

Elektronová mikroskopie a mikroanalýza-2

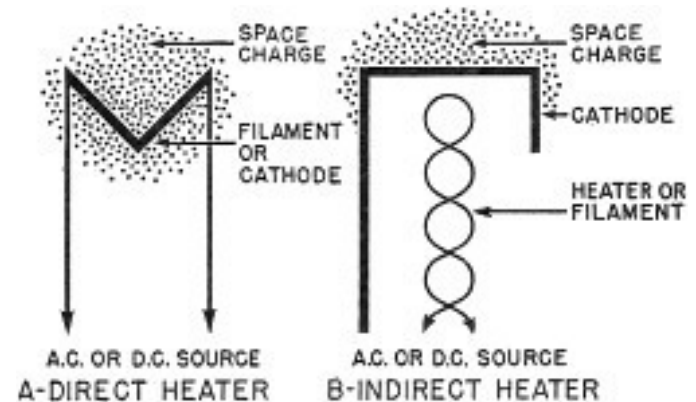
elektronové dělo

- elektronové dělo je zařízení, které produkuje elektrony uspořádané do svazku (paprsku)
- elektrony opustí svůj zdroj – katodu- po dodání určité množství energie.
- tři hlavní typy
 - termionické zdroje
 - „field emission“ zdroje
 - „thermal-field“ zdroje

termionické zdroje

- energie potřebné k emisi elektronů z katody je dodána v podobě tepla – termoemise

- wolframová katoda
- katoda z LaB_6 krystalu

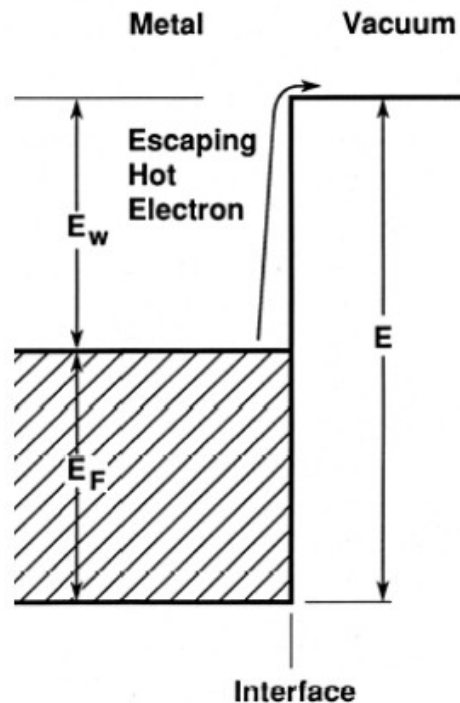


E = energie potřebná k emisi elektronu

$$E = E_f + E_w$$

E_f = Fermiho energie, energie potřebná k překonání energetické hladiny elektronů

E_w = minimální energie elektronu potřebná k opuštění povrchu směrem do vakua, work function



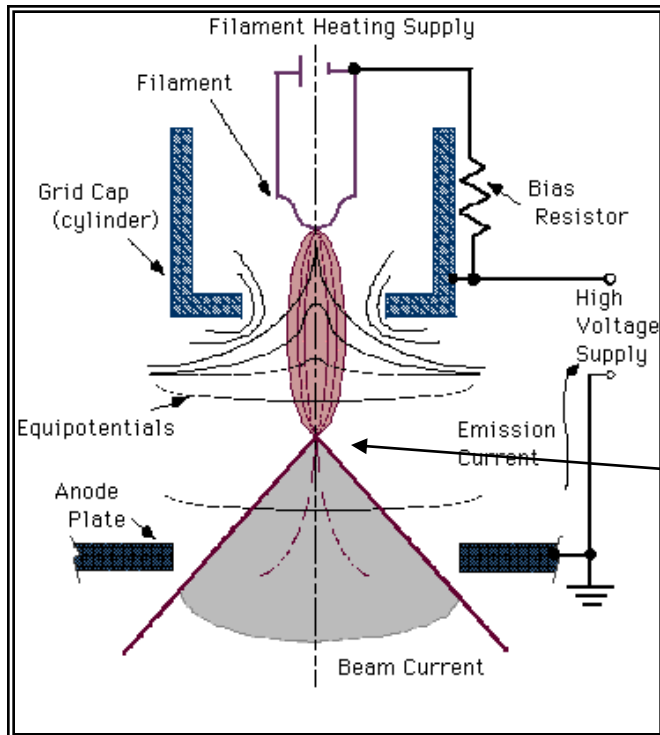
work function pro jednotlivé prvky

Element	eV	Element	eV	Element	eV	Element	eV	Element	eV
Ag:	4.52 – 4.74	Al:	4.06 – 4.26	As:	3.75	Au:	5.1 – 5.47	B:	~4.45
Ba:	2.52 – 2.7	Be:	4.98	Bi:	4.31	C:	~5	Ca:	2.87
Cd:	4.08	Ce:	2.9	Co:	5	Cr:	4.5	Cs:	2.14
Cu:	4.53 – 5.10	Eu:	2.5	Fe:	4.67 – 4.81	Ga:	4.32	Gd:	2.9
Hf:	3.9	Hg:	4.475	In:	4.09	Ir:	5.00 – 5.67	K:	2.29
La:	3.5	Li:	2.93	Lu:	~3.3	Mg:	3.66	Mn:	4.1
Mo:	4.36 – 4.95	Na:	2.36	Nb:	3.95 – 4.87	Nd:	3.2	Ni:	5.04 – 5.35
Os:	5.93	Pb:	4.25	Pd:	5.22 – 5.6	Pt:	5.12 – 5.93	Rb:	2.261
Re:	4.72	Rh:	4.98	Ru:	4.71	Sb:	4.55 – 4.7	Sc:	3.5
Se:	5.9	Si:	4.60 – 4.85	Sm:	2.7	Sn:	4.42	Sr:	~2.59
Ta:	4.00 – 4.80	Tb:	3	Te:	4.95	Th:	3.4	Ti:	4.33
Tl:	~3.84	U:	3.63 – 3.90	V:	4.3	W:	4.32 – 5.22	Y:	3.1
Yb:	2.6	Zn:	3.63 – 4.9	Zr:	4.05	LaB6	2.5	CeB6	2.5

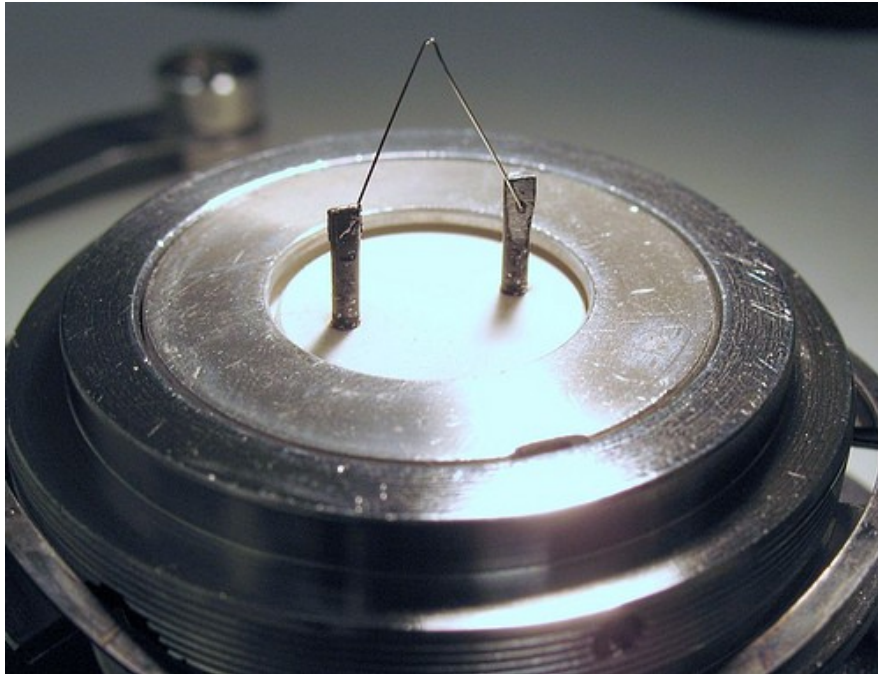
http://en.wikipedia.org/wiki/Work_function

