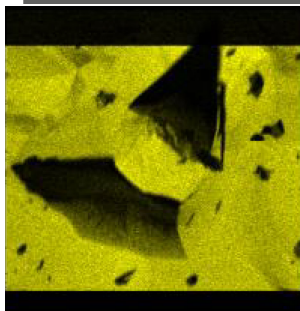
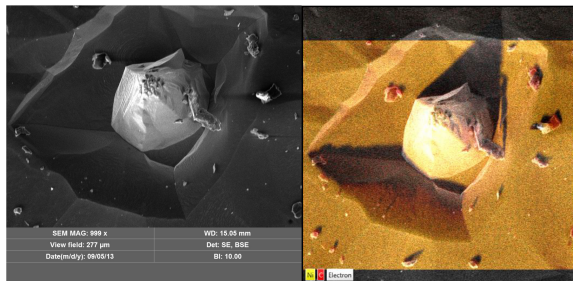
EDX analýza - mapa



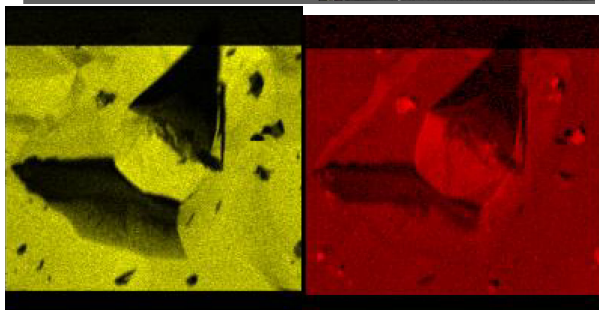
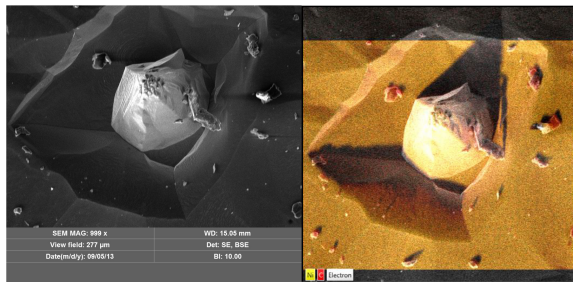
EDX analýza - mapa



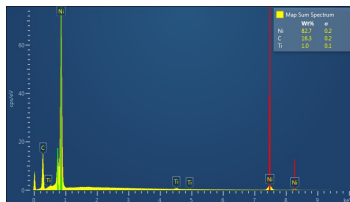
EDX analýza - mapa



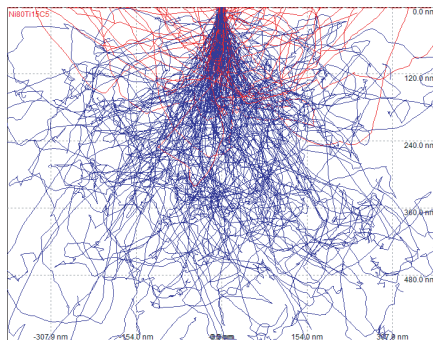
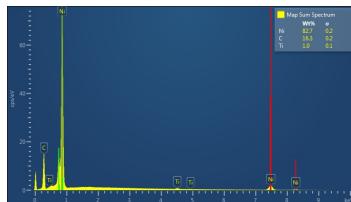
EDX analýza - mapa



EDX analýza - spektrum

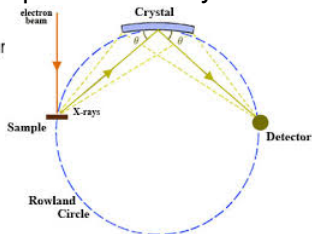
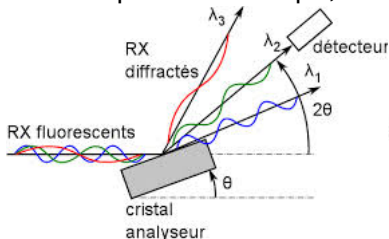


EDX analýza - spektrum

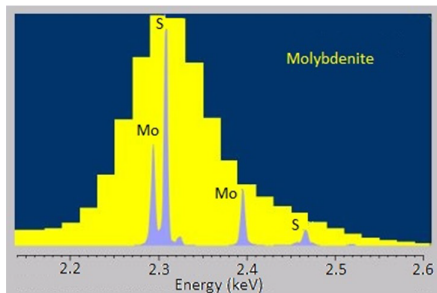


WDX analýzy

- Analyzuje velmi přesně prvkové složení na základě difrakce dopadajícího rtg záření.
- WDX (wavelength-dispersive analysis) s mezemi detekce 0,17—10,84 keV umožňující detekci prvků od bóru po plutonium
- Možnost udělat spektrum a mapu, ale speciální vzorky



WDX analýzy



Cvičení

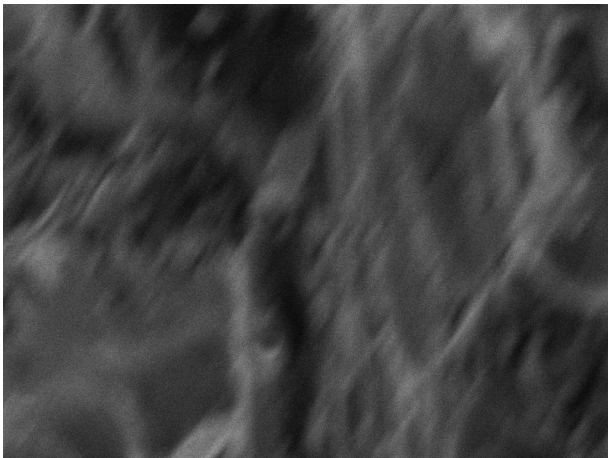
Promyslete si odpovědi na následující otázky. Použijte tuto prezentaci, návod k mikroskopu, doporučenou literaturu,...

