

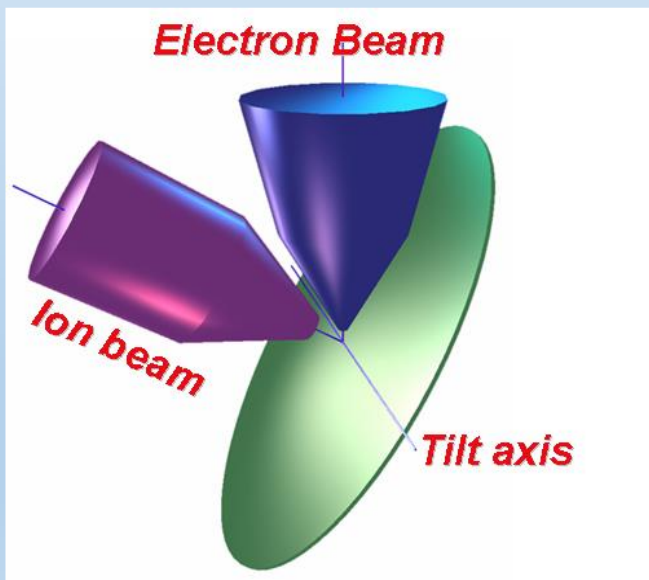


- **Edge effect**-přesvětlení hran na straně přivrácené k SE detektoru
- **Kontrast**
 - Materiálový kontrast
 - Topografický kontrast
 - Kanálový kontrast
- **EBSD**: sklon vzorku 70°
 - v každém bodě skenování je vyhodnocen obrazec Kikuchiho linií
 - Kikuchiho linie jsou analyzovány pomocí Houghovy transformace-určení kryst. rovin
 - EBSD mapy-strukturní informace, orientace zrn pomocí Eulerových úhlů
- **EDX, WDX**
 - vznik charakteristického RTG záření
 - EDX detektor-princip (obráceně polarizovaná PIN dioda, Si(Li), chlazení)
 - WDX detektor-princip (monokrystalový detektor, Braggova podmínka)
 - srovnání EDX/WDX
 - metody vyhodnocení: ZAF, Φ , ALCHEMI

Focused ion beam (FIB)



- Fokusovaný iontový svazek (FIB) je speciální technika SEM, která využívá místo urychlených elektronů nabité částice kovů (kationy Ga, Au, Ir). Ga je umístěno v kontaktu s W jehlou-po zahřátí se v elektrickém poli formuje Ga do tvaru špičky (tzv. Taylor kužel) ($d=2\text{nm}$). Napětí na hrotu ($10^8 \text{ V}\cdot\text{cm}^{-1}$) způsobuje ionizaci a emisní pole atomů galia. Zdrojové ionty jsou urychleny urychlovacím napětím 1-50 keV a zaostřeny elektrostatickými čočkami. Šířka fokusovaného svazku dosahuje jednotek nm.



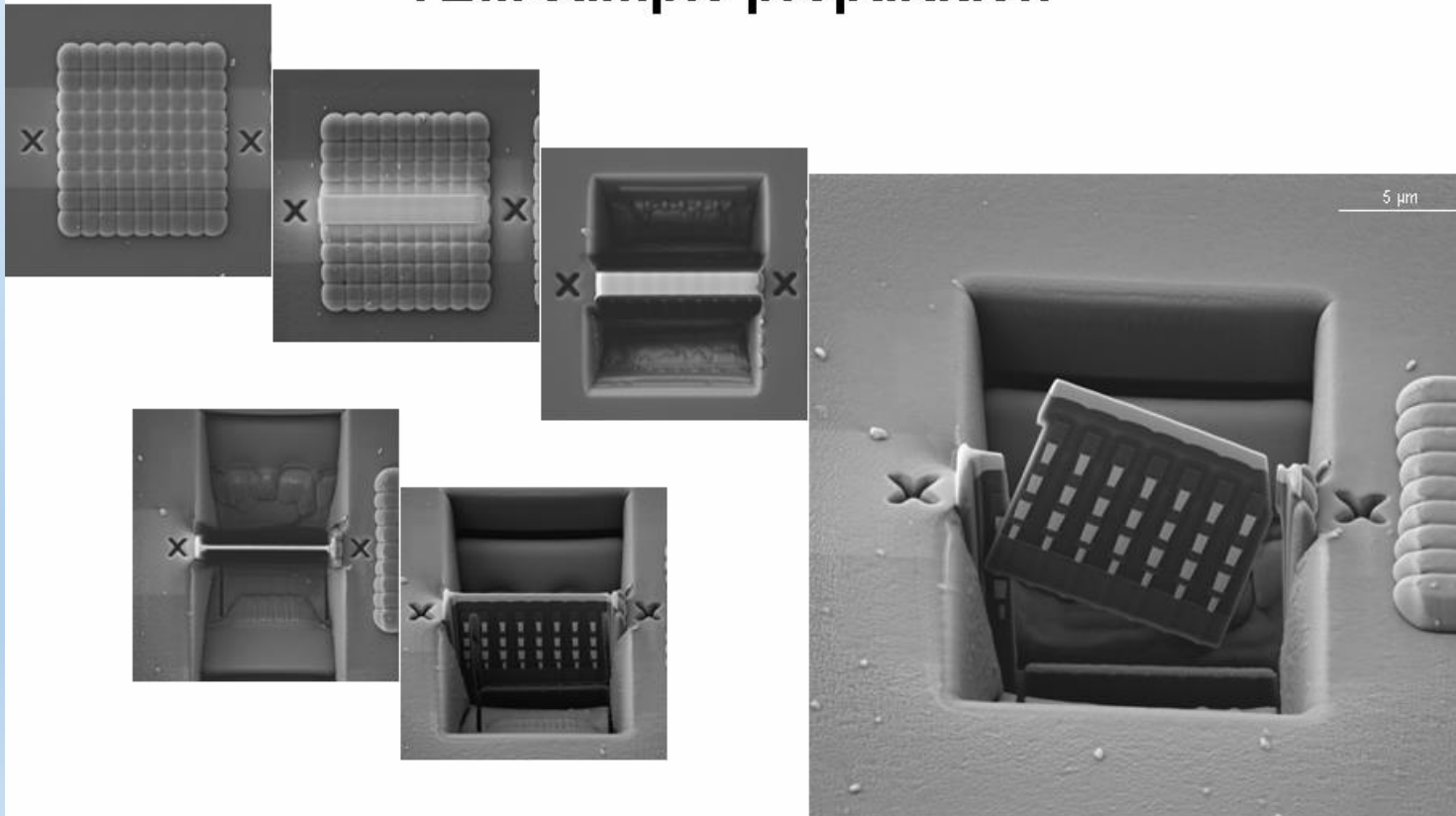
Focused ion beam (FIB)



	Iont Ga	Elektron
Průměr částice	0,27 nm	0,000005 nm
Hmotnost částice	$1,2 \times 10^{-25}$ kg	$9,1 \times 10^{-31}$ kg
Rychlost částic při urychlovacím napětí 30 kV	280 km/s	100 000 km/s
Rychlost částic při urychlovacím napětí 2 kV	73 km/s	26 000 km/s
	Svazek Ga iontů ve FIB	Svazek elektronů v SEM
Průměr svazku	10^0 - 10^2 nm	10^{-1} - 10^1 nm
Obvyklé urychlovací napětí	5-30 kV	1-30 kV
Proud ve svazku	10^0 - 10^5 pA	10^0 - 10^5 pA
Hloubka vniku částice do železa při urychlovacím napětí 30 kV	střední ~11 nm maximální ~30 nm	střední ~1100 nm maximální ~3500 nm

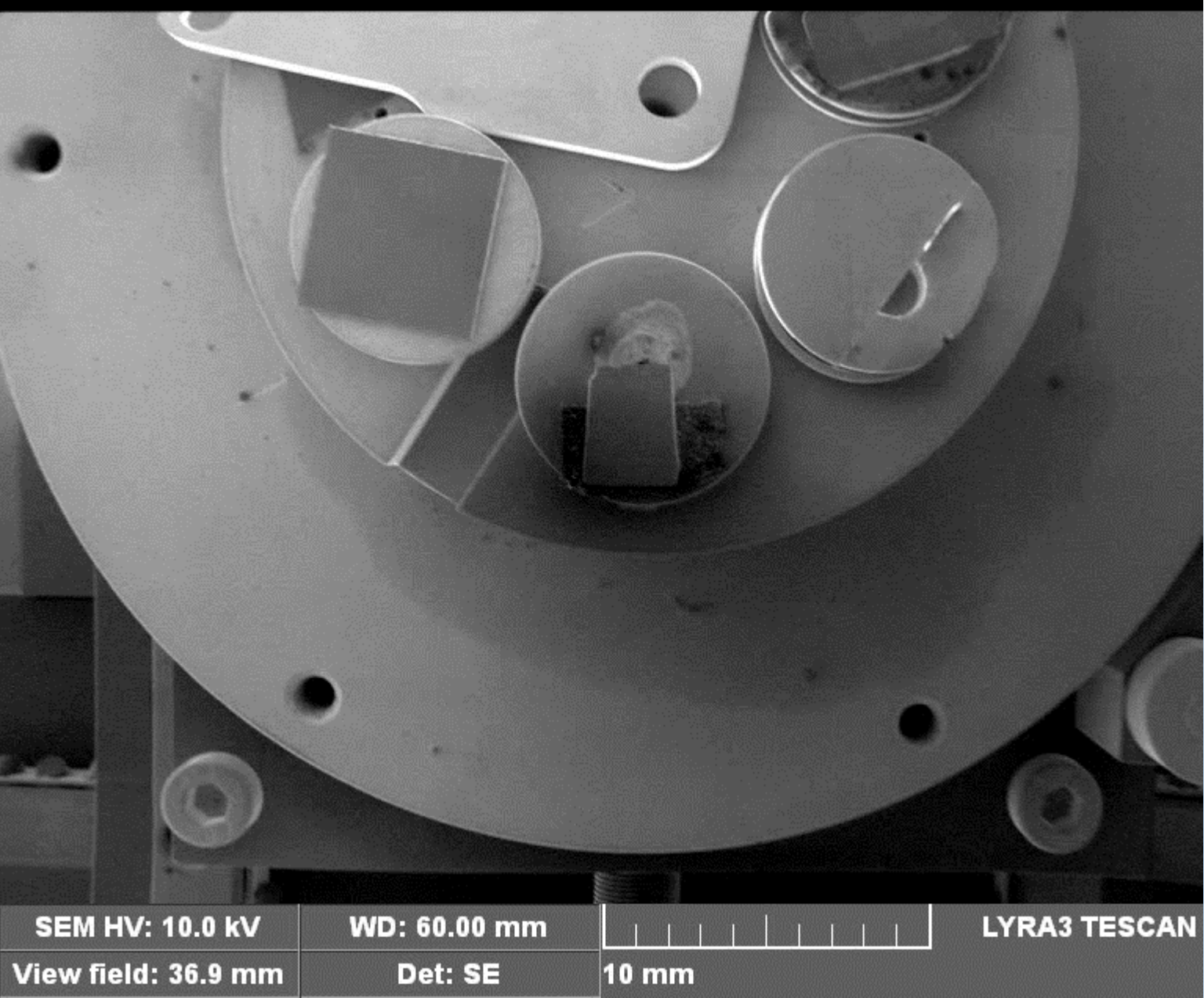
- **Příprava vzorků TEM:** pomocí metody FIB-SEM lze selektivně vybrat vhodné místo pro přípravu lamelky vzorků pro TEM o tloušťce cca 100 nm. Při výrobě je nutné dávat pozor na zpětnou depozici