Wolframová katoda

- ohnutý W drát 100-150 μm v průměru
- žhavení na cca 2700 K (cca 2427 °C)
- životnost cca 100-1000 hodin



- žhavení katody – produkce pomalých elektronů
- wehneltův válec – rozdíl napětí mezi katodou a wehneltem je $-X00\text{ V}$
 - usměrnění termálních elektronů, rozdíl potenciálu určuje emisní proud, elektrostatická čočka
- urychlovací napětí mezi katodou a anodou je 0.2-40 KV, obvykle od 10 do 30 kV
- ohnisko (10-100 μm) – „efektivní zdroj“ elektronů
- uprostřed anody je otvor, kterým elektrony postupují dále k soustavě elmg. čoček

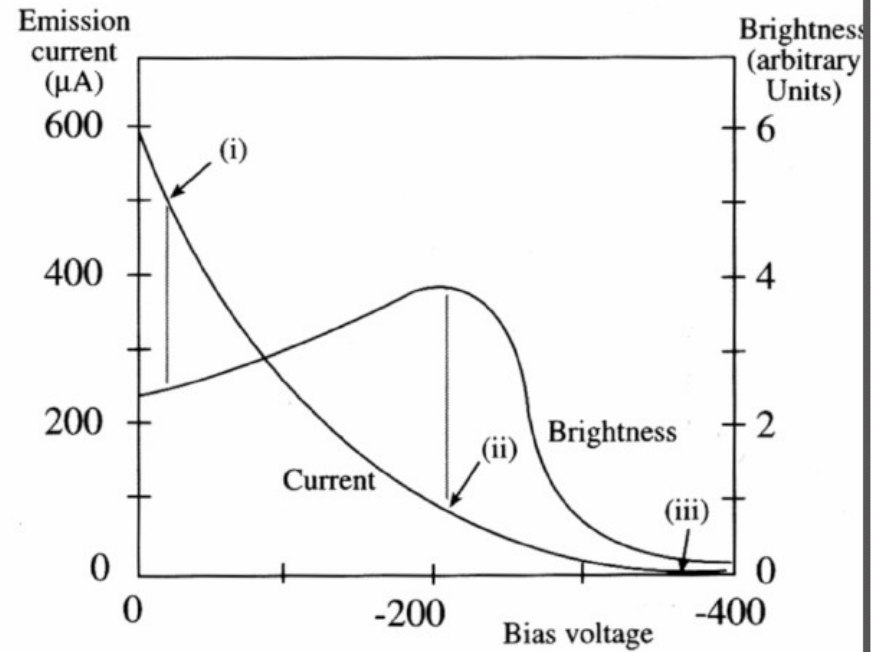
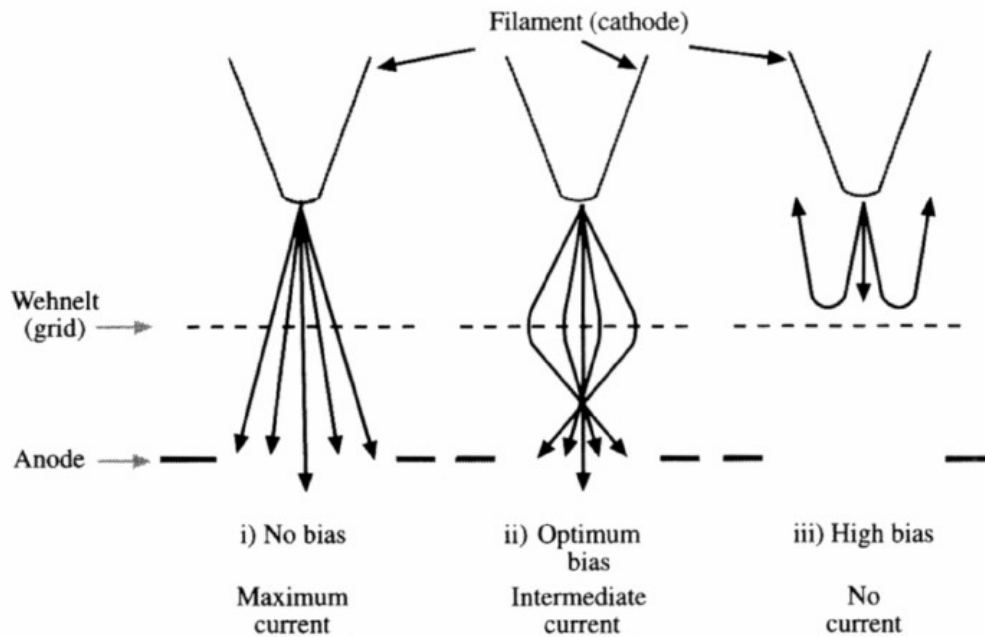