Doporučená literatura (pouze výběr z WWW)

- Elektronová mikroskopie
- Elektronová mikroskopie pro biologie
- Scintilační detektory
- Elektronová mikroskopie a RTG spektroskopie
- Elektronová mikroskopie a mikroanalýza

Jak získat ostrý a čistý obraz?

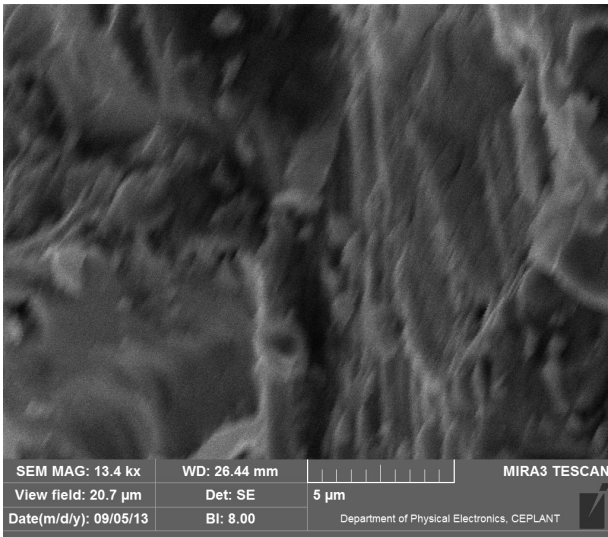
Rozpoznejte, zda byly při snímkování následujících snímků učiněny nějaké chyby. Jak tyto vady obrazu odstranit?



SEM MAG: 13.2 kx	WD: 26.87 mm		MIRA3 TESCAN
View field: 21.0 μm	Det: SE	5 μm	
Date(m/d/y): 09/05/13	BI: 8.00	Department of Physical Electronics, CEPLANT	

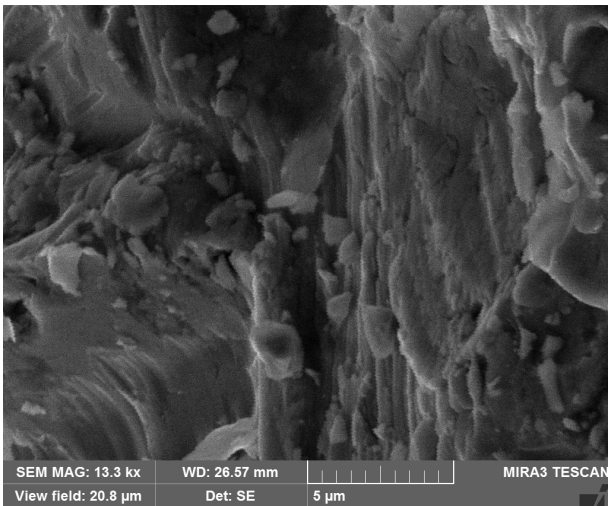
Jak získat ostrý a čistý obraz?

Rozpoznejte, zda byly při snímkování následujících snímků učiněny nějaké chyby. Jak tyto vady obrazu odstranit?



Jak získat ostrý a čistý obraz?

Rozpoznejte, zda byly při snímkování následujících snímků učiněny nějaké chyby. Jak tyto vady obrazu odstranit?

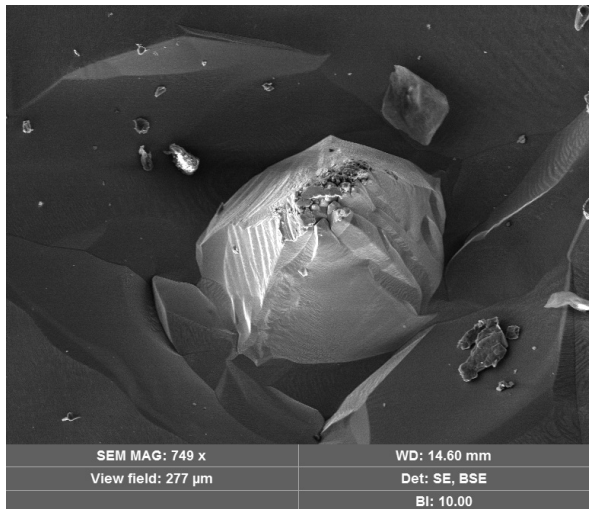


Nabíjení vzorku

Pokud jsou na vzorku příliš jasně svítící body, které při snímkování tvoří „šmouhy“, pravděpodobně se tyto příliš nabíjejí. Jakým způsobem lze přílišné nabíjení vzorku odstranit? Promyslete si odpověď na základě znalosti principu skenovací mikroskopie a další informace si vyhledejte.

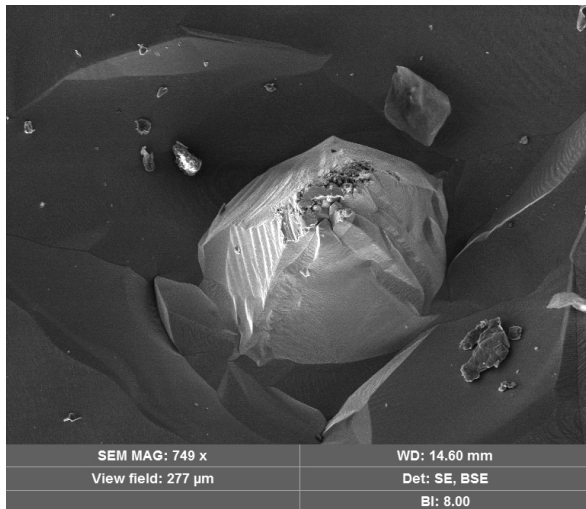
Nabíjení vzorku - první způsob korekce

Jak bylo sníženo nabíjení vzorku v tomto případě? Pozorujte důsledky provedené změny v SE a BSE módu.