TEM sample preparation

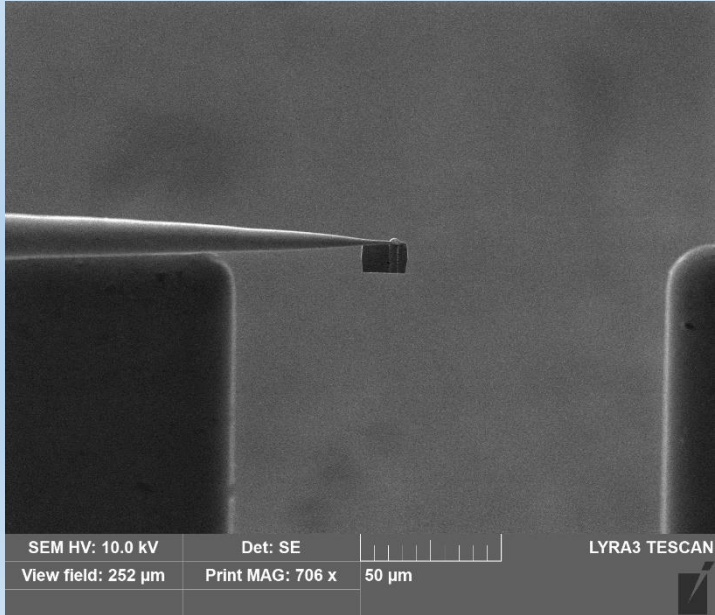
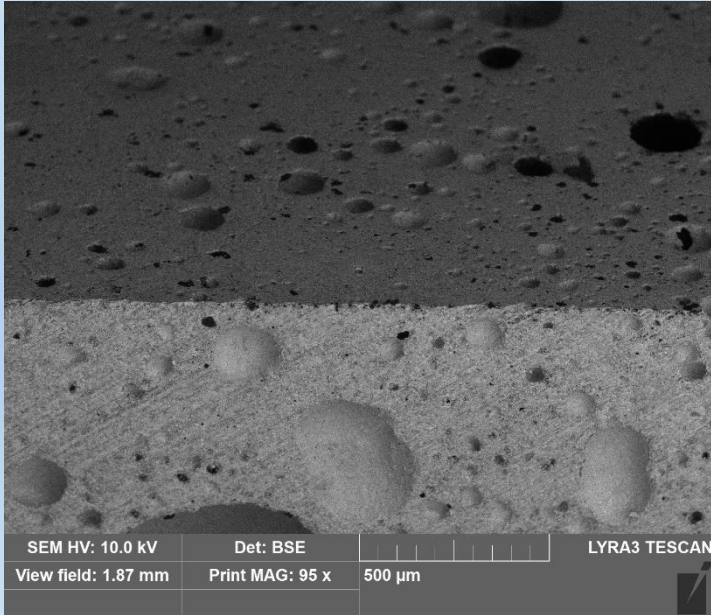
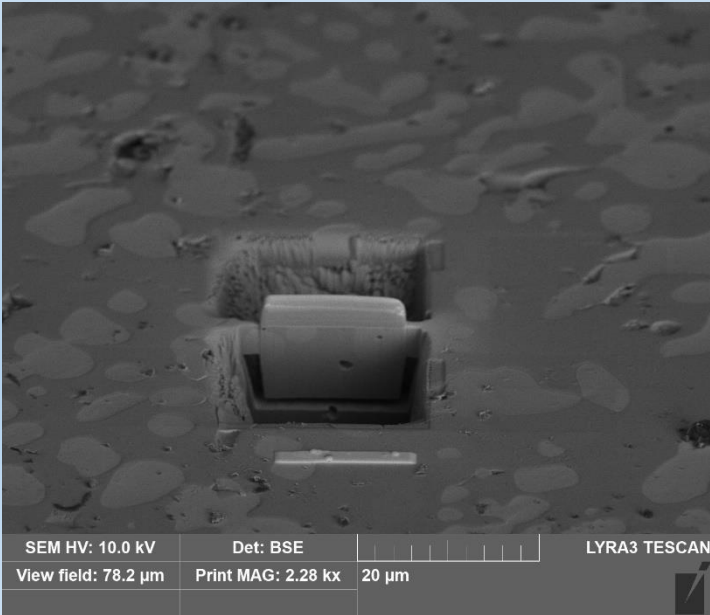
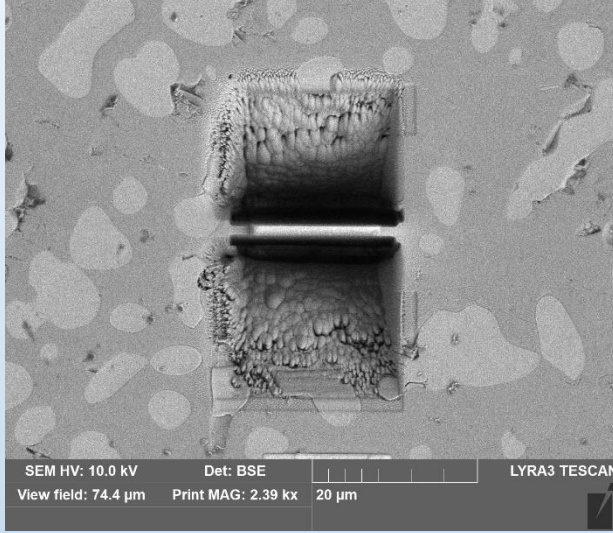
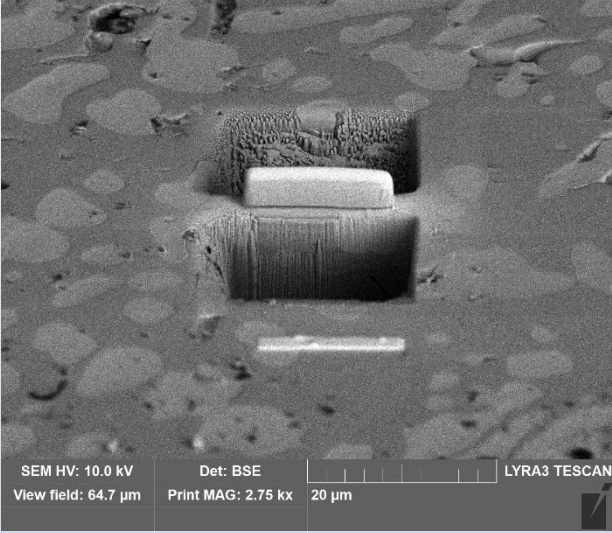
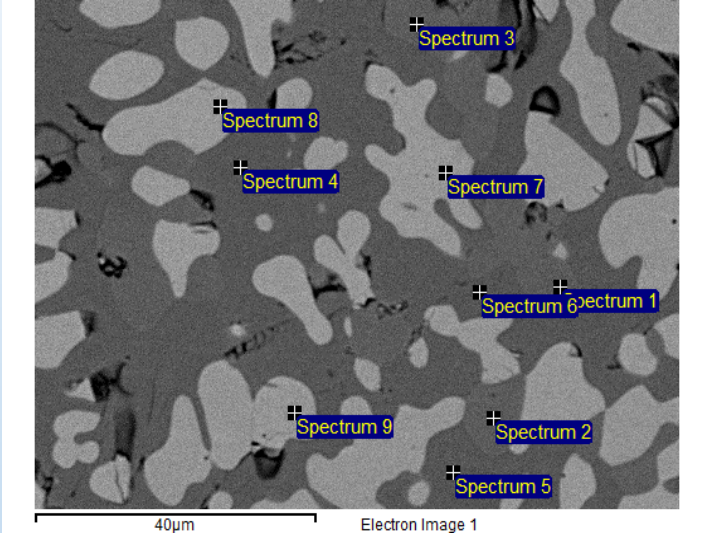


- Příprava v
přípravu la

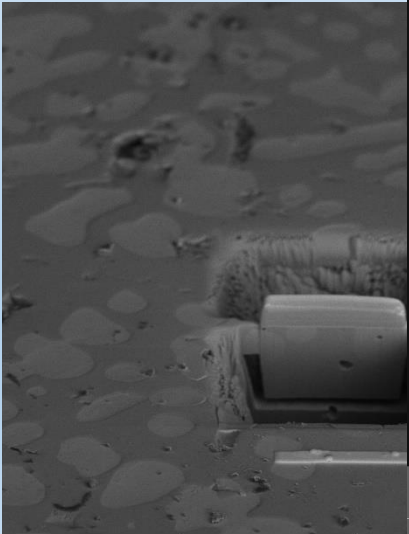
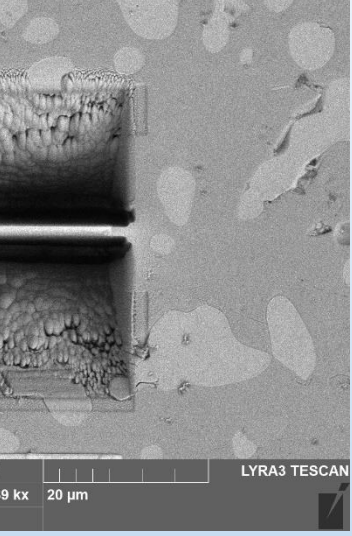
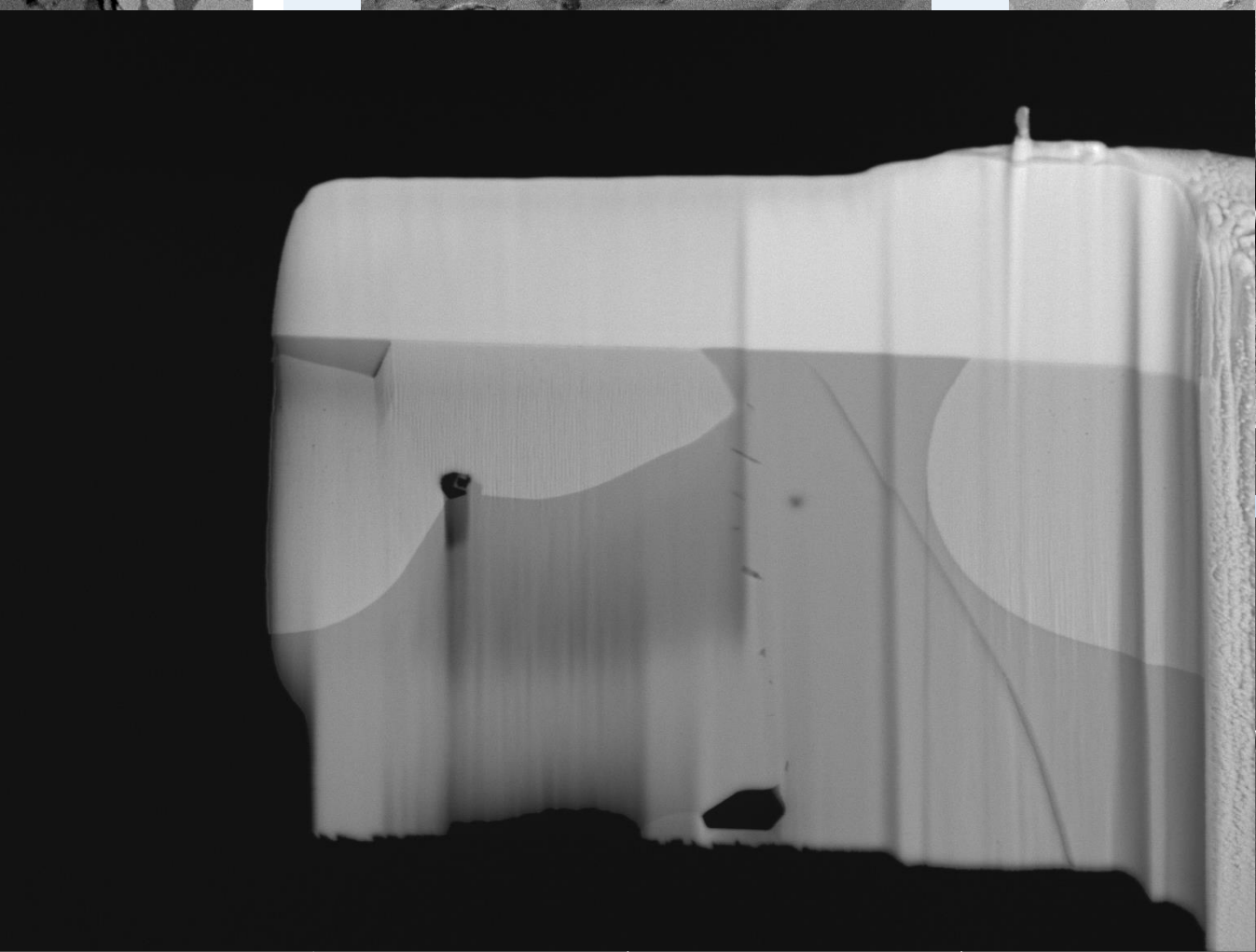
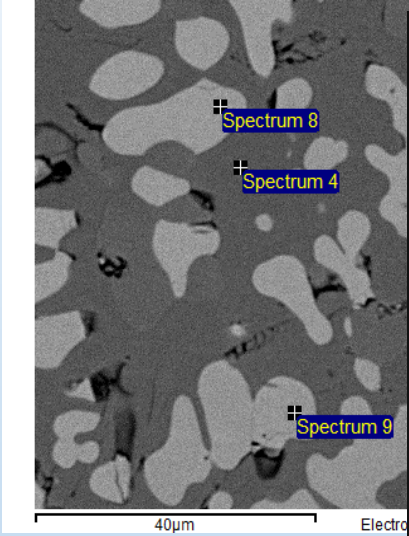
é místo pro