JEOL K-type filament

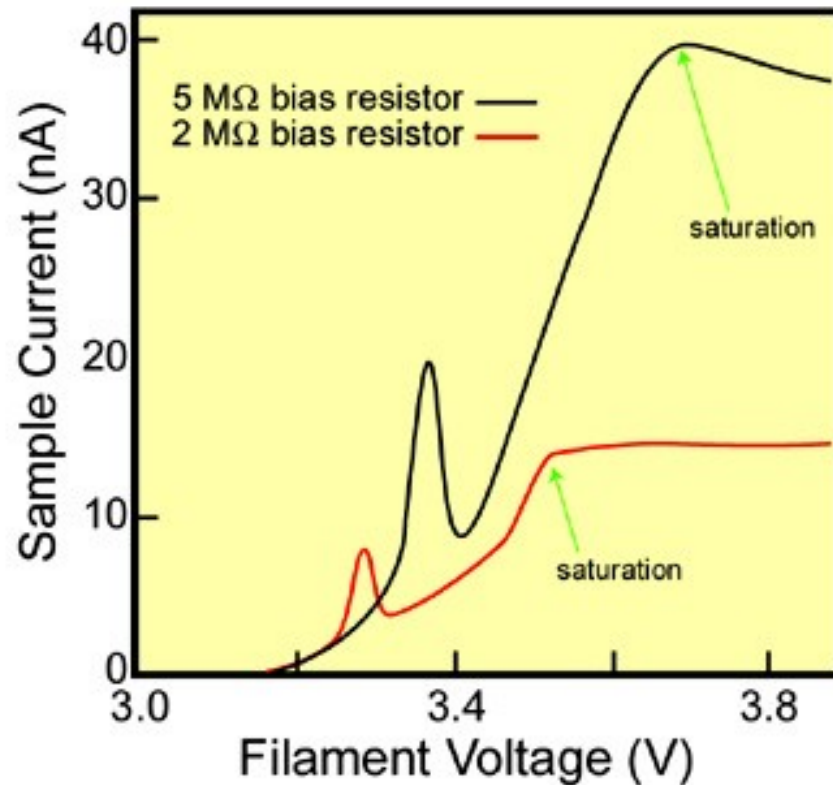


E-Gun Filament

funkce wenheltu



vliv žhavení vlákna na proud dopadajících elektronů



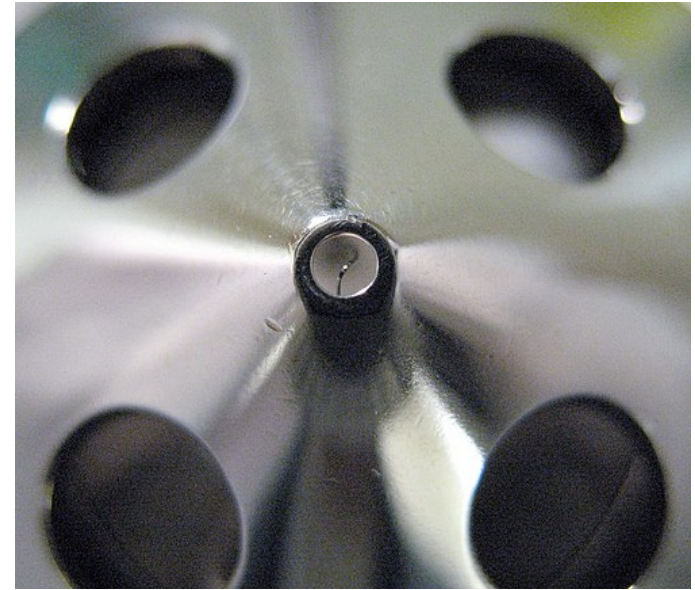
pro W-katodu v konfiguraci s Wehneltem platí

$$J = AT^2 e^{-\left(\frac{E_w}{kT}\right)}$$

J = emisní proud

A = materiálová konstanta, 60 amp cm⁻² K⁻², pro W

E = Work function 4,5 eV pro W



Je velmi důležité, aby byl hrot katody ve středu otvoru Wehneltova válce = elektronový svazek ve středu optické soustavy

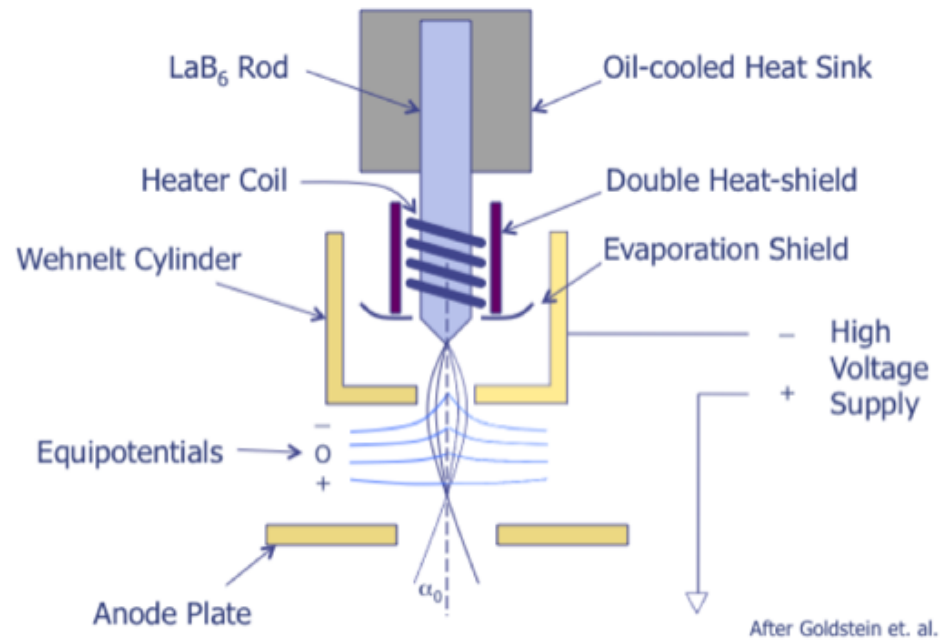
LaB₆ zdroj

materiál katody –hexaborid lanthanu
zbrušený do hrotu

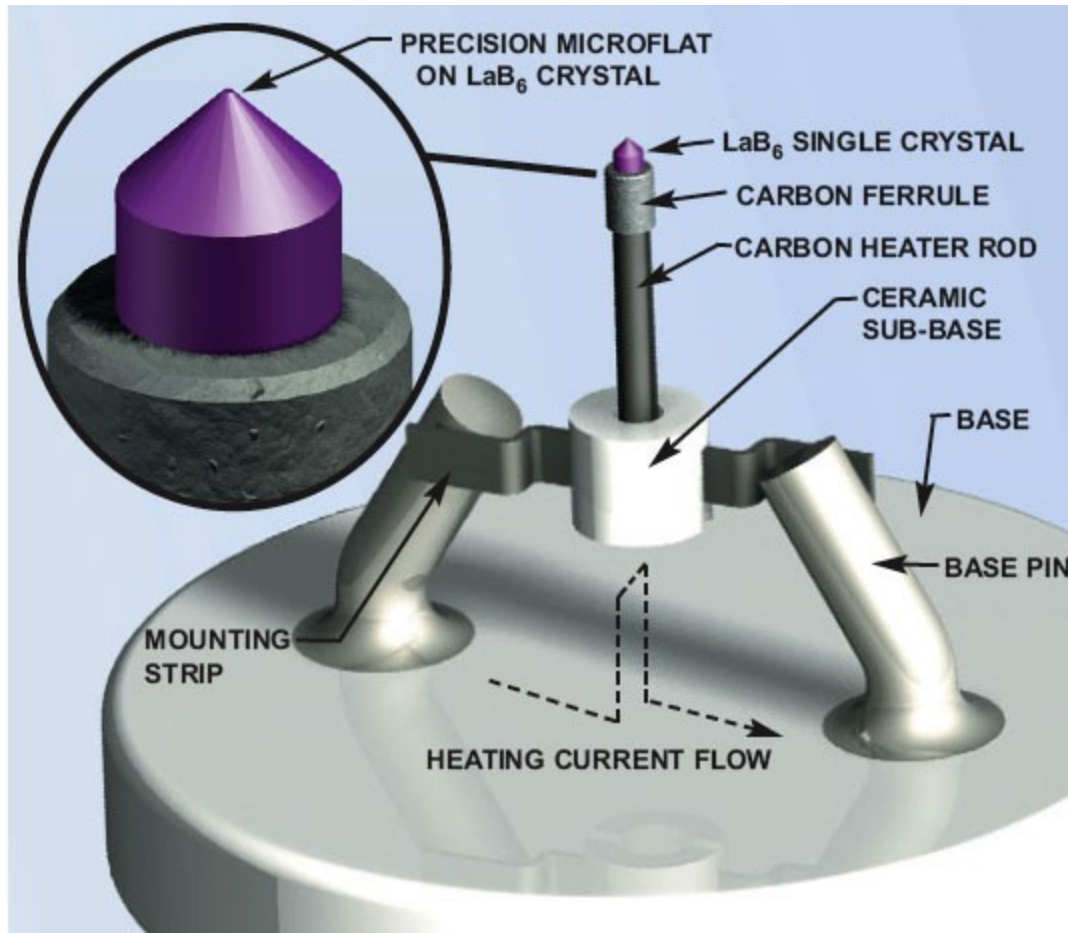
nízká hodnota „work function“ 2,5 eV

větší prostorová proudová hustota ve
srovnání s W při nižší teplotě žhavení
= ostřejší elektronový obraz