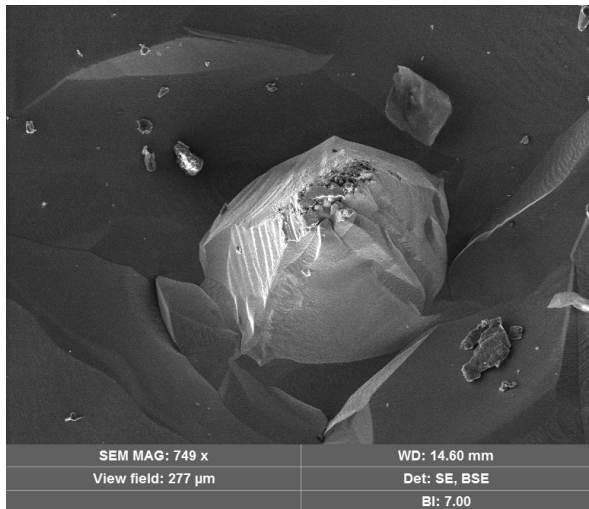
Nabíjení vzorku - první způsob korekce

Jak bylo sníženo nabíjení vzorku v tomto případě? Pozorujte důsledky provedené změny v SE a BSE módu.



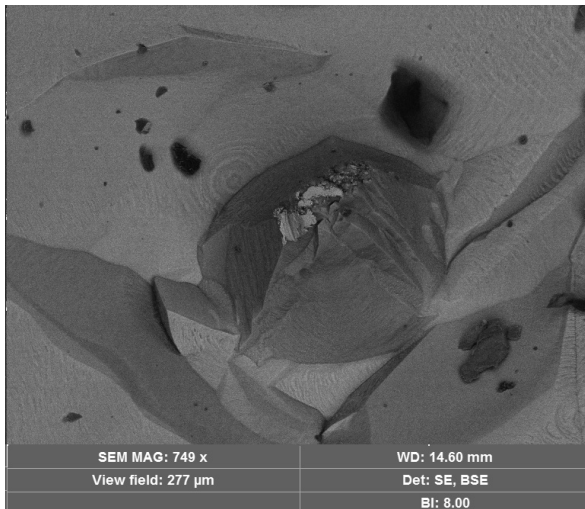
Nabíjení vzorku - první způsob korekce

Jak bylo sníženo nabíjení vzorku v tomto případě? Pozorujte důsledky provedené změny v SE a BSE módu.



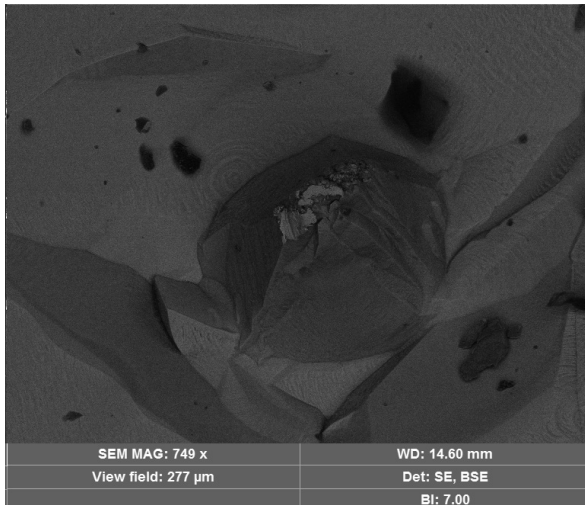
Nabíjení vzorku - první způsob korekce

Jak bylo sníženo nabíjení vzorku v tomto případě? Pozorujte důsledky provedené změny v SE a BSE módu.



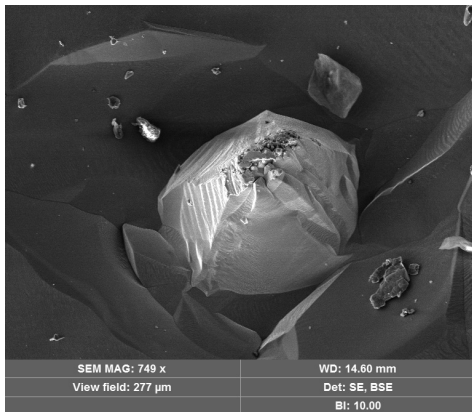
Nabíjení vzorku - první způsob korekce

Jak bylo sníženo nabíjení vzorku v tomto případě? Pozorujte důsledky provedné změny v SE a BSE módu.



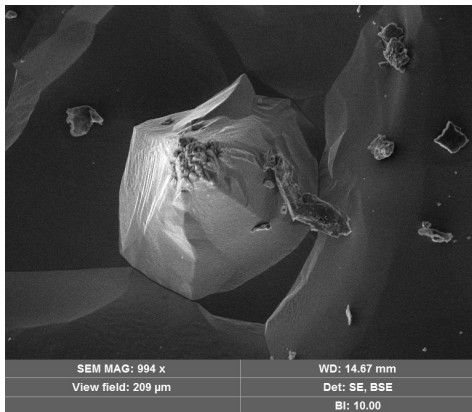
Nabíjení vzorku - první způsob korekce

Jak bylo sníženo nabíjení vzorku v tomto případě? (Uvědomte si, že si můžete volit skenovací rychlost snímkování. Náповědu hledejte v návodu k mikroskopu, heslo „akvizice“.)