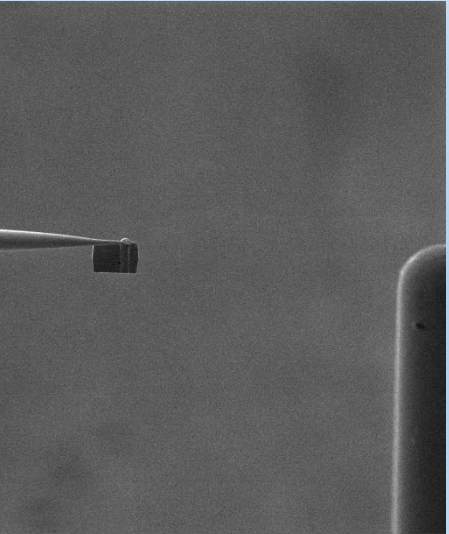
Focused ion beam (FIB)-lamelka NiSeSn



Focused ion beam (FIB)-lamelka NiSeSn



SEM HV: 10.0 kV	Det: BSE	LYRA3 TESCAN	
View field: 18.8 µm	Print MAG: 9.45 kx	5 µm	



SEM HV: 10.0 kV	Det: BSE	
View field: 78.2 µm	Print MAG: 2.28 kx	20 µm

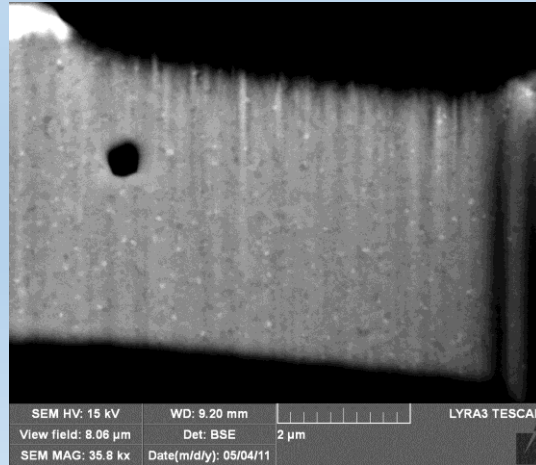
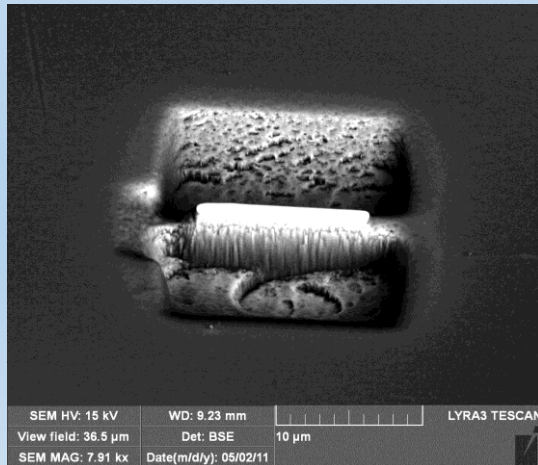
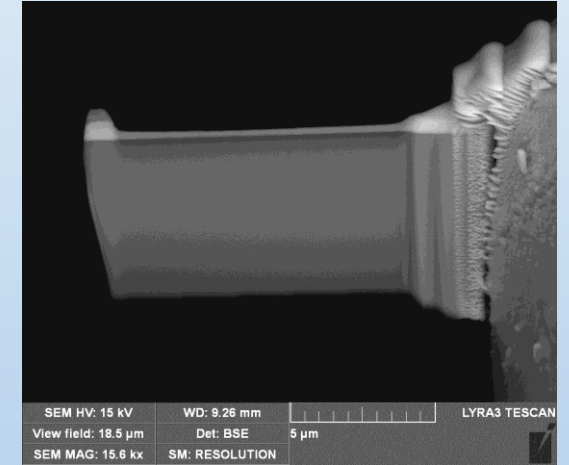
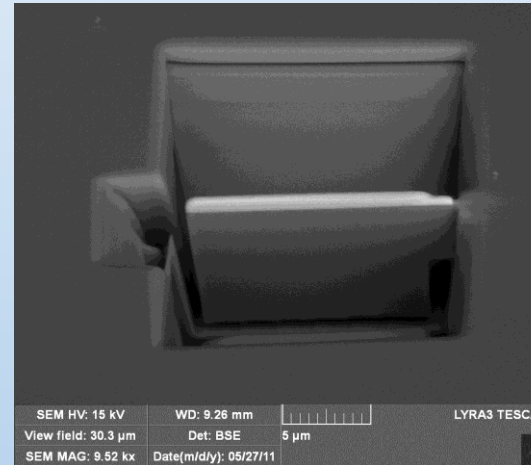
: SE		LYRA3 TESCAN
.G: 706 x	50 µm	

Focused ion beam (FIB)-lamelka



Materiál při přípravě lamelky reaguje selektivně:
Příklad pásků Fe–Si–Nb připravených metodou melt spinning
a následně žíhaných za různých podmínek

470 °C, vac.



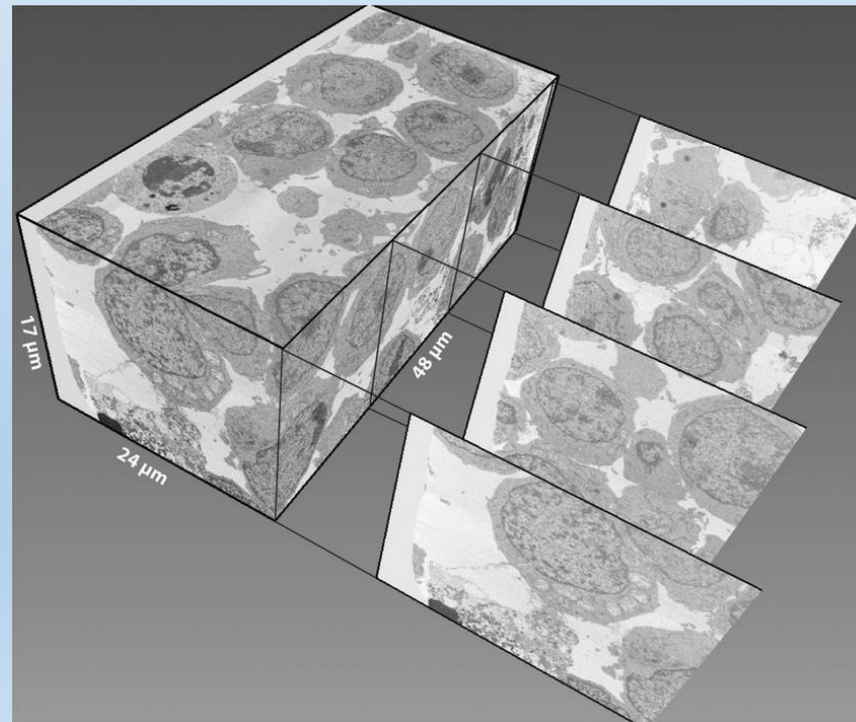
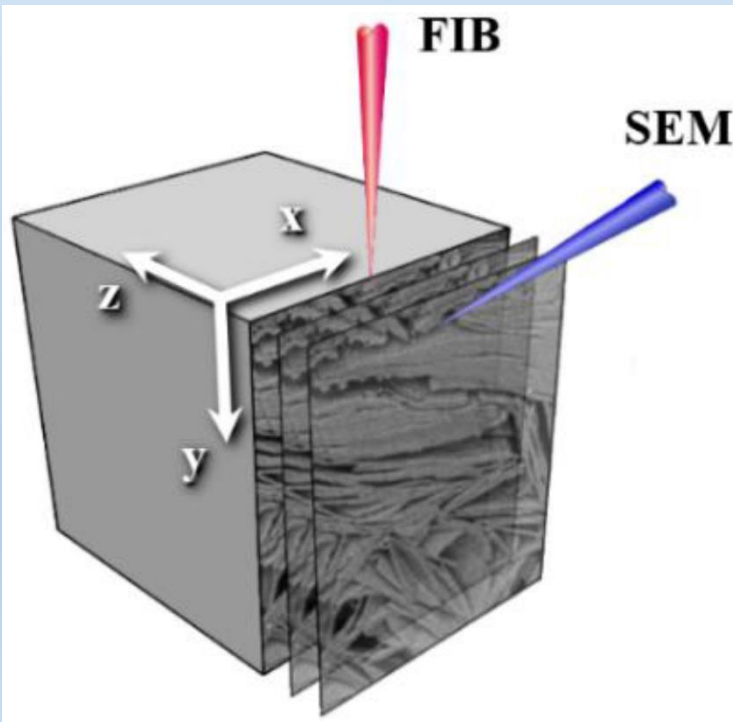
650 °C, vac.

Focused ion beam (FIB)-aplikace



- **FIB-SEM tomografie**-kombinuje metody SEM a FIB pro získání informace o vnitřní struktuře pevných 3D vzorků. Vrstva vzorku je postupně odprášena pomocí FIB, zatímco nově exponovaný povrch je sledován pomocí SEM. Shromážděná série obrázků řezů je následně digitálně rekonstruována do 3D objemu. Tato metoda je destruktivní.

<https://www.youtube.com/watch?v=zlqdan8f5QA>

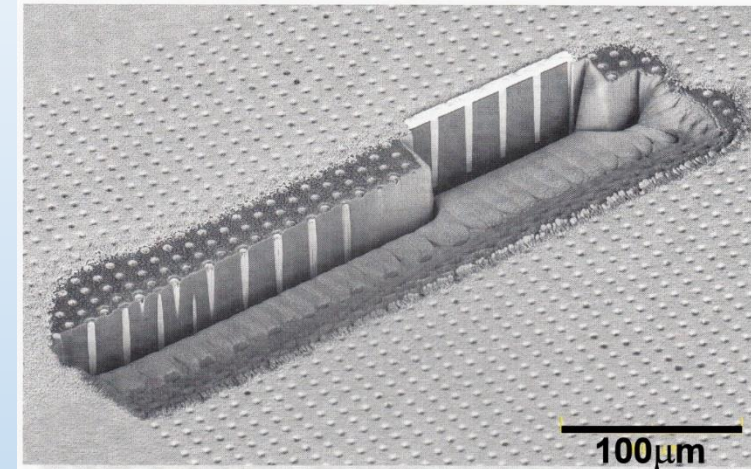


3D-Virological synapses
between infected and
uninfected T cells

FIB-plazmový zdroj iontů



- poměrně nová alternativa tradičnímu FIB
- zdrojem iontů pro fokusovaný iontový svazek je plazma xenonu vytvořená pomocí elektrického výboje
- **výhody:**
 - možnost dosažení vysokých proudů ($\sim \mu\text{A}$) ve svazku
 - spolu s vysokou hmotností Xe to vede k rychlejšímu odemílání materiálu
 - Další výhodou oproti Ga FIB je inertnost Xe iontů, které při interakci s pevnou látkou chemicky nereagují i když se mohou do povrchu implantovat
- **nevýhody:**
 - výrazně horší možnost fokusace oproti Ga (rozlišení Ga FIB ~ 5 nm, Xe FIB ~ 25 nm při 30 kV)
 - => nelze obrábět s takovou přesností jako Ga FIB
 - => horší rozlišení v režimu zobrazování
- vhodné především na hrubší obrábění a provádění velkých řezů ($> 100 \mu\text{m}$)



TSV cross section was milled 45 minutes, using Xe beam at 30 kV, 2 μA . Its dimensions are 400 microns long, 100 microns wide and 50 microns deep. Deep fine polishing of 4 vias took 30 minutes. Using ion beam would need approximately 40 hours for rough milling and another at least 10 hours fine polishing.