delší životnost, cca X měsíců

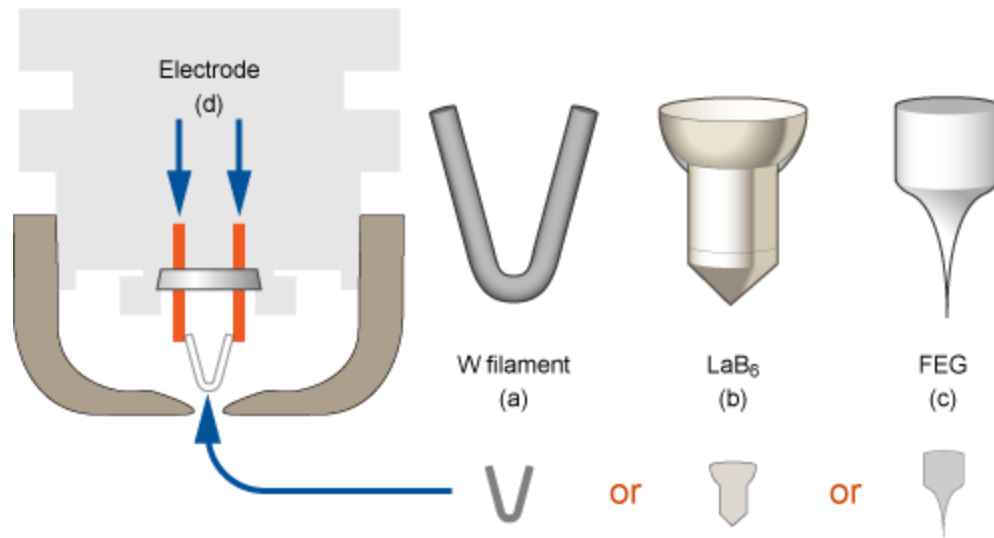


<http://www.semitracks.com/index.php/blog/archive-blog-posts>



http://www.tedpella.com/apertures-and-filaments_html/Kimball-lab6-cathodes.htm

srovnání W, LaB₆ a FEG

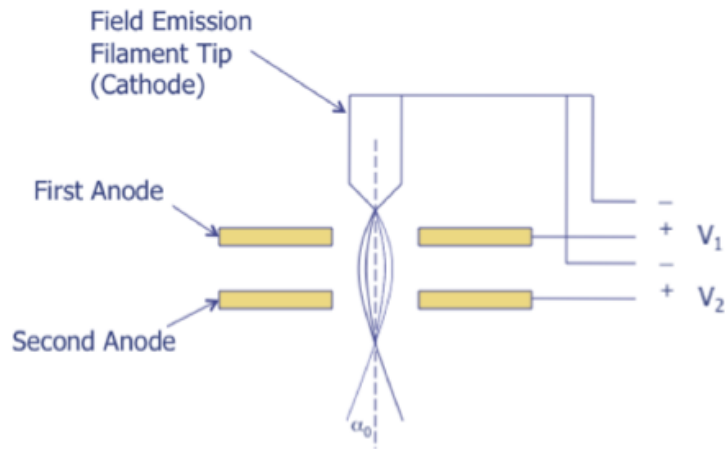


<http://www.ammrf.org.au/myscope/sem/practice/principles/gun.php>

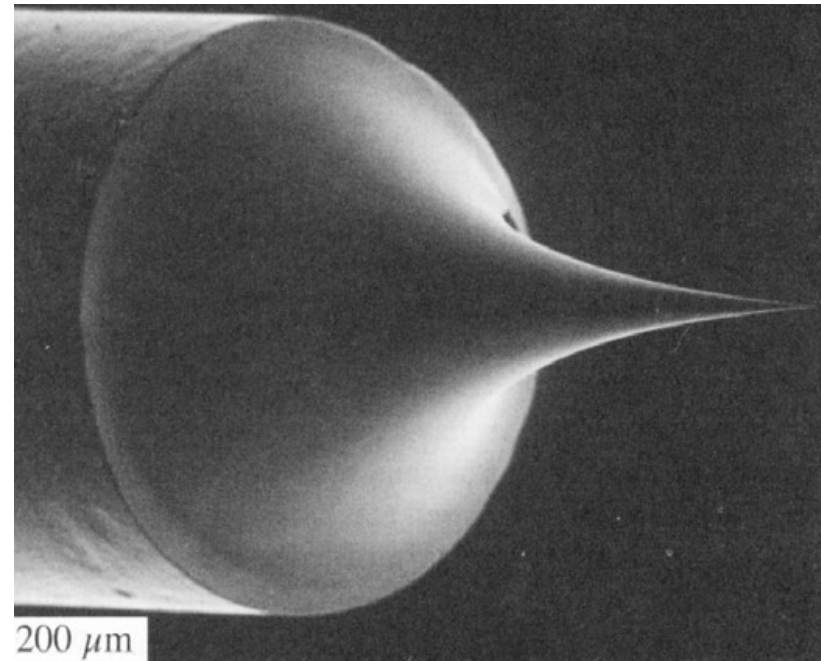
<http://www.ammrf.org.au/myscope/>

studený „field emission“ zdroj

- emise elektronovým polem
 - emise elektronů z katody (monokrystal W, hrot) je vyvolána silným elektrostatickým polem, pro kovy obvykle více než 1 GV/m
 - potenciál elektrostatického pole je silně závislý na E_f – work function
 - vyžaduje vakuum kolem $1.5 \cdot 10^{-7} \text{Pa}$



první anoda slouží k extrakci elektronů
druhá anoda slouží k urychlení elektronů



teplý „field emission“ zdroj

field emise z přehřáté katody

na povrchu katody je vrstva
 ZrO_2 =nižší work function

nevyžaduje tak vysoké vakuum

cca 10 x větší prostorovou
proudovou hustotu než studený FE
není třeba tak velké elektrostické
pole

žhavení (1000-1800 K,) hrotu snižuje
nutnost vysokého elektrostického pole

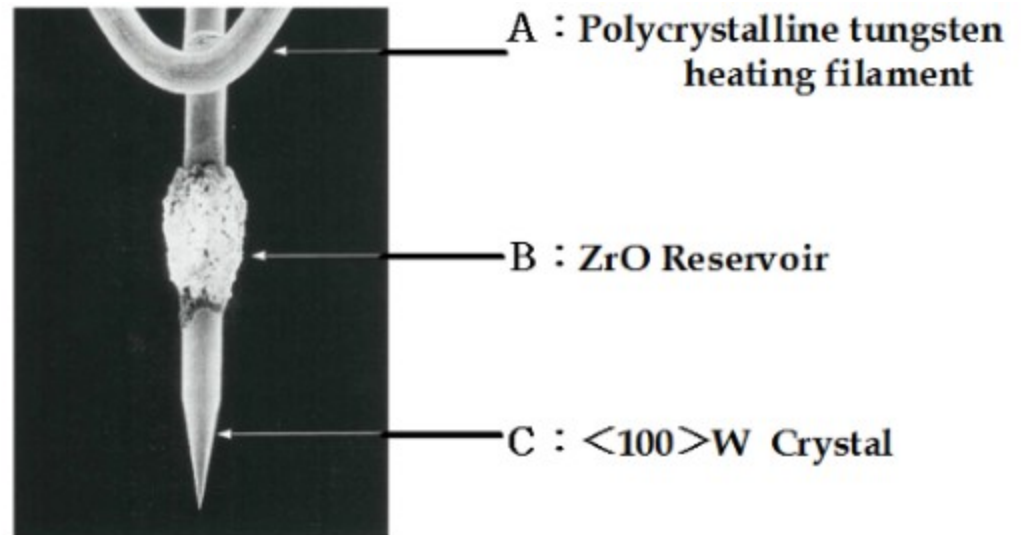


FIGURE 3.