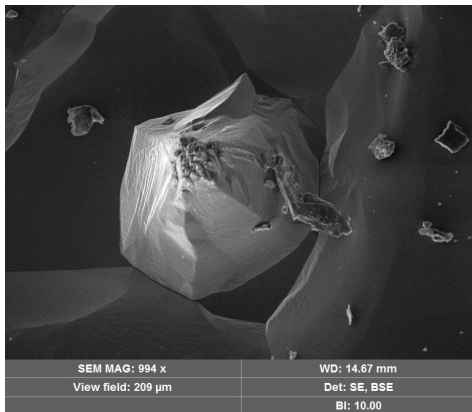
Nabíjení vzorku - první způsob korekce

Jak bylo sníženo nabíjení vzorku v tomto případě? (Uvědomte si, že si můžete volit skenovací rychlost snímkování. Náповědu hledejte v návodu k mikroskopu, heslo „akvizice“.)



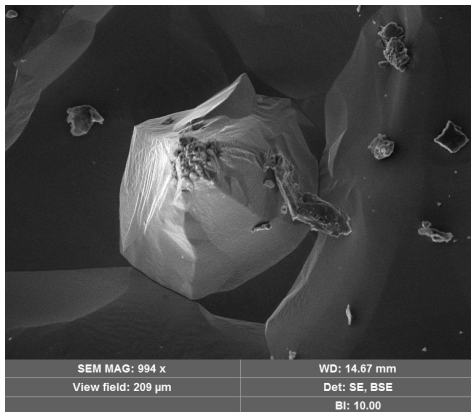
Nabíjení vzorku - první způsob korekce

Jak bylo sníženo nabíjení vzorku v tomto případě? (Uvědomte si, že si můžete volit skenovací rychlost snímkování. Náповědu hledejte v návodu k mikroskopu, heslo „akvizice“.)



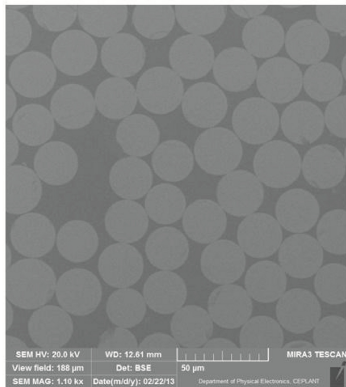
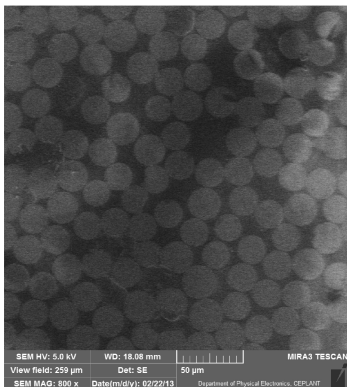
Nabíjení vzorku - první způsob korekce

Jak bylo sníženo nabíjení vzorku v tomto případě? (Uvědomte si, že si můžete volit skenovací rychlost snímkování. Náповědu hledejte v návodu k mikroskopu, heslo „akvizice“.)



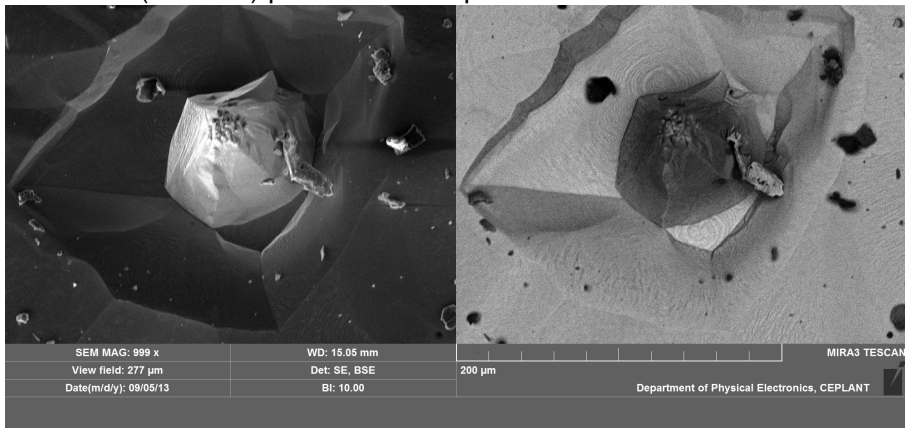
Snížení nabíjení vzorku pomocí Low vacuum mode

Vzorek se nachází v nízkém vakuu, 5-150 Pa (normální vakuum v komoře je 10^{-2} Pa). Jaký je fyzikální princip odstranění nabíjení? POZOR! V nízkém vakuu funguje pouze BSE detektor v pracovní vzdálenosti 8-10mm. Jaké to klade omezení na získané snímky?



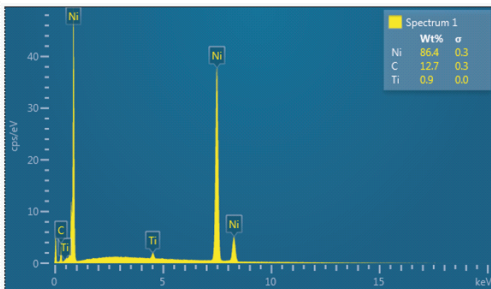
SE kontra BSE

Interpretujte rozdíly mezi signály z SE a BSE detektoru (včetně hloubky, kterou detektor mapuje - použijte simulátor Casino). Jde o niklovou (83% Wt) pouhliíkovanou peletku.