- **odběr**
charakteristické místo
bez ovlivnění materiálu
- **preparace**
zalisování za tepla – pozor na ovlivnění struktury teplem
zalití za studena
- **broušení**
od nejhrubšího papíru po nejjemnější
brousí se převážně pod vodou – chlazení a odvod třísek
minimální čas, minimální tlak
- **leštění**
diamantové suspenze s použitím smáčedla (nejčastěji etanol)
případně Al_2O_3 nebo SiO_2 suspenze; elektrolyticky
- **pozorování metalografického vzorku**
po leštění - inkluze, porozita, koroze, trhliny,....
po leptání - strukturní detaily





- **metalografická pila**

- určená k manuálnímu i automatickému přesnému dělení velmi malých i větších vzorků
- stůl pohyblivý v obou osách
- předdefinované programy - poloha stolu, počet řezů, úroveň citlivosti snímání rezného odporu apod
- krokový i diagonální řez - přičemž dělicí síla je závislá na rychlosti posuvu
- umožňuje také automatické pulzní dělení materiálu
- vzorky až do průměru 75 mm, nebo 125 x 75mm, či tyčovinu



Příprava vzorků SEM - preparace



- **automatický metalografický lis**

- vzorek se vloží na píst do lisovací komory
- po spuštění pístu do spodní polohu se vzorek zasype práškovou lisovací hmotou (vodivá nebo nevodivá - pryskyřice dopovaní mědí nebo grafitem)
- hmotu se vzorkem lisujeme při dané teplotě a tlaku - pozor na možné poškození vzorku (lisovací teplota je až 200 °C)

píst
piston



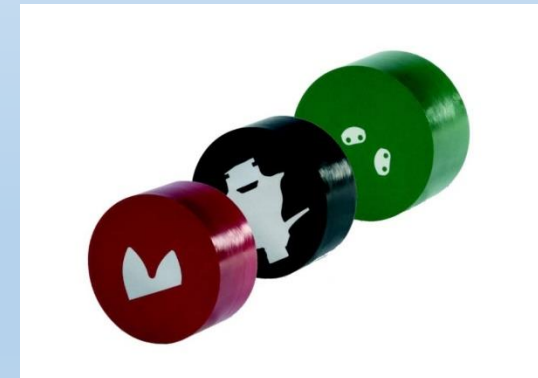
zamykání komory
chambre locking

ovládací panel
control panel

zapnout
switch on

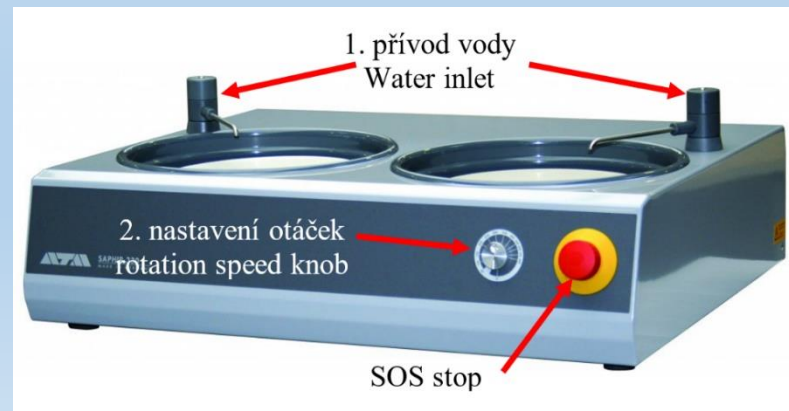
- **zalévání za studena**

- vzorek se vloží na dno zalévací formičky
- zalije se obvykle vícesložkovou zalévací směsí (pryskyřice)
- po ztuhnutí vyjmeme z formičky



- **metalografická bruska**

- manuální, semiautomatická, automatická
- malé vzorky je potřeba mít uchycené v pryskyřici nebo v čelistech
- brousí se za mokra (voda nebo Et-OH, isopropanol atd..)
- postupně na brusných papírech s klesající zrnitostí (označené číslem – počet zrn na cm^2 => čím větší, tím jemnější papír, do 1500-2000) s minimálním přitlakem
- brousí se pouze nezbytnou dobu – kdy už není možné rozeznat rýhy z předchozího broušení





metalografická bruska

- k leštění se nanáší leštící suspenze na nosné leštící plátno nebo leštící kotouč
- leští se též za mokra, ale plátno se jen kropí-nesmí být mokré
- diamantová pasta: velikost částic 1 μm
- suspenze OP-S (
 - dochází i k naleptání hranic zrn

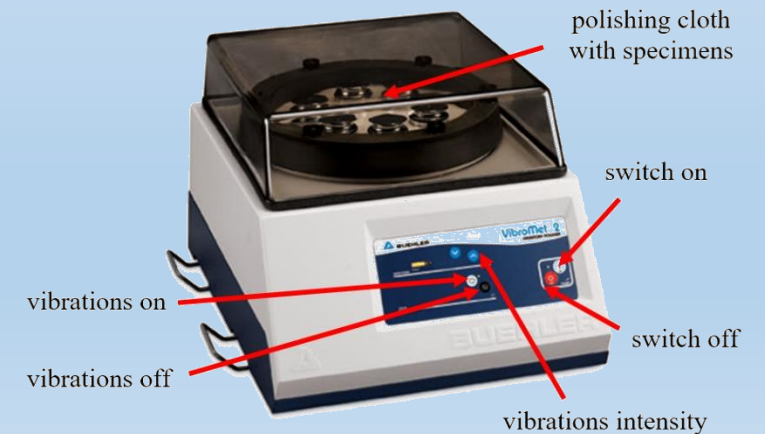
nastavení otáček
rotation speed knob



emergency stop

vibrační leštění

- k jemnému doleštění vzorků, které se nepovedlo vyleštit standardním postupem
- vzorky se položí na vibrační desku na které je ca. 3mm vrstva leštícího média
- pomocí jemných vibrací dochází k vyrovnání povrchu vzorku
- nevýhoda: je to pomalá metoda-leští se jednotky hodin



polishing cloth
with specimens

switch on

vibrations on

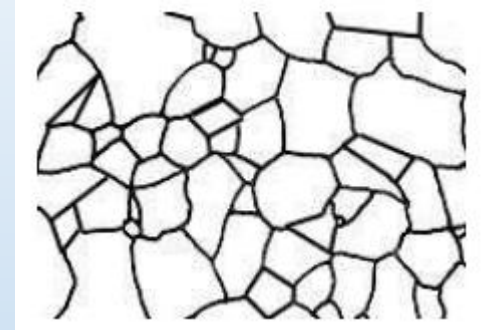
vibrations off

switch off

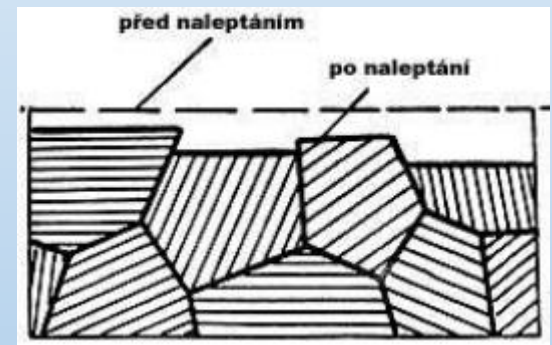
vibrations intensity

- základní metody
 1. **na hranice zrn:** leptání vzorku dochází primárně na hranicích zrn - tím se zvýrazní jednotlivá zrna
 2. **plošné leptání:** pro barevné rozlišení zrn různé orientace
 3. **selektivní leptání:** rozlišení zrn různých fází (rozdílná reaktivita)
- zpravidla ve směsi kyselin / zásad
- leptají se z pravidla čerstvě vyleštěné vzorky
- vhodná leptadla a způsob aplikace (ponoření, potírání, opakované leptání – doleptávání, použití více leptadel, teplota,...) jsou specifické pro různé materiály - lze dohledat v literatuře
- časy uvedené při leptání jsou pouze orientační – každý vzorek může (díky odlišnému lokálnímu chemickému složení, procesu výroby,...) reagovat odlišně
- někdy je možné / doporučené vícenásobné leptání – opakovaně v jednom leptadle, nebo v různých leptadlech

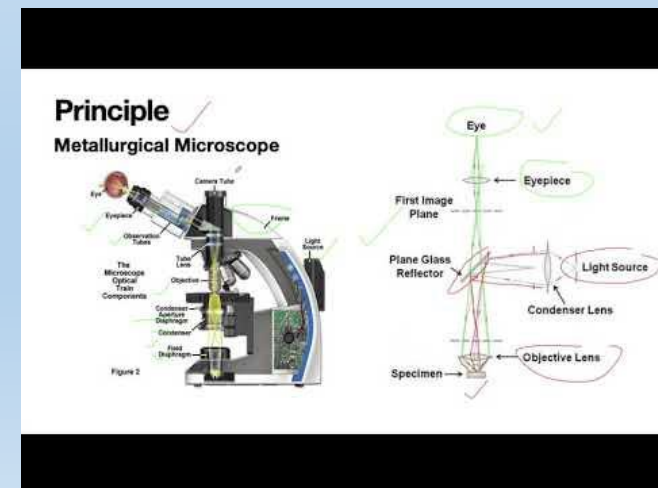
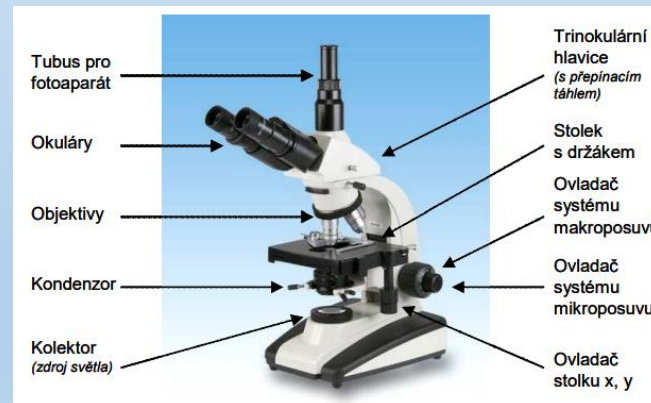
1)



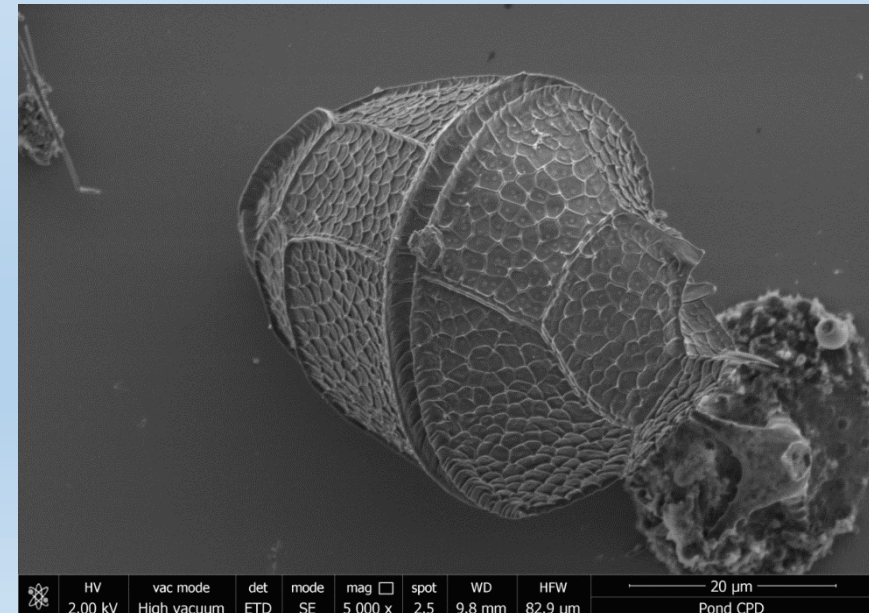
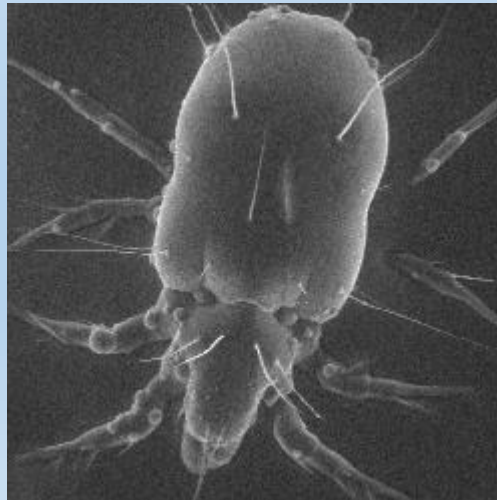
2)

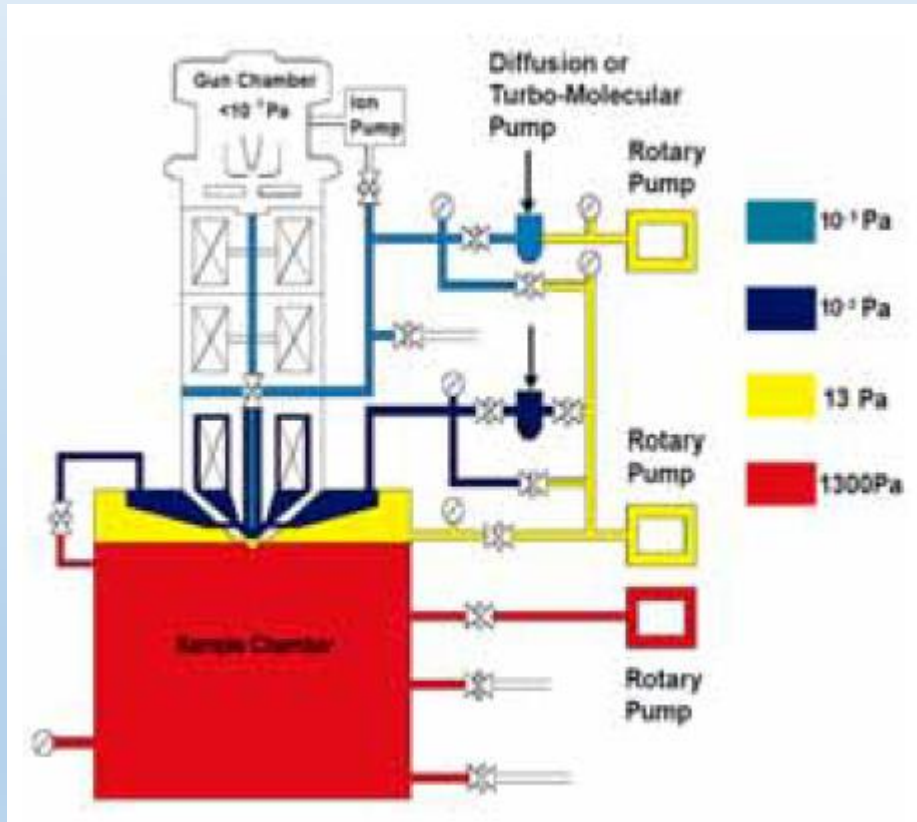


- výsledky jednotlivých kroků lze sledovat pomocí metalografického optického mikroskopu
- umožňuje pozorování v odraženém světle s aplikací polarizačního filtru
- obvykle vybaven možností připojit kameru/fotoaparát