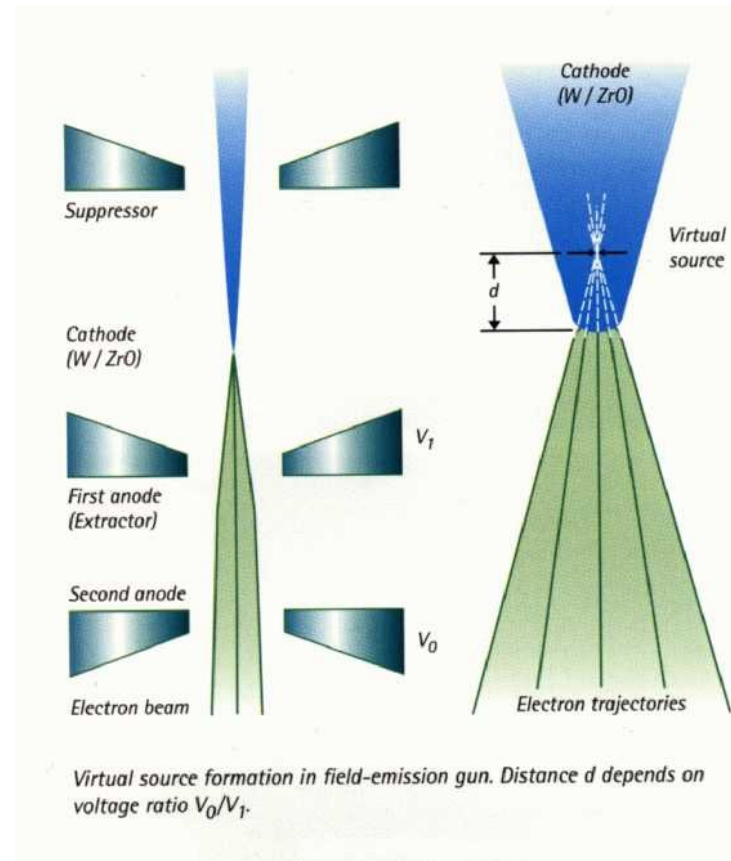
A ZrO/W Thermal field emission electron source. The single crystal tungsten is coated with a layer of zirconium oxide to reduce the work function barrier.

Suppressor-odfiltruje elektrony vzniklé termální emisí

první anoda slouží k extrakci elektronů

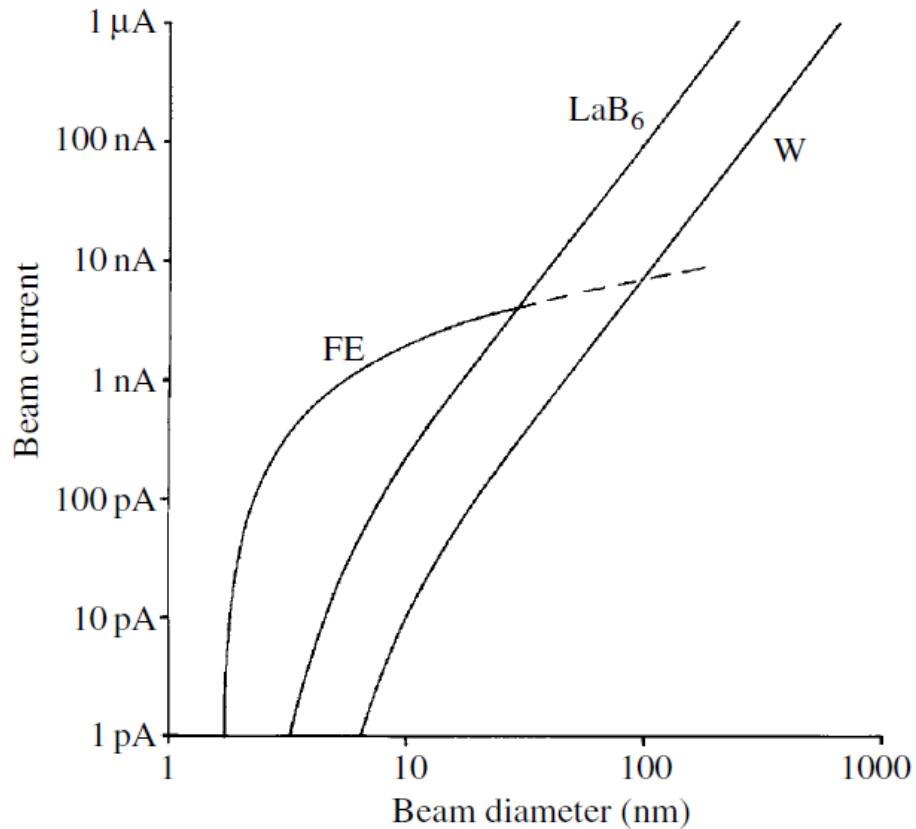
druhá anoda slouží k urychlení elektronů

emisní proud cca do 200uA



<http://www.nanophys.kth.se/nanophys/facilities/nfl/manual/sem-adjust/semadj2.html>