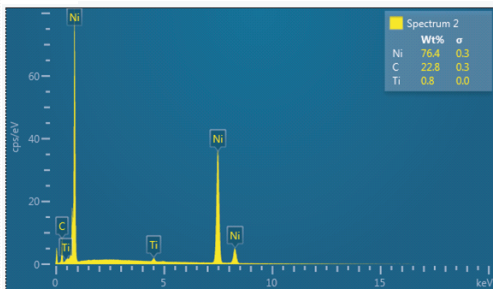
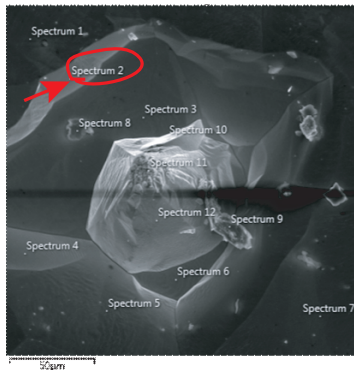
EDX analýza - spektra

Interpretujte rozdíly mezi spektry z různých míst téhož snímku.



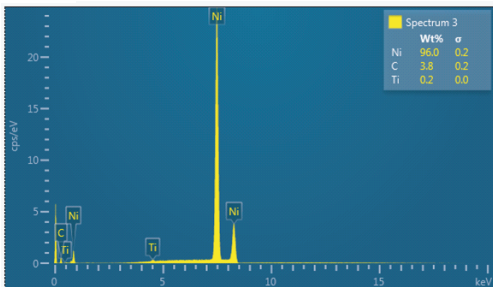
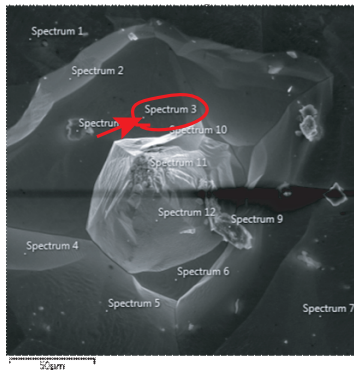
EDX analýza - spektra

Interpretujte rozdíly mezi spektry z různých míst téhož snímku.



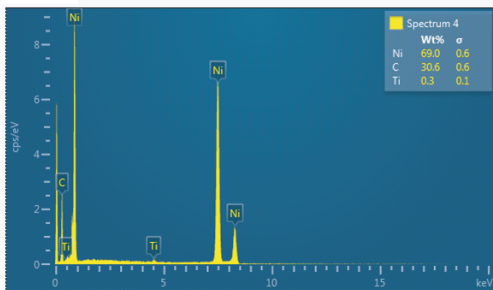
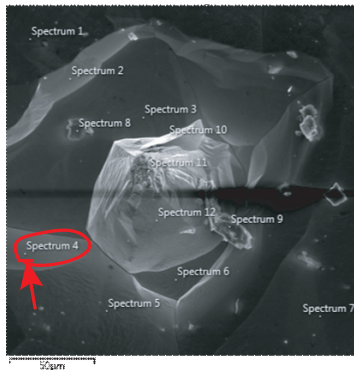
EDX analýza - spektra

Interpretujte rozdíly mezi spektry z různých míst téhož snímku.



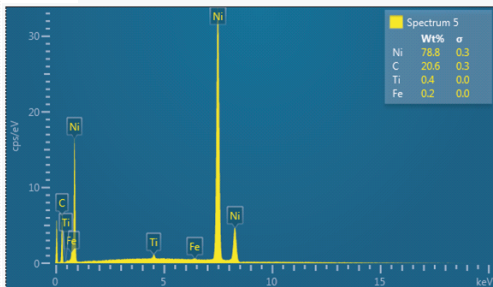
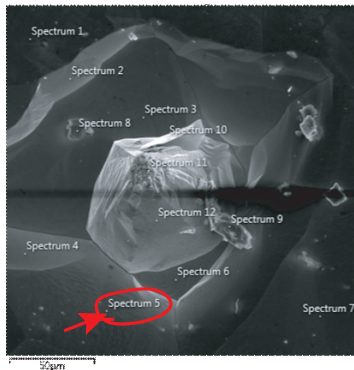
EDX analýza - spektra

Interpretujte rozdíly mezi spektry z různých míst téhož snímku.



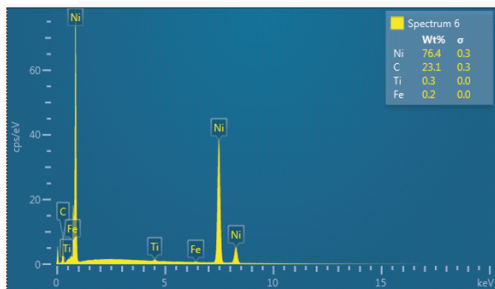
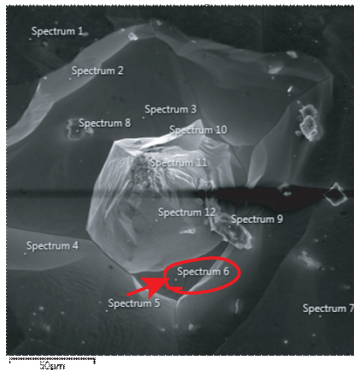
EDX analýza - spektra

Interpretujte rozdíly mezi spektry z různých míst téhož snímku.