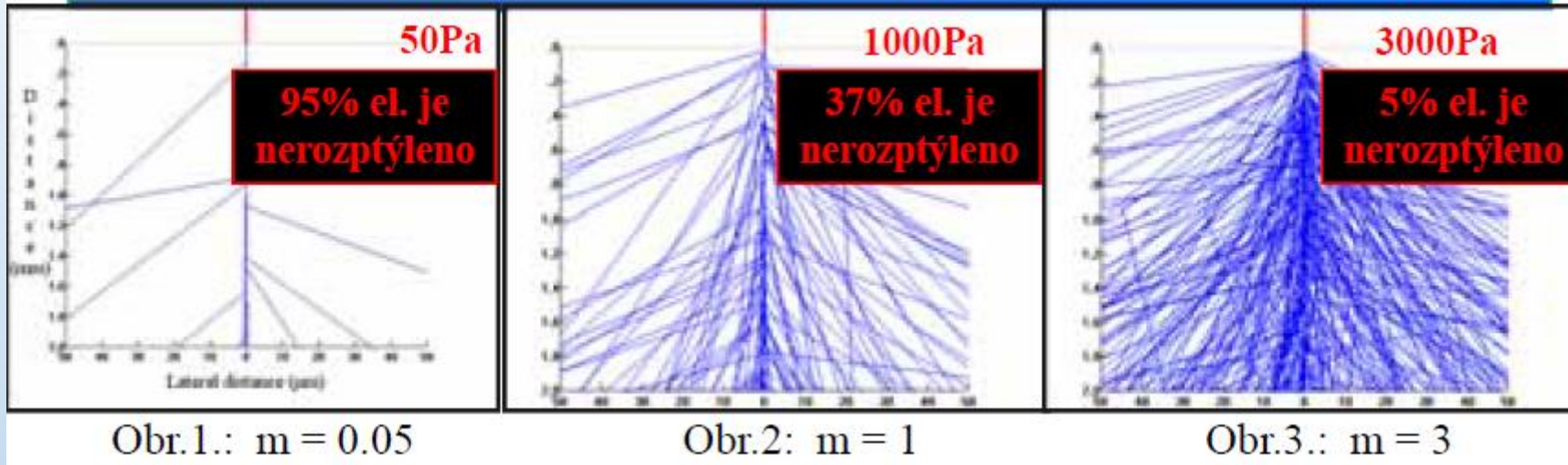


- Environmentální rastrovací elektronová mikroskopie umožňuje zkoumání vzorků živé či neživé přírody v podmínkách vysokého tlaku plynů – až 3000 Pa. V důsledku vysokého tlaku plynů v komoře vzorku EREM dochází ke zvýšenému počtu interakcí e. s molekulami a atomy plynů, což je provázáno s rozptylem primárního e. svazku, zvětšením průměru jeho stopy při dopadu na vzorek a nárůstem šumu v obraze. Rozptyl PE roste se zvyšujícím se tlakem plynu, pracovní vzdáleností a s klesajícím urychlovacím napětím svazku. To je ale kompenzováno tím, že vzorky mohou být pozorovány bez nutnosti jejich předchozí preparace, či výskytu nežádoucích nabíjecích artefaktů na jejich povrchu





- **High vacuum:** vhodný pro vysušené, elektricky vodivé vzorky
- **Low vacuum:** (asi do 330 Pa) vhodný pro elektricky nevodivé vzorky bez nutnosti zvodivění jejich povrchu
- **ESEM:** (asi do 2500 Pa) vhodný pro vysoce vlhké nevodivé vzorky bez nutnosti zvodivění jejich povrchu a dynamické in-situ experimenty jako je např. tání, tuhnutí, kondenzace aj. často za využití chlazeného či vyhřívaného držáku vzorku



Flight simulator (metoda Monte Carlo), 10000 elektronů prim. svazku v prostředí vodních par komory vzorku EREM pro různé hodnoty m ($E_p=20$ keV, $WD=2$ mm)

$$m = \frac{\sigma_T p d}{kT}$$

m – průměrný počet srážek na jeden elektron (-) [9]

σ_T – celkový účinný průřez molekul plynu (m^2)

p - tlak plynu (Pa)

d - délka dráhy elektronu v plynu (m)

k - Boltzmannova konstanta

T - teplota (K)

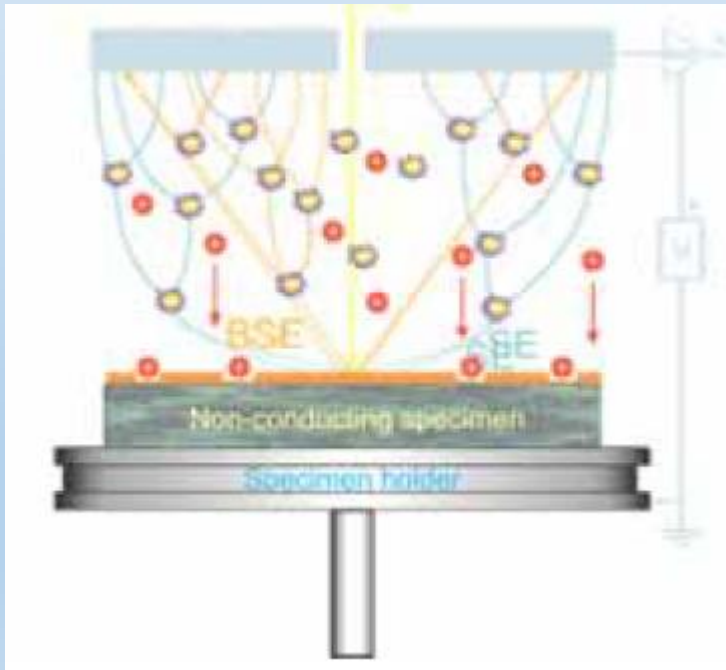


Rozptyl elektronů primárního svazku procházejícího prostředím vysokého tlaku plynů v EREM má za následek snížení poměru signál/šum v detekovaném signálu, což může vést až ke snížení rozlišovací schopnosti mikroskopu.

Tento problém může být řešen:

- zkrácením dráhy elektronů procházejícím prostředím vysokého tlaku plynů
- zvýšením urychlovacího napětí elektronů primárního svazku
- vhodnou volbou druhu plynu a minimalizace jeho tlaku
- snížením rychlosti rastrování

Environmental secondary detector ESD: zjednodušeně lze připodobnit k deskovému kondenzátoru se vzduchovým dielektrikem, mezi jehož deskami je elektrostatické pole



Je-li kinetická energie elektronů dostatečná k ionizaci molekul plynu, dochází k lavinovému násobení signálních elektronů, jež jsou přitahovány k honí elektrodě detektoru

Výhody:

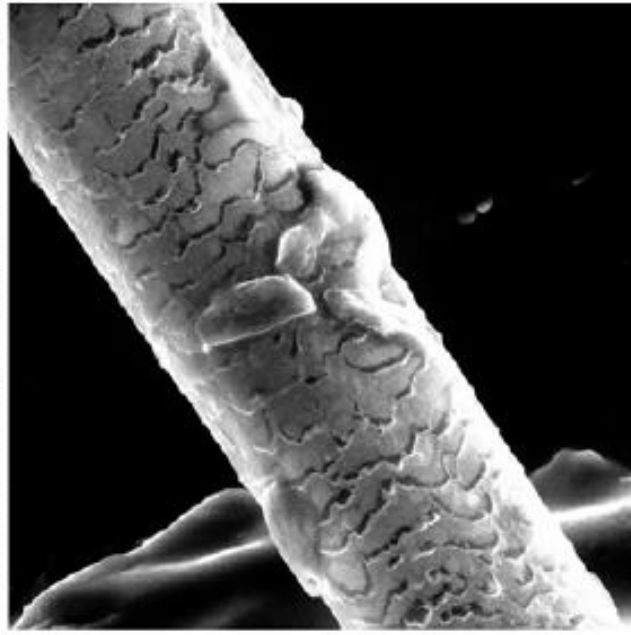
- signál ze vzorku může být zesílen v řádu stonásobků původního signálu
- kladné ionty vznikající jako důsledek srážek elektronů s molekulami plynu neutralizují záporný náboj na izolačních vzorcích a odstraňují povrchovou kontaminaci vzorku

Nevýhody:

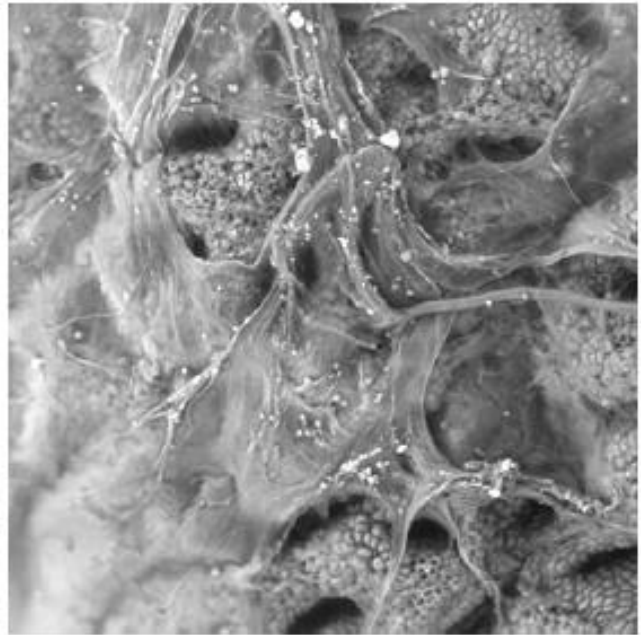
- ESD zaznamenává smíšený signál SE, BSE a PE, což způsobuje výskyt SE topografického a BSE materiálového kontrastu v obraze



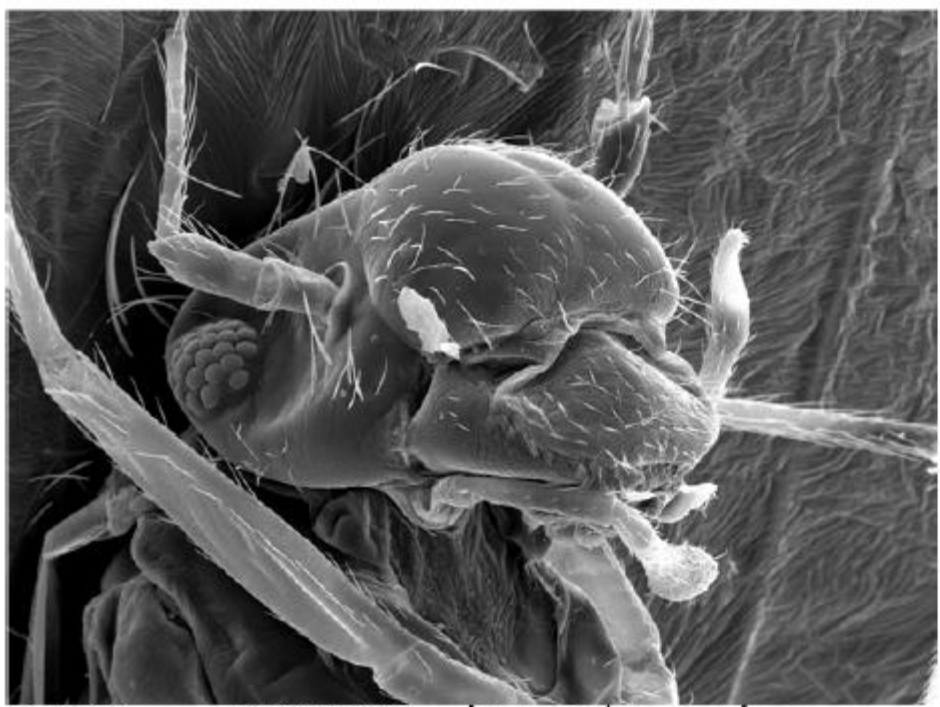
Lidská cévní náhrada –
bezprostředně po vyndání z
lidského těla (mag.800x).