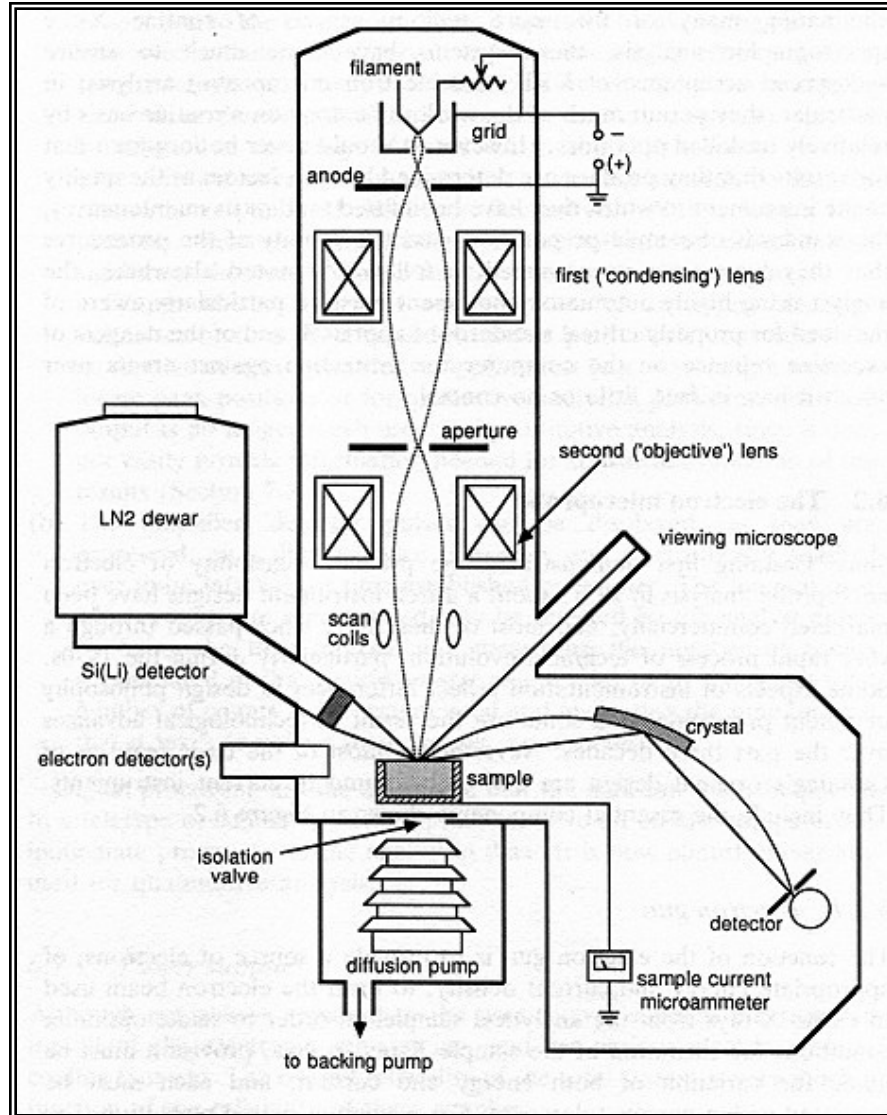
srovnání W, LaB₆, FEG



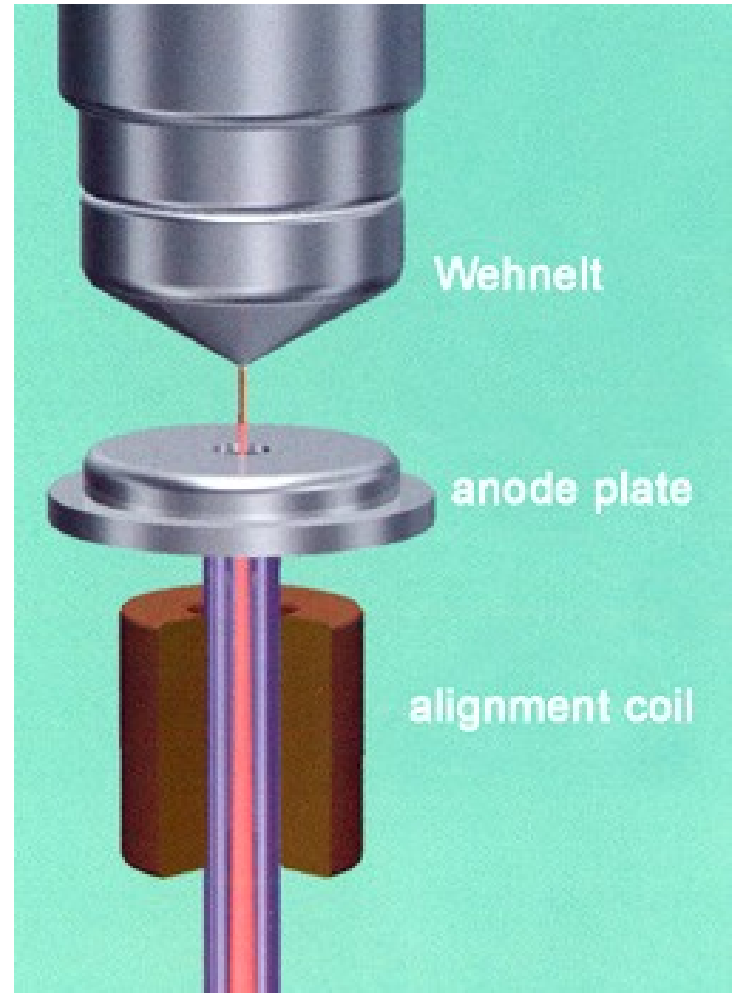
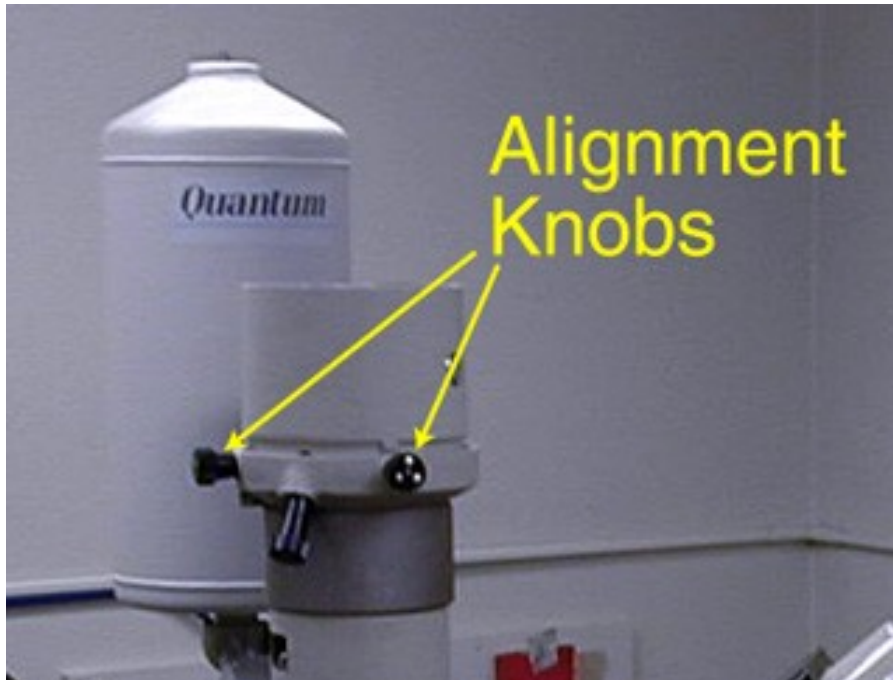
source type	brightness (A/cm ² /sr)	source size	energy spread (eV)	vacuum requirement (Torr)
tungsten thermionic	~10 ⁵	25 μm	2-3	10 ⁻⁶
LaB ₆	~10 ⁶	10 μm	2-3	10 ⁻⁸
thermal (Schottky) field emitter	~10 ⁸	20 nm	0.9	10 ⁻⁹
cold field emitter	~10 ⁹	5 nm	0.22	10 ⁻¹⁰

http://www.cnf.cornell.edu/cnf_spie2.html

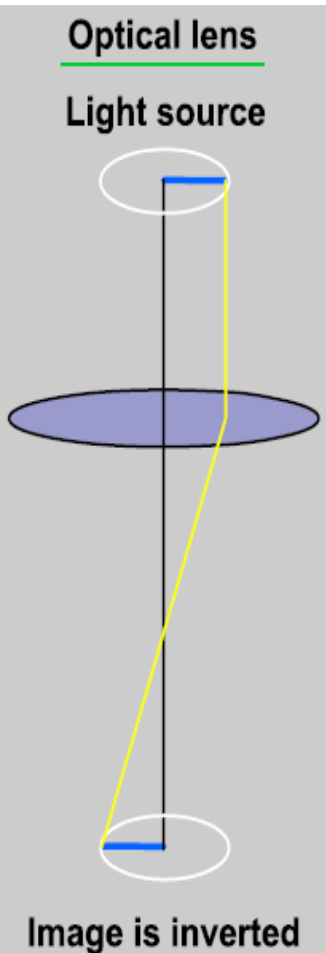
elektronová optika



dodatečné centrování elektronového svazku

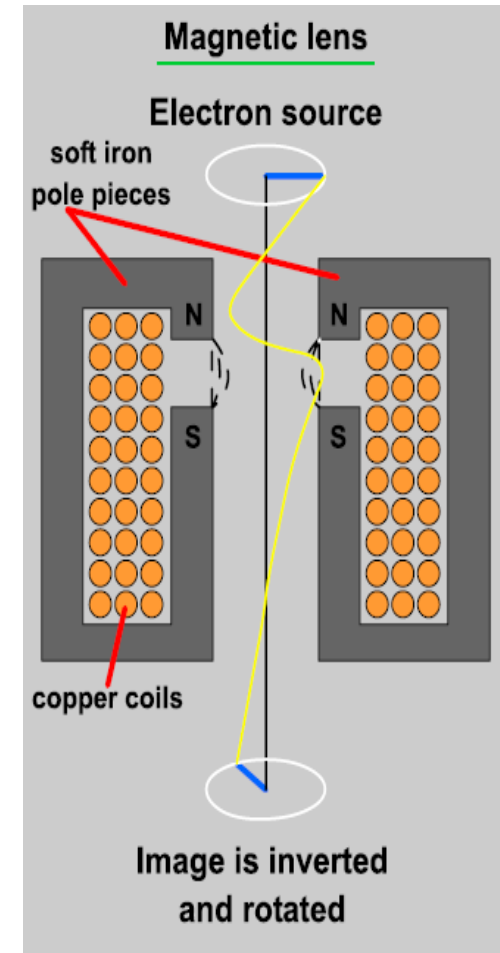


princip elektromagnetické čočky

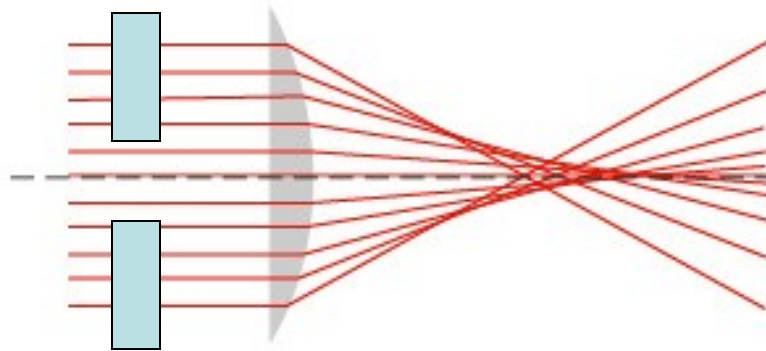


- na elektricky nabitou částici pohybující se v magnetickém poli působí tzv. Lorentzova síla, která mění její směr, nikoli však rychlost