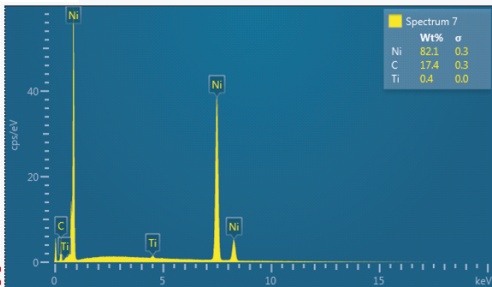
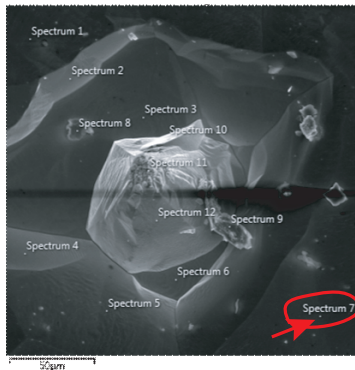
EDX analýza - spektra

Interpretujte rozdíly mezi spektry z různých míst téhož snímku.



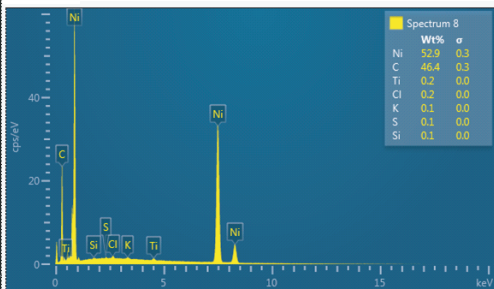
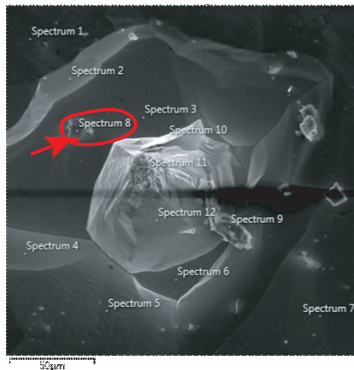
EDX analýza - spektra

Interpretujte rozdíly mezi spektry z různých míst téhož snímku.



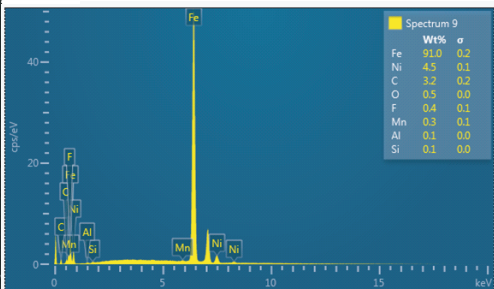
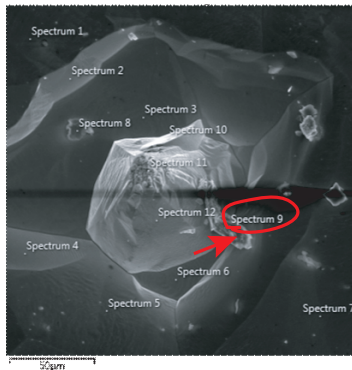
EDX analýza - spektra

Interpretujte rozdíly mezi spektry z různých míst téhož snímku.



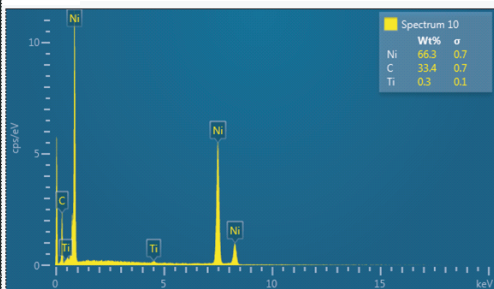
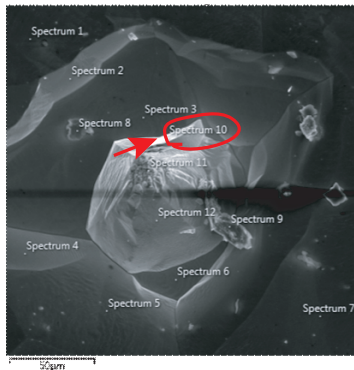
EDX analýza - spektra

Interpretujte rozdíly mezi spektry z různých míst téhož snímku.



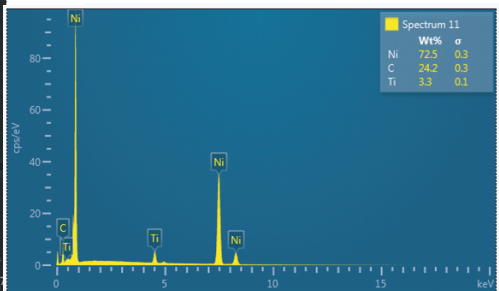
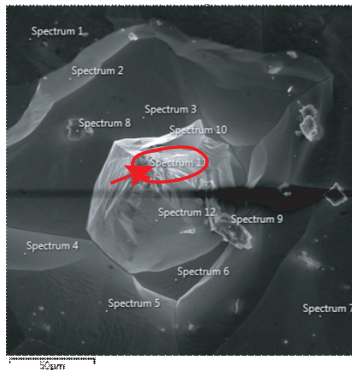
EDX analýza - spektra

Interpretujte rozdíly mezi spektry z různých míst téhož snímku.