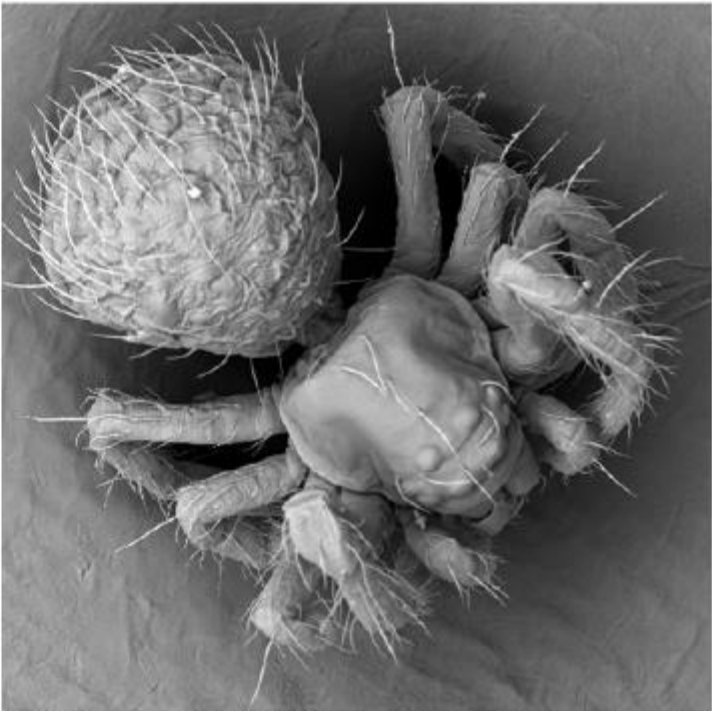
Lidský vlas – mag (900x)



Lidská žaludeční stěna s
metastázami rakoviny.
(450x)



HV: 30.0 kV
Vega ©Tescan
DET: SE Detector
DATE: 12/14/00
200 µm
ÚHE LF MU v Brně

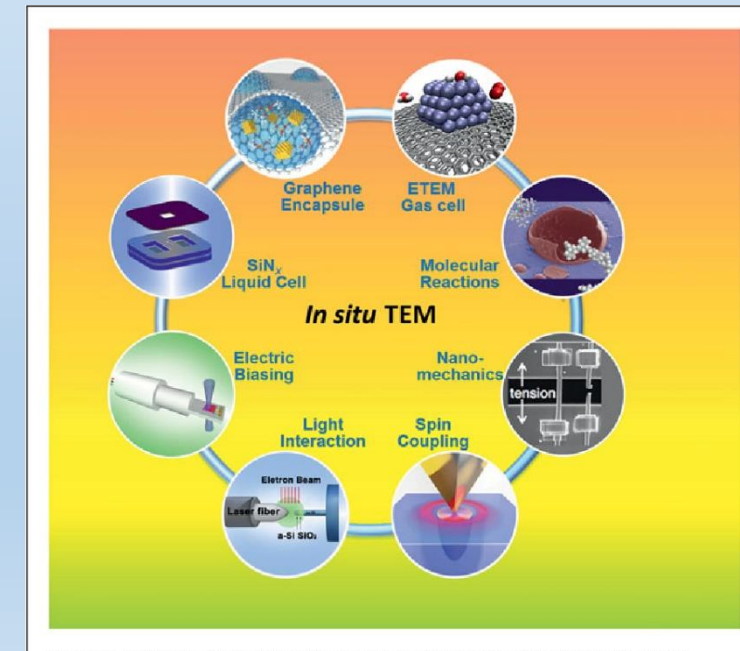
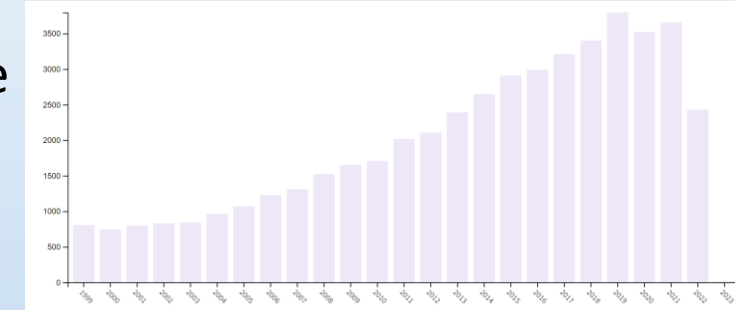


HV: 29.1 kV
Vega ©Tescan
DET: BSE Detector
DATE: 03/22/01
500 µm
ÚHE LF MU v Brně

In-situ elektronová mikroskopie



- pro poznání vlastností materiálů je vhodné znát nejen počáteční a konečný stav, ale i možnost sledovat změny přímo
- využívá se pro sledování odezvy vzorku na podnět v reálném čase
- elektronový mikroskop musí snímat dostatečně rychle
- EM je nutno doplnit o dodatečné moduly tj. držák vzorků schopný aplikovat vnější podněty
 - ohřev / chlazení
 - elektrické napětí
 - mechanické namáhání
 - reaktivní prostředí (kapalinové nebo plynové reakční články)
 - ozařování vzorků fotony
- využívá se automatické vyhodnocování výsledků



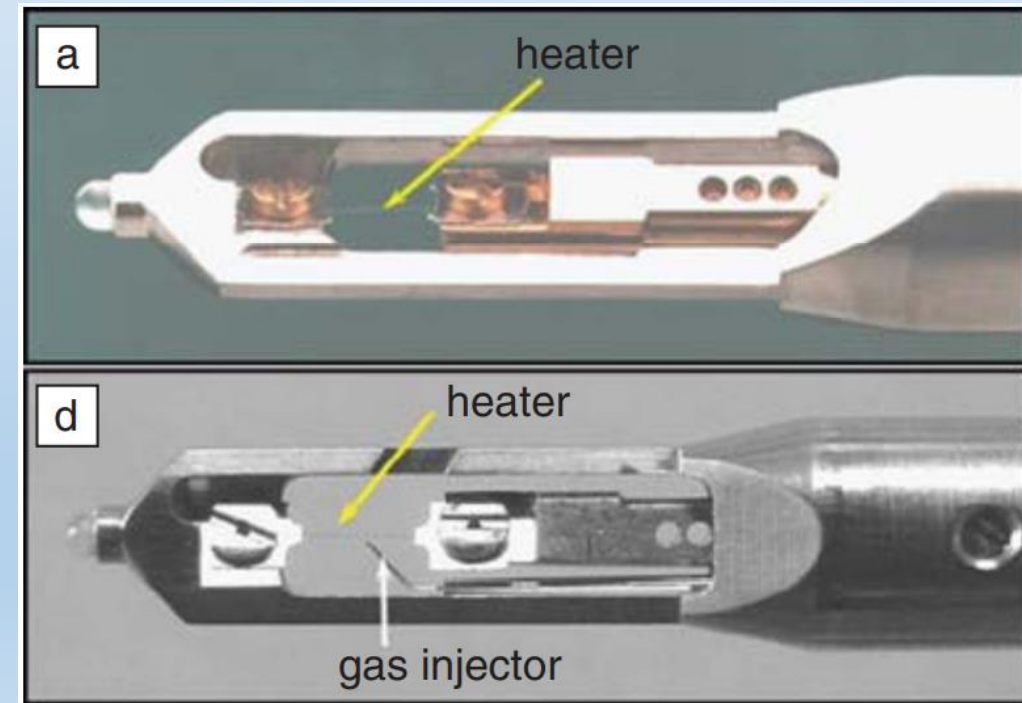
Držáky se změnou teploty

Ohřev vzorku

- většina držáků TEM pro ohřev vzorků má válcovou miniaturní pec (topnou spirálu), na (ve) které je umístěn vzorek o průměru 3 mm
- okolí pece je chlazeno vodou – minimalizace sálání tepla do prostoru mikroskopu, omezení driftu vzorku (speciálně pro teploty nad 800°C)
- tento design umožňuje ohřev až do 1300 °C

Chlazení vzorku

- pomocí Peltierova článku (viz následující slide)
- pomocí kapalného N₂
- chladí se pouze vzorek, nikoli celý prostor komory



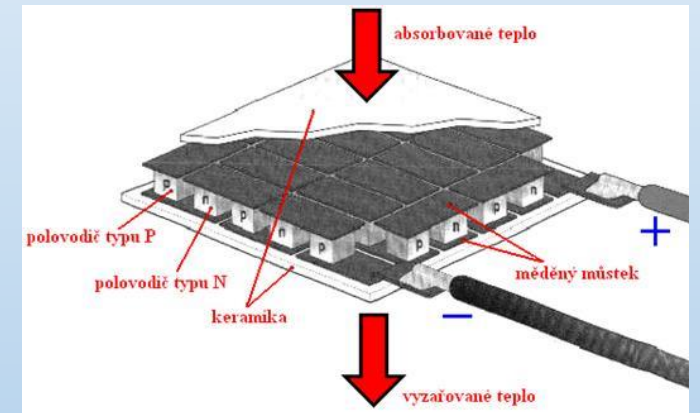
- funguje na principu tzv. Peltierova jevu: když prochází proud obvodem se dvěma rozdílnými vodiči zapojenými v sérii (bismut a tellur, polovodiče), jejich spojené konce se ochlazují a jejich opačné konce zahřívají
- Maximální chladicí výkon se pohybuje od desetiny wattu až po stovky wattů. Maximální rozdíl teplot může dosahovat 60 až 75 °C
- lze zapojit i obráceně: změnou teplot lze generovat proud

Výhody:

- Malé rozměry
- Okamžitý efekt chlazení/topení
- Dosažení nízkých teplot až -20 °C
- Snadná regulace výkonu
- Absolutně tichý provoz (žádné pohyblivé části)
- Dlouhá životnost (teoreticky neomezená)
- Možnost usměrnit chlazení na velmi malou plochu (lze chladit i 10x10 mm preparát na podložním sklíčku mikroskopu)
- Snadná změna směru toku tepla (změna studené a teplé strany článku) - pouze změnou směru elektrického proudu

Nevýhody:

- Přehřívání
- Velká spotřeba proudu
- Vyšší cena v případě potřeby velkého chladicího výkonu
- Malý rozdíl teplot mezi studenou a teplou stranou článku
- Nižší účinnost v porovnání s kompresorovým chlazením





Gas cell EM

- konvenční TEM pracuje za podmínek vysokého vakua
- pro získání informací o chování materiál v reálném prostředí je vhodné studovat vzorky i v odlišné atmosféře
- existují dvě základní platformy
 - konfigurace s otevřenými buňkami-omezuje plynnou atmosféru v blízkosti vzorku pomocí tlaku. Otvory omezující tlak jsou umístěny v čočce objektivu v těsné blízkosti vzorku a diferenciální čerpací systém je vybaven tak, aby se zabránilo difúzi molekul plynu z komory směrem k jiným částem TEM, zejména k elektronovému dělu.
 - uzavřené plynové/kapalinové komůrky – uzavření vzorku a vysokotlakého plynu do malého prostoru
 - reakční objem a vzorek jsou ohraničeny elektronově průhledným horním a dolním oknem, které umožňuje zavedení a utěsnění plynné atmosféry
- vhodné zejména pro: (de)hydrogeační procesy, interakce mezi pevnou a plynnou fází, potlačení odpařování vzorku, oxidace a redukce kovů, růst nanostruktur oxidů kovů, reakce s ionizovaným plynem.