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

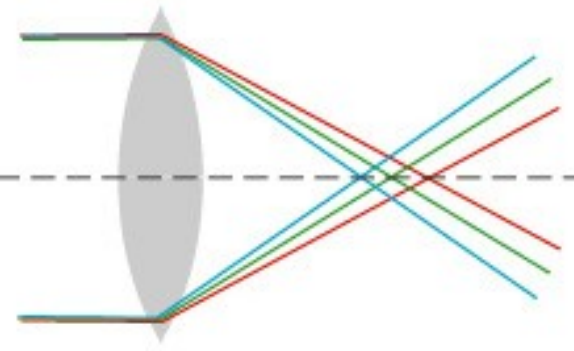


vady elektromagnetických čoček



Spherical Aberration

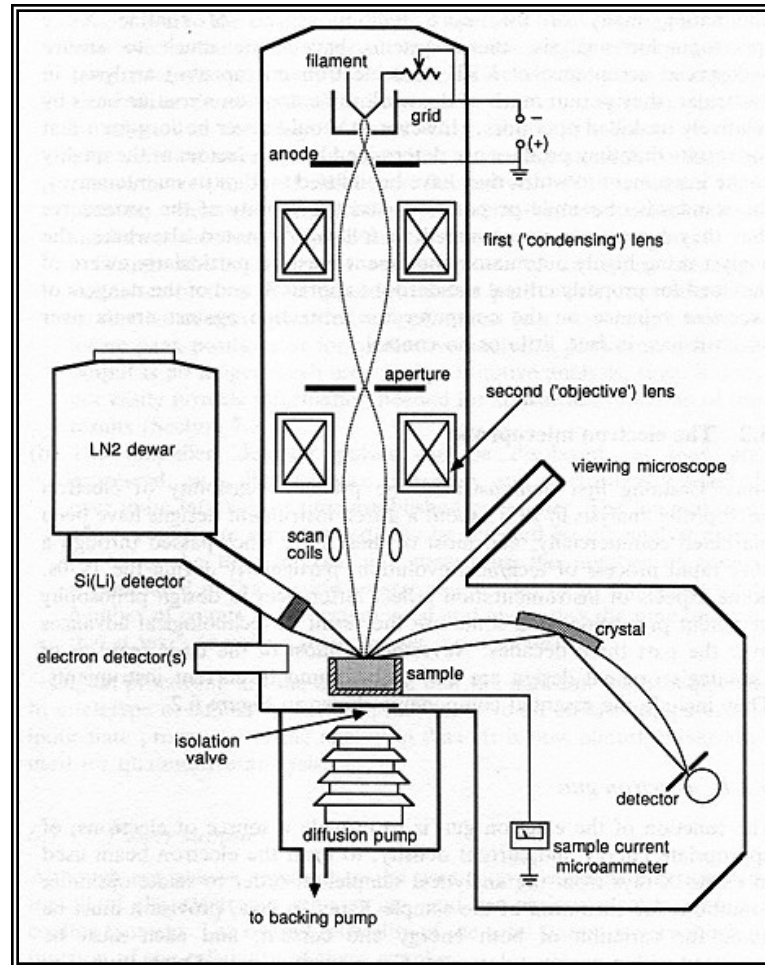
Ize minimalizovat vložením clony před čočku



Chromatic Aberration

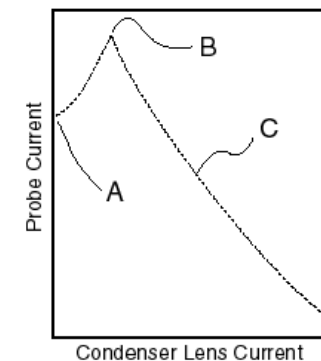
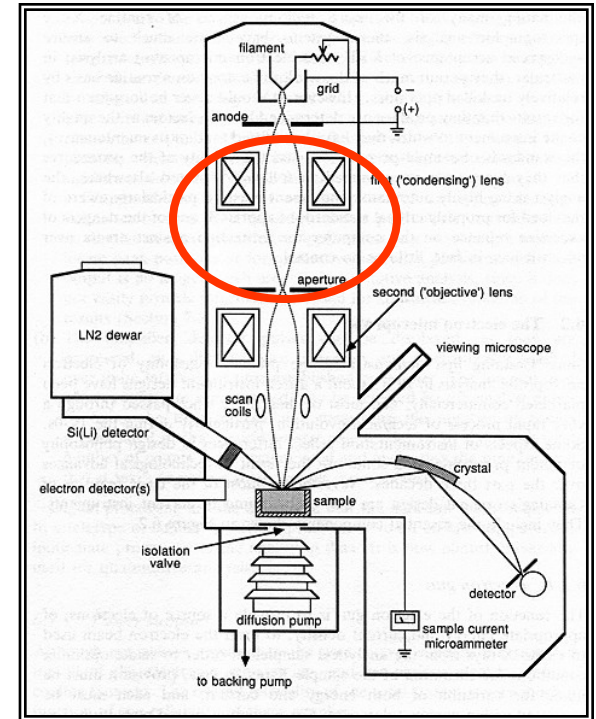
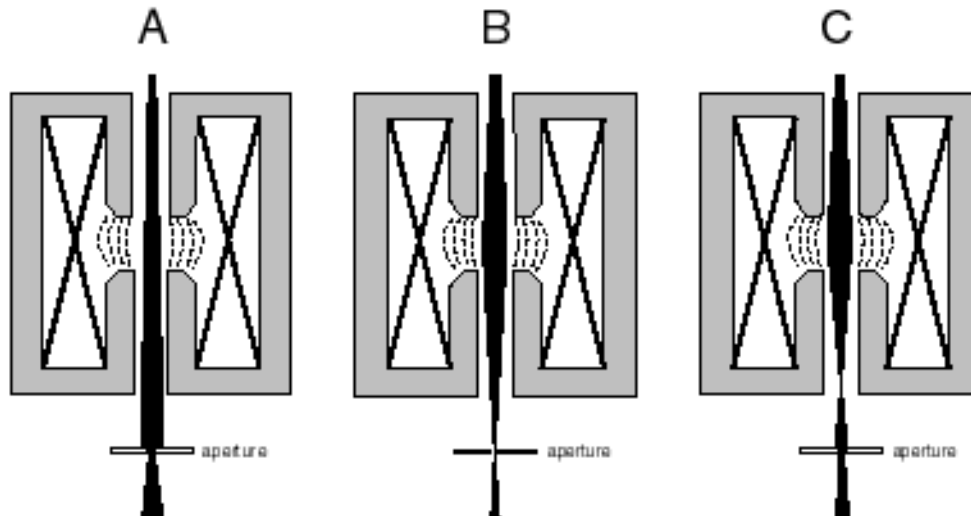
je minimální, protože elektrony mají stejnou energii