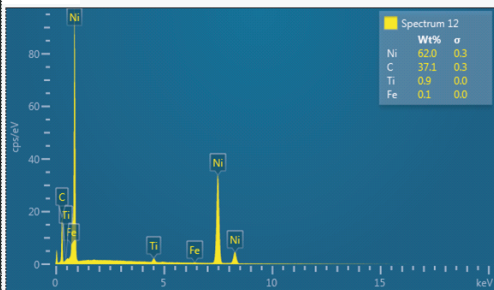
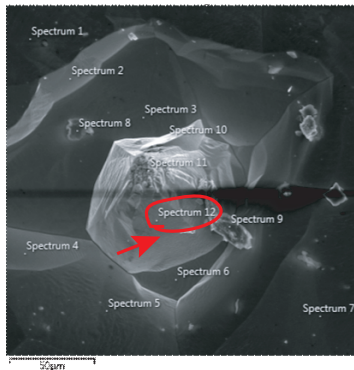
EDX analýza - spektra

Interpretujte rozdíly mezi spektry z různých míst téhož snímku.



EDX analýza - spektra

Interpretujte rozdíly mezi spektry z různých míst téhož snímku.

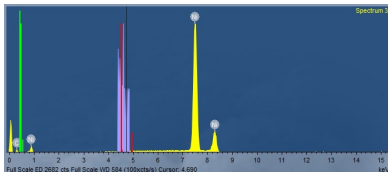


WDX analýza - upřesnění EDX analýzy.

Upřesnění: Je v předchozích snímcích ve spektru 3 opravdu obsažen titan?

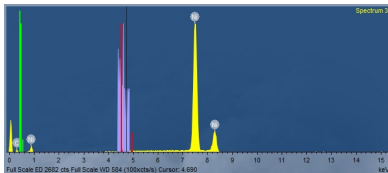
WDX analýza - upřesnění EDX analýzy.

Upřesnění: Je v předchozích snímcích ve spektru 3 opravdu obsažen titan?



WDX analýza - upřesnění EDX analýzy.

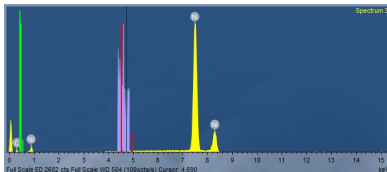
Upřesnění: Je v předchozích snímcích ve spektru 3 opravdu obsažen titan?



NE!

WDX analýza - upřesnění EDX analýzy.

Upřesnění: Je v předchozích snímcích ve spektru 3 opravdu obsažen titan?

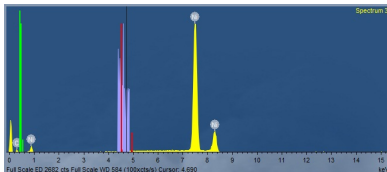


NE!

Upřesnění: Je v předchozích snímcích ve spektru 9 opravdu většina železa?

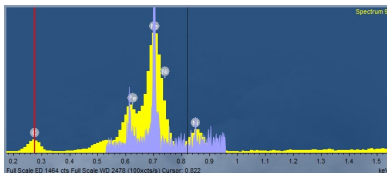
WDX analýza - upřesnění EDX analýzy.

Upřesnění: Je v předchozích snímcích ve spektru 3 opravdu obsažen titan?



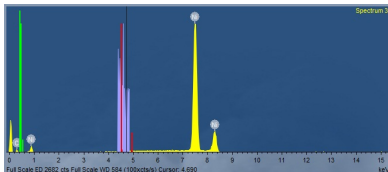
NE!

Upřesnění: Je v předchozích snímcích ve spektru 9 opravdu většina železa?



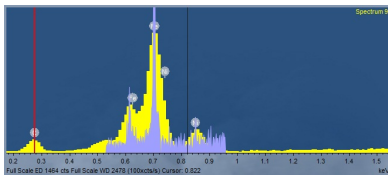
WDX analýza - upřesnění EDX analýzy.

Upřesnění: Je v předchozích snímcích ve spektru 3 opravdu obsažen titan?



NE!

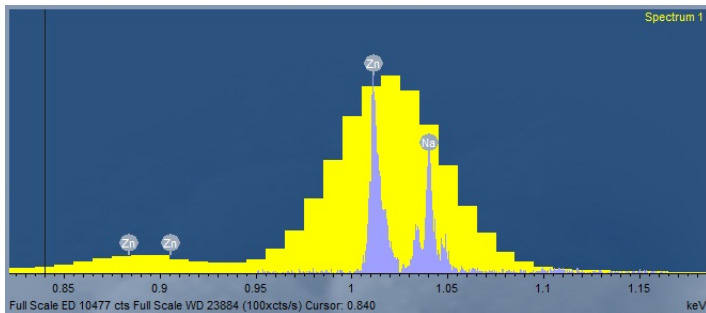
Upřesnění: Je v předchozích snímcích ve spektru 9 opravdu většina železa?



ANO!

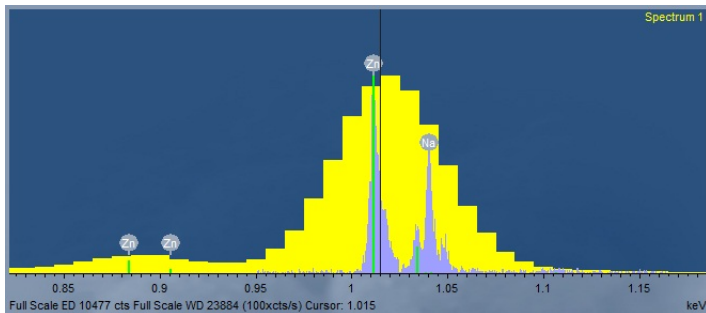
WDX analýza - Jemnější rozlišení

Rozlišení blízkých energiových spekter (EDX nerozliší - žlutý signál).