Leptání nanočástic PbSe

https://www.youtube.com/watch?v=7sX7B0RSDWw&ab_channel=ScienceX%3APhys.org%2CMedicalXpress%2CTechXplore

Kombinovaný držák TEM vzorků

https://www.youtube.com/watch?v=QWtM8zpCUu0&ab_channel=Protochips

Liquid cell EM

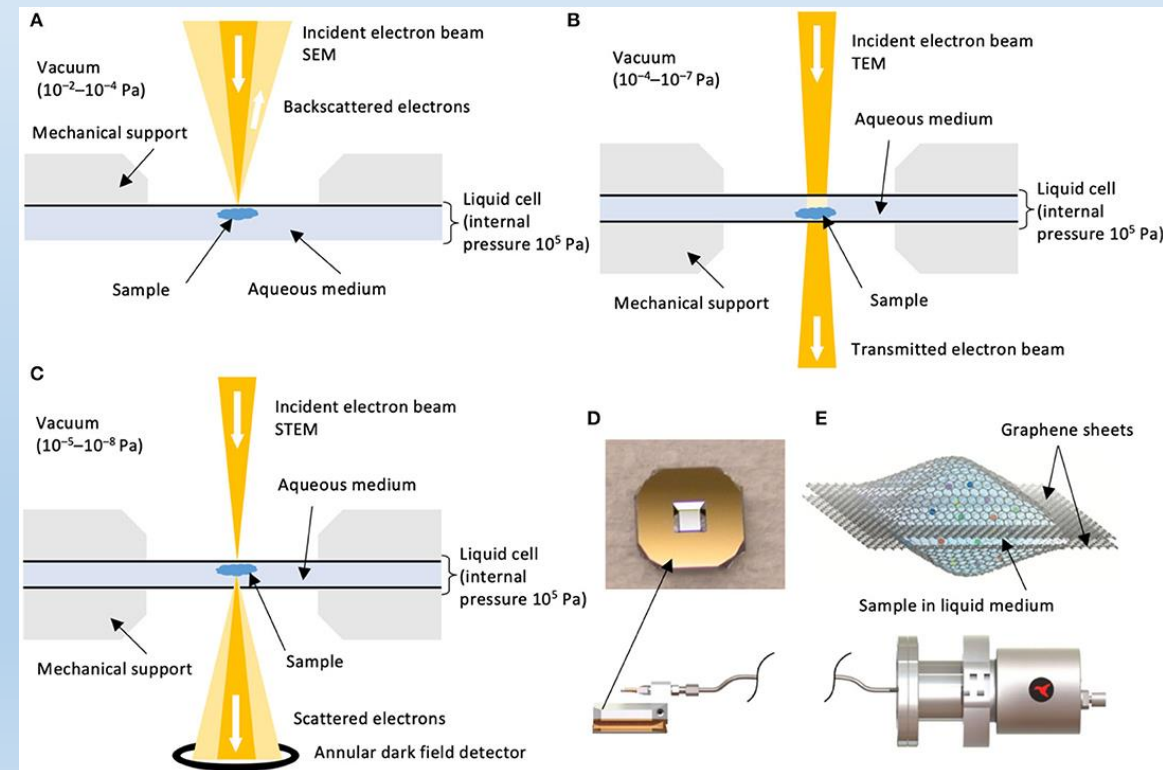
- reakce probíhá v kapalném prostředí
- LC se typicky skládá ze dvou membrán které zapouzdřují vzorek v kapalném prostředí
- lze využít pro pozorování v SEM (A), TEM (B), STEM (C)
- materiál membrány musí být vhodně zvolený
 - průhlednost pro elektrony
 - homogenita tloušťky
 - stabilita ve vysokém vakuu
 - bez nabíjecích efektů
 - omezení ohřevu při interakci s elektrony
 - např: Si_3N_4 o $d=10-50\text{ nm}$, (D)
 - vícevrstvý grafen nebo oxid grafenu $d < 10\text{ nm}$ (E)

Leptání nanočástic PbSe v k

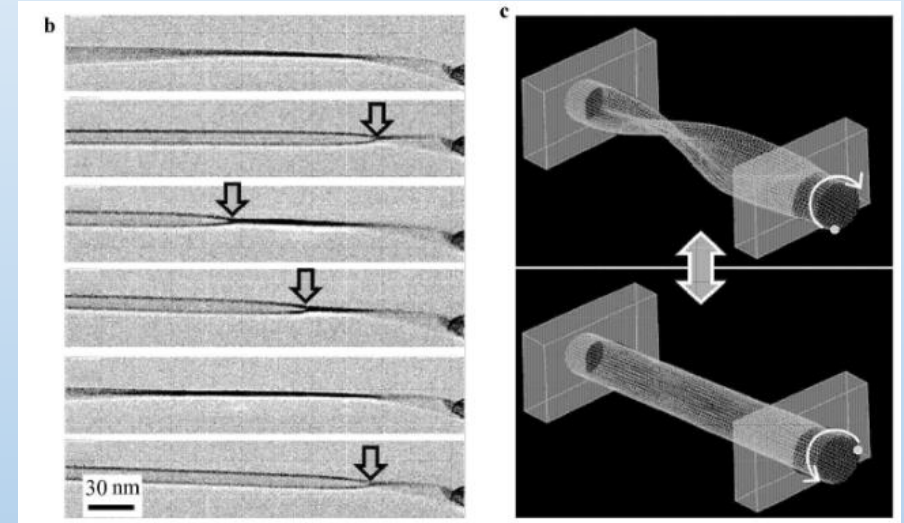
https://www.youtube.com/watch?v=7sX7BORSDWw&ab_channel=ScienceX%3APhys.org%2CMedicalXpress%2CTechXplore

Kombinovaný držák TEM vzorků

https://www.youtube.com/watch?v=zoSWBStFBrY&ab_channel=Protochips



- v prostoru komory je umístěno zařízení pro studium mechanického namáhání vzorků
- zóna změny geometrie vzorku je snímána pomocí EM
- s využitím EBSD je možné určit vliv namáhání na zrna o různé orientaci
- zařízení může být doplněno o ohřev vzorku
- možné zkoušky:
 - tahové zkoušky (viz videa od T. Krumla)
 - Cyklické zkoušky (tah – tlak)
 - deformační zkouška kroucením
 - Nanoindentace – in-situ měření tvrdosti
 - Mikrokoprese pilířků – tlaková zkouška plochým hrotem



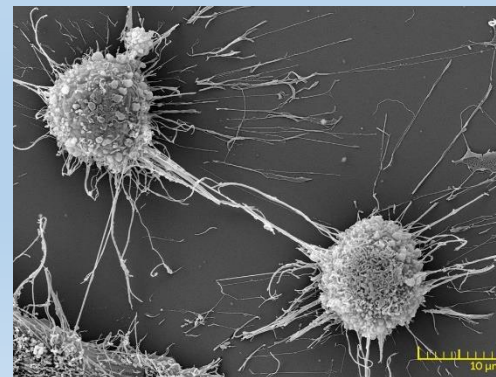
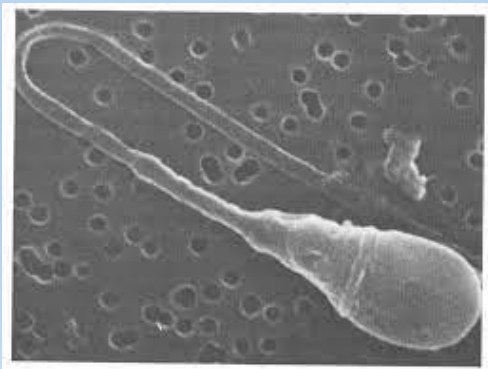
Tahová zkouška-animace

https://www.youtube.com/watch?v=qCMGoktXSF4&ab_channel=ZEISSMicroscopy

Particle compression

https://www.youtube.com/watch?v=mBa7iNbhjPM&ab_channel=MingwenBai

- biologické vzorky obsahují vodu – problém se stabilitou ve vakuu
 - pro vysokovakuové SEM **suché**
 - pro nízkovakuové-**do 70 % vody**
 - pro environmentální -**zavodněné**
- stabilita při ozáření primárními elektrony
- dostatečná produkce detekovaných signálů
- zastavení změn souvisejících s posmrtným rozkladem po odebrání vzorku



a) Tradiční příprava preparátu:

1. fixace: glycerinaldehyd, formaldehyd, OsO_4
2. dehydratace: aceton, ethanol
3. sušení: CPD(critical point drying), t-butanol, sušení na vzduchu
4. lepení na terče
5. zvýšení povrchové vodivosti (pokovení Pt, Au)
 - zvyšuje produkci SE a BSE
 - snižuje tepelné poškození a nabíjení povrchu vzorku



b) vitrifikace-transfomace látky na sklo

krystalický led:

nižší hustotu a větší objem než kapalná voda

vitřifikovaný led:

zhruba stejnou hustotu i objem jako voda

bez segregace rozpouštědla a rozpuštěných látek

Způsob přípravy vitřifikovaného ledu:

- 1) rychlým zamrazením ($>5 \cdot 10^5$)
- 2) mrazení při vysokém tlaku
- 3) použití kryoprotektantu během mrazení

Chladivo:

kapalný dusík: bod varu -196°C , bod tuhnutí -210°C

nízká teplotní kapacita, chlazený materiál je obklopen vrstvou plynného N_2 =izolátor

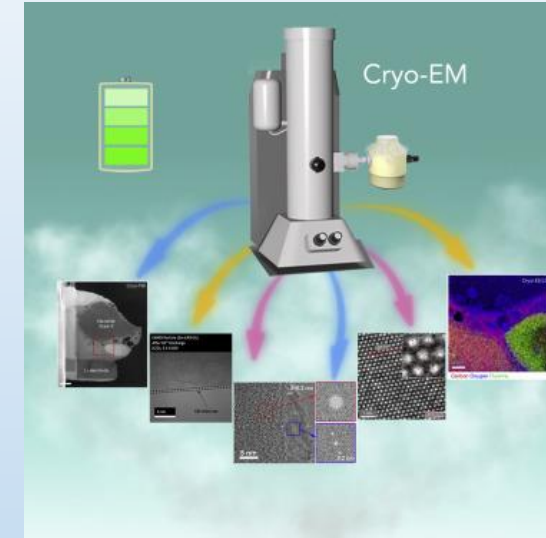
kapalný etan: bod varu -88°C , bod tuhnutí -182°C

vysoká teplotní kapacita



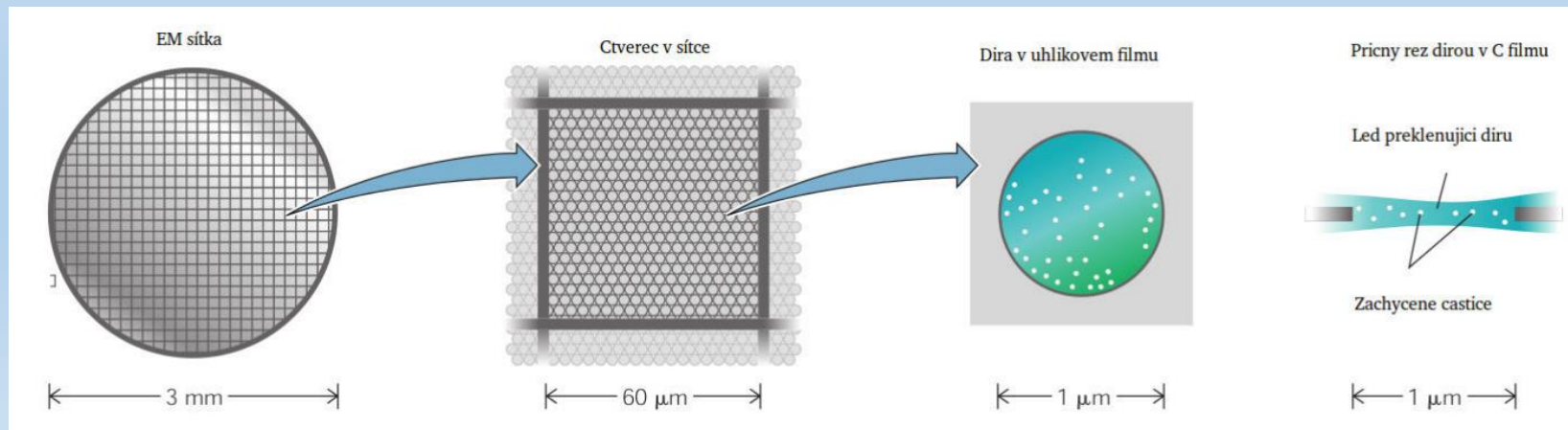
Kryoelektronová mikroskopie

- využívá se především v biochemii a biologii
- umožňuje studovat struktury buněk, virů atd. téměř v atomovém rozlišení
- bývá spojena s vytvářením 3D modelů
- celá komora se vzorkem musí být neustále chlazená kapalným dusíkem, aby nedošlo ke ztrátě vitrifikovaného ledu