elektronová optika



kondenzorová čočka

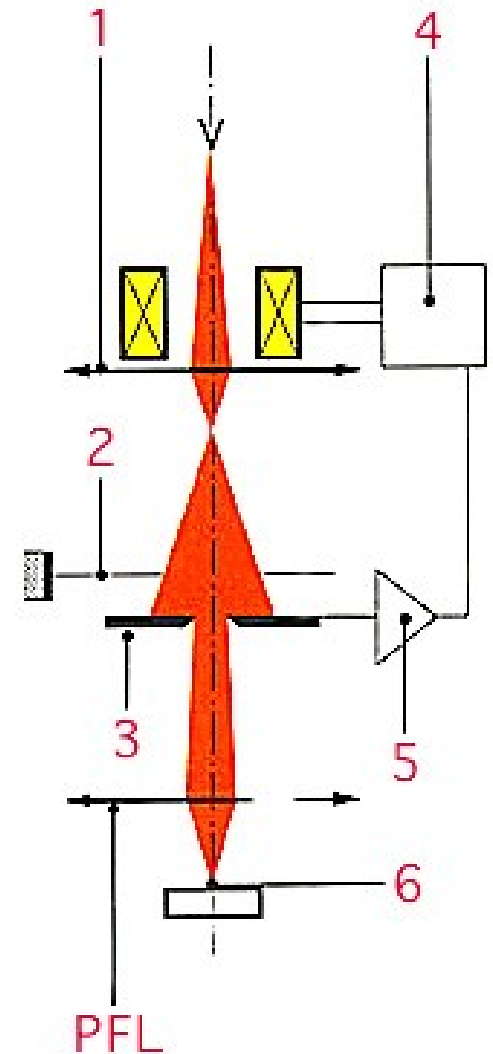
- el. svazek je po průchodu anodou značně divergentní a pro je třeba jej zkolimovat
- změnou ohniska kontroluje množství elektronů, které projdou clonou
 - změna proudu elektronů (X0 pA-X00 nA)
 - hrubá regulace proudu



dodatečný regulátor proudu

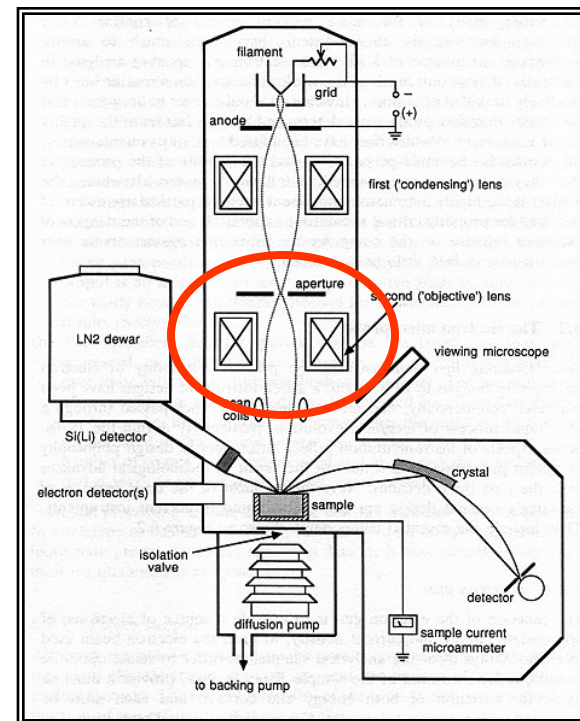
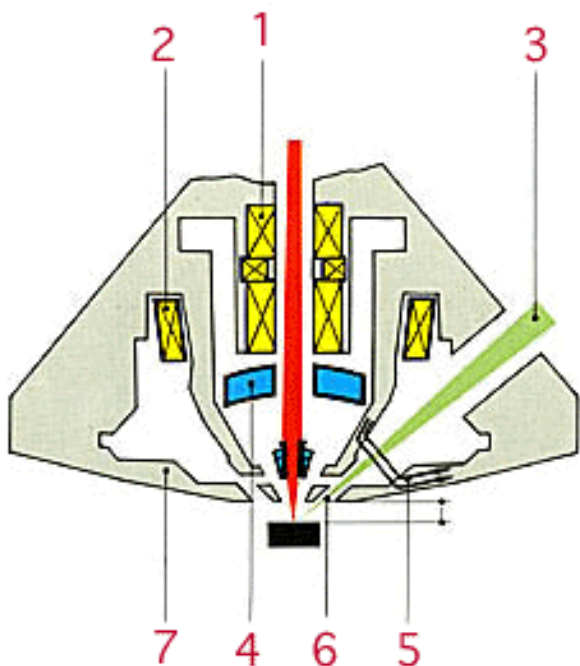
fluktuace žhavicího proudu katody
nebo proudu elmg. čoček může způsobit
variace proudu elektronového svazku.

- 1-kondenzorová čočka
- PFL-probe forming lens-objektivová čočka
- 2-omezující clona regulátoru
- 3-sběrná clona regulátoru
- 4-zdroj proudu elmg. čočky
- 5-zesilovač, elektronika
- 6-vzorek



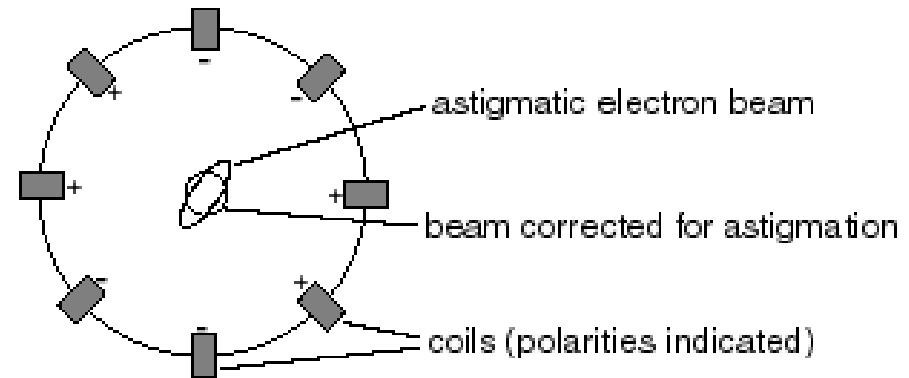
objektivová čočka

- čočka, ktorá určuje fokusaci elektronového svazku na vzorek, popřípadě průměr svazku

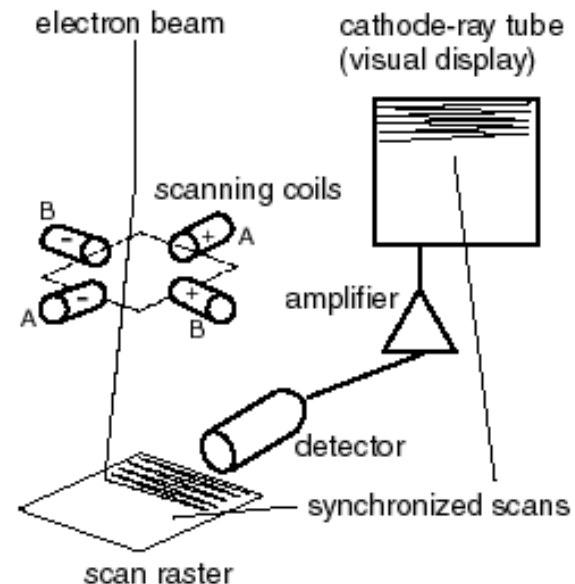


vychylovací cívky a stigmátor

- stigmátor – soustava cívek korigující aberace elmg. čoček, nehomogenitu a tvar svazku elektronu



- vychylovací cívky provádí rastrování svazku elektronů po vzorku



SX 100

ELECTRON PROBE MICROANALYZER