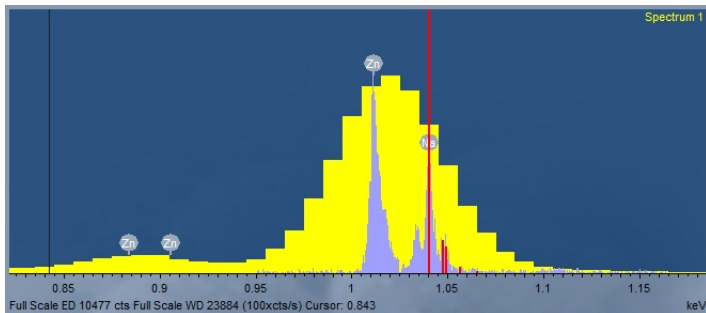
WDX analýza - Jemnější rozlišení

Rozlišení blízkých energiových spekter (EDX nerozliší - žlutý signál).



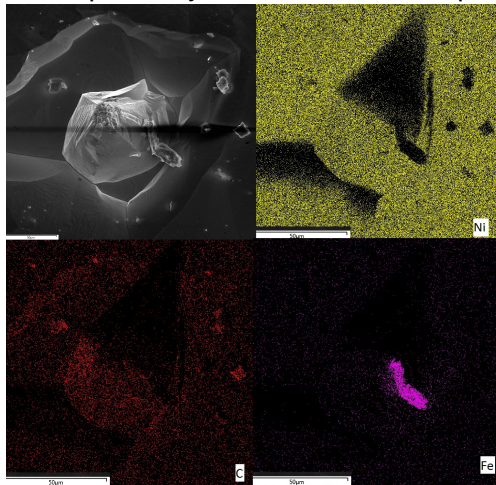
WDX analýza - Jemnější rozlišení

Rozlišení blízkých energiových spekter (EDX nerozliší - žlutý signál).



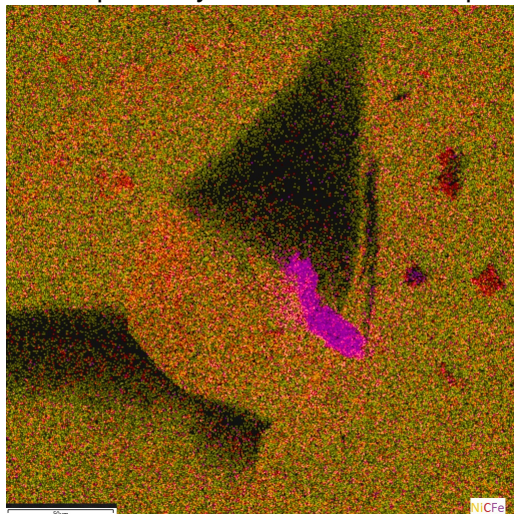
EDX analýza - mapy

Interpretujte prvkové mapy téhož snímku. Jaké je rozlišení takového mapy při parametrech potřebných k určení daného prvku?



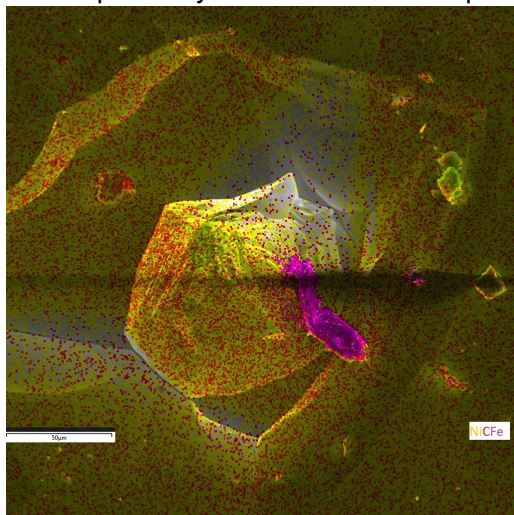
EDX analýza - mapy

Interpretujte prvkové mapy téhož snímku. Jaké je rozlišení takového mapy při parametrech potřebných k určení daného prvku?



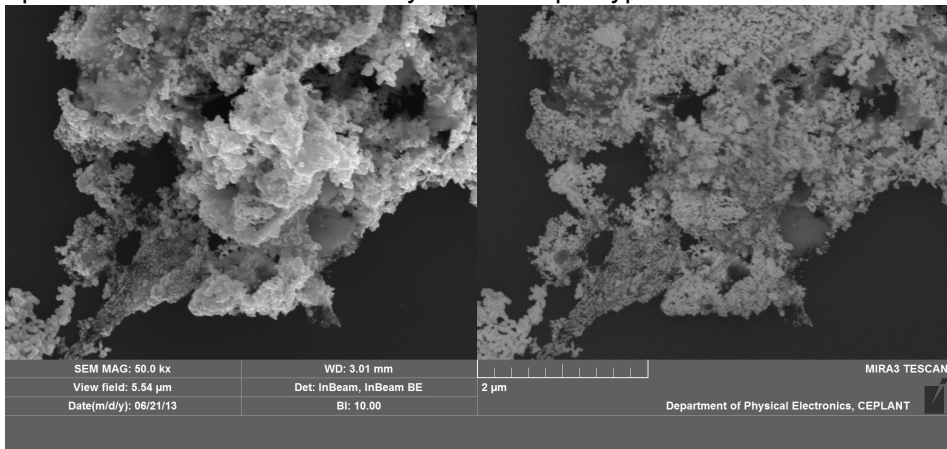
EDX analýza - mapy

Interpretujte prvkové mapy téhož snímku. Jaké je rozlišení takového mapy při parametrech potřebných k určení daného prvku?



EDX analýza - mapy???

Struktura na obrázku je AuAs. Jaké jsou parametry pro tvorbu mapy pro tuto strukturu? Jak bude výsledná mapa vypadat?



Děkuji za pozornost