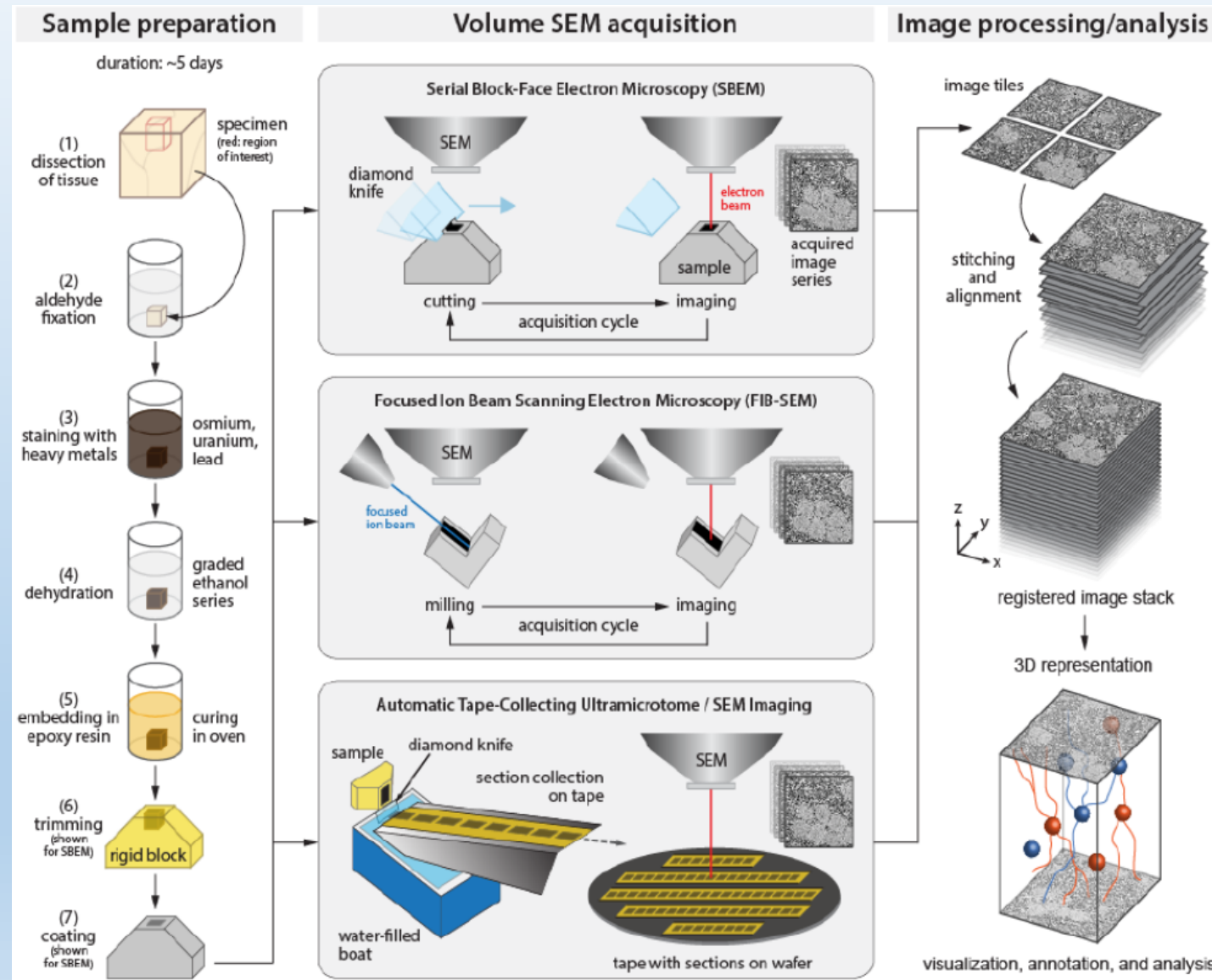


https://www.youtube.com/watch?v=6G550DfY75Q&ab_channel=MRCLaboratoryofMolecularBiology

https://www.youtube.com/watch?v=L-65mpdKLzQ&t=117s&ab_channel=ThermoScientificEM%26Spectroscopy

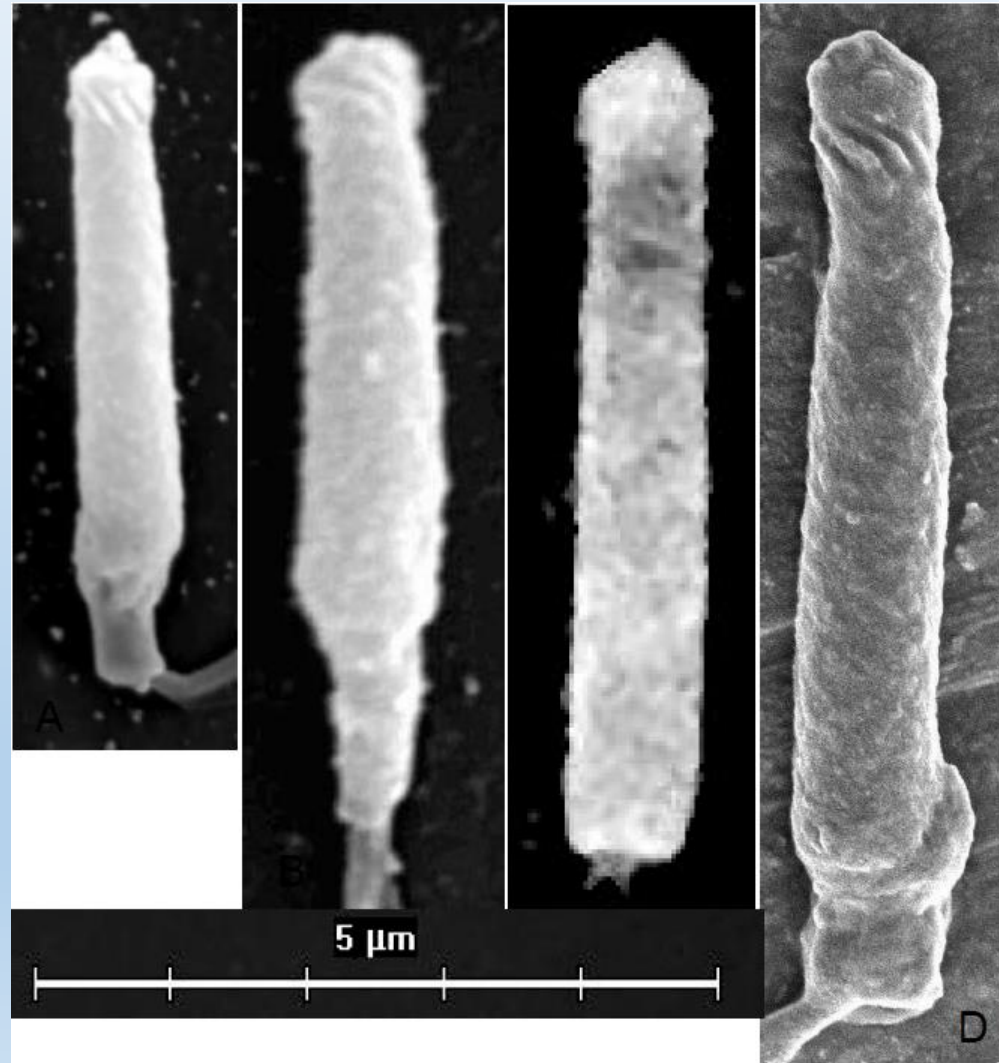


3D rekonstrukce biologických vzorků



Distribuce velikosti hlavičky spermie jesetera v závislosti na metodě přípravy preparátu

- a) CPD drying
- b) t-butylalkohol
- c) ESEM
- d) cryo-SEM



Pšenička et.al.: Micron, 41(5), 2010



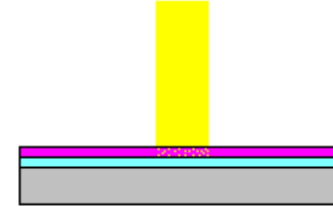
- technika umožňující zápis elektronovým svazkem
- svazek lze vychylovat
 - a) v pravidelném rastru (rastrový zápis)
 - b) na libovolnou pozici vychylovacího pole (vektorový zápis)
- využívá se netermické (tzn. nic se nevypaluje) interakce svazku energetických (urychlených) elektronů s vrstvou vhodné látky – tzv. elektronového rezistu
- elektronový rezist: obvykle makromolekulární látka senzitivní na elmag. záření – působením energie PE dochází k chemické změně polymeru (síťování-negativní rezist) nebo k degradaci (pozitivní rezist)
- Při průchodu elektronů vrstvou rezistu dochází k elastickým a neelastickým kolizím elektronů s molekulami případně atomy rezistu a při těchto interakcích předávají elektrony svoji energii ozařovanému materiálu
- V elektronovém rezistu tak vzniká latentní obraz, který je nutné nějakým způsobem následně vyvolat



podložka s funkční vrstvou



**nanesení vrstvy pozitivního
polymerního rezistu**



**expozice rezistu svazkem
elektronů**



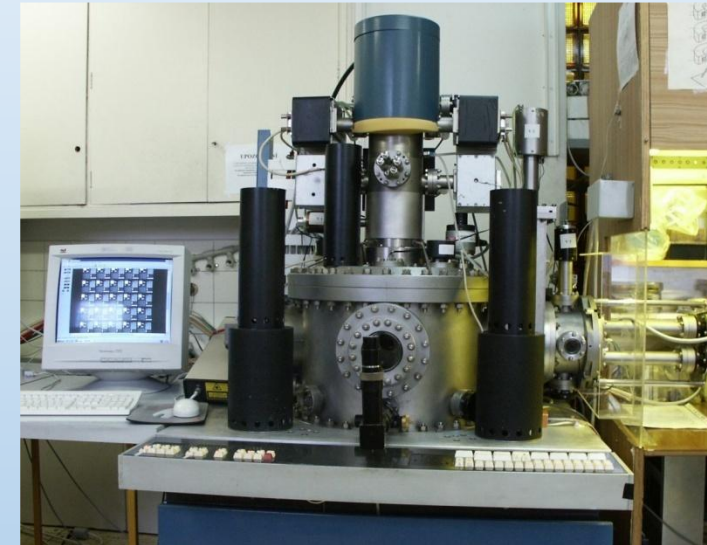
**vyvolání exponovaného
obrazu v rezistu**



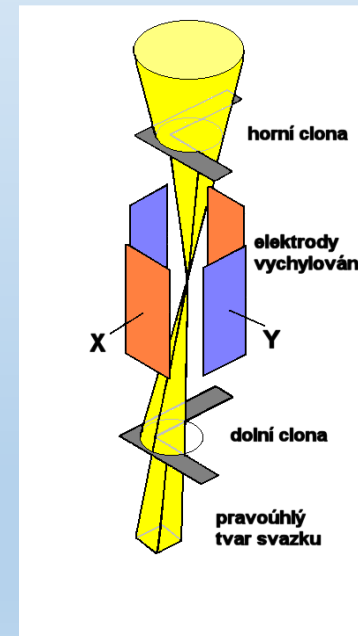
**leptání funkční vrstvy
přes rezistovou masku**



**odstranění rezistu
obraz ve funkční vrstvě
(pozitivní)**



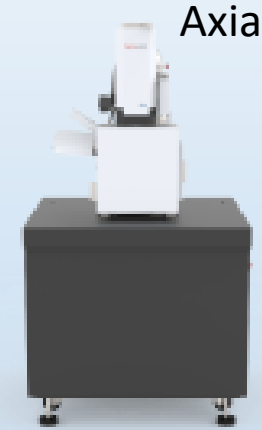
- Urychlovací napětí: 15 kV
- Tvarovaný svazek: 0.1 – 6 μm (po 100 nm)
- Proudová hustota ve svazku: 0.5 – 1 A/cm^2
- Krok vychylování svazku: 100 nm
- Max. velikost vychylování: 3 mm x 3 mm
- Krok interferometrů: 40nm ($\lambda/16$)
- Krok korekcí: 100 nm
- Mezní rozlišení: 100 nm
- Strategie zápisu (expozice): vektorové vychylování pravoúhle tvarovaného svazku proměnných rozměrů
- Maximální velikost substrátů: 4 x 4 inch^2



- Materiálové vědy
 - TESCAN VEGA – W katoda
 - TESCAN MIRA – Schotky katoda
 - TESCAN CLARA – Schotky katoda + nízké kV
 - TESCAN MAGNA – Schotky katoda + imerzní mód + STEM
- Živá příroda
 - TESCAN CLARA CRYO
 - TESCAN MAGNA
- Geovědy
 - TESCAN TIMA-4 detektory EDS, automatická identifikace minerálů



- SEM
 - AXIA-simultánní EDS SEM analýza
 - Verios-při nízkém napětí (20eV-30 keV)
 - Quattro-FEG SEM, ESEM, in-situ
 - Prisma- ESEM, in-situ
 - Apreo-při nízkém napětí (20eV-30 keV)
 - VolumeScope-3D SEM with diamond knife
- Desktop SEM
 - Phenom-řada modelů dle specifikace, do 20 kV
- FIB-SEM
 - Helios (Ga nebo plasma)



- TEM
 - LVEM (DeLong's low-voltage electron microscopes)
 - nejmenší TEM

