Elektromagnetická čočka

Elektromagnetická čočka byla teoreticky navržena německým fyzikem Hansem Buschem, který o svém nápadu psal v roce 1926 v časopise *Archives Elektrotechnik*.

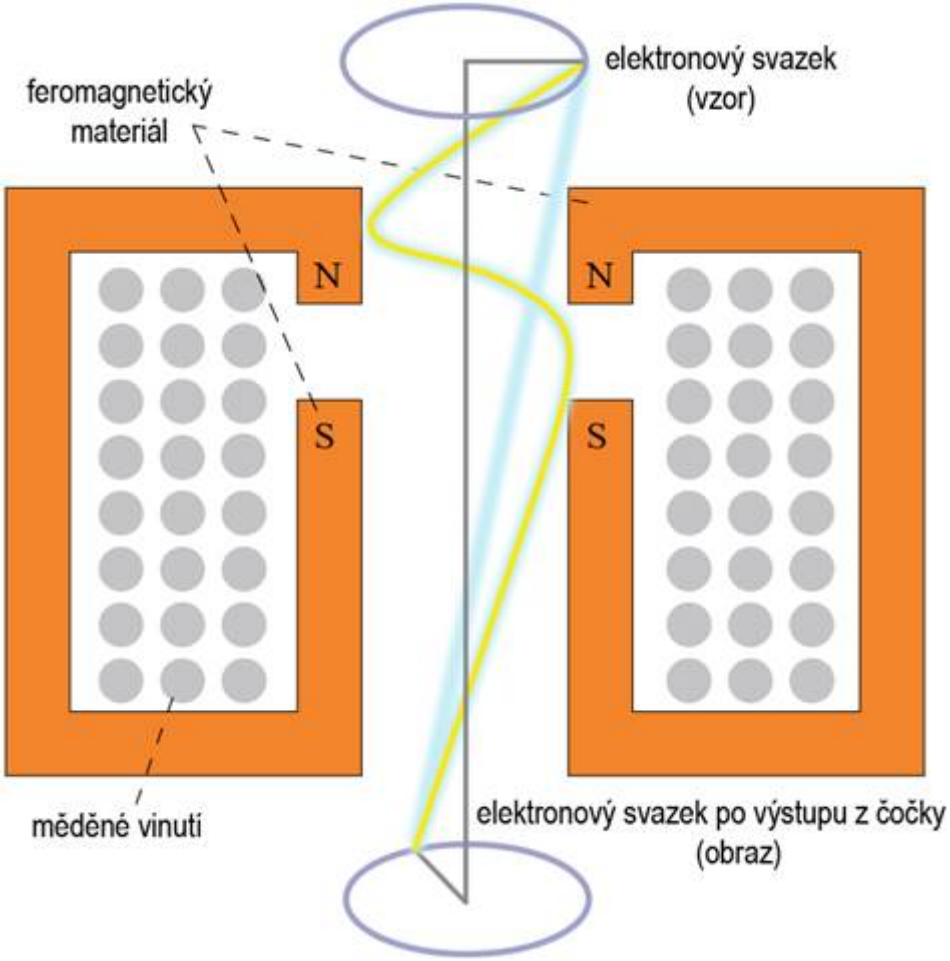
Elektromagnetické čočky ve svém nehomogenním magnetickém poli ovlivňují trajektorii prolétávajících nabitých částic.

Dále bude princip činnosti čočky popsán na pohybujících se elektronech, které se využívají právě v SEM. Na kladně nabité částice (např. protony) by elektromagnetická čočka působila analogicky.

Nehomogenní magnetické pole je zde vytvářeno pomocí cívky, která je magneticky odstíněna od svého okolí pláštěm z feromagnetického materiálu. Uvnitř čočky je v jejím plášti štěrbina. Rozměry štěrbiny a buzení cívky určují velikost a tvar magnetického pole vznikajícího v cívce. Vzhledem ke geometrickým vlastnostem cívky je magnetické pole vytvářené touto cívkou válcově symetrické. Vinutí cívky je vyrobeno z měděného drátu.

Na obr. 196 je zobrazen schematický nákres elektromagnetické čočky a průchodu svazku elektronů. Ačkoliv se pohyb elektronů v cívce, kterou je tato čočka tvořena, řídí magnetickou silou, která působí na pohybující se částici s elektrickým nábojem, je trajektorie elektronového svazku poněkud komplikovaná. To vyplývá z faktu, že elektromagnetická čočka vytváří nehomogenní magnetické pole s proměnnou magnetickou indukcí (proměnný je přitom jak směr, tak její velikost).

V každém místě, v němž se elektron v elektromagnetické čočce nachází, bychom mohli použít pravidlo levé ruky a určovat orientaci magnetické síly působící na pohybující se elektron. Problém je, že průběh magnetických indukčních čar, kterými lze popsat magnetické pole vytvořené cívkami, je v tomto případě poměrně komplikovaný.



Obr. 196

Jak je naznačeno na obr. 196, dva elektrony, které vycházejí z téhož místa, ale které se liší rychlostí svého pohybu, se pohybují po odlišných trajektoriích. Pokud bychom srovnali vliv této čočky na elektrony s vlivem klasické čočky na světelné paprsky vycházející z téhož místa předmětu, získali bychom v tomto případě nejen převrácený obraz, ale také obraz, který je oproti předmětu natočen.

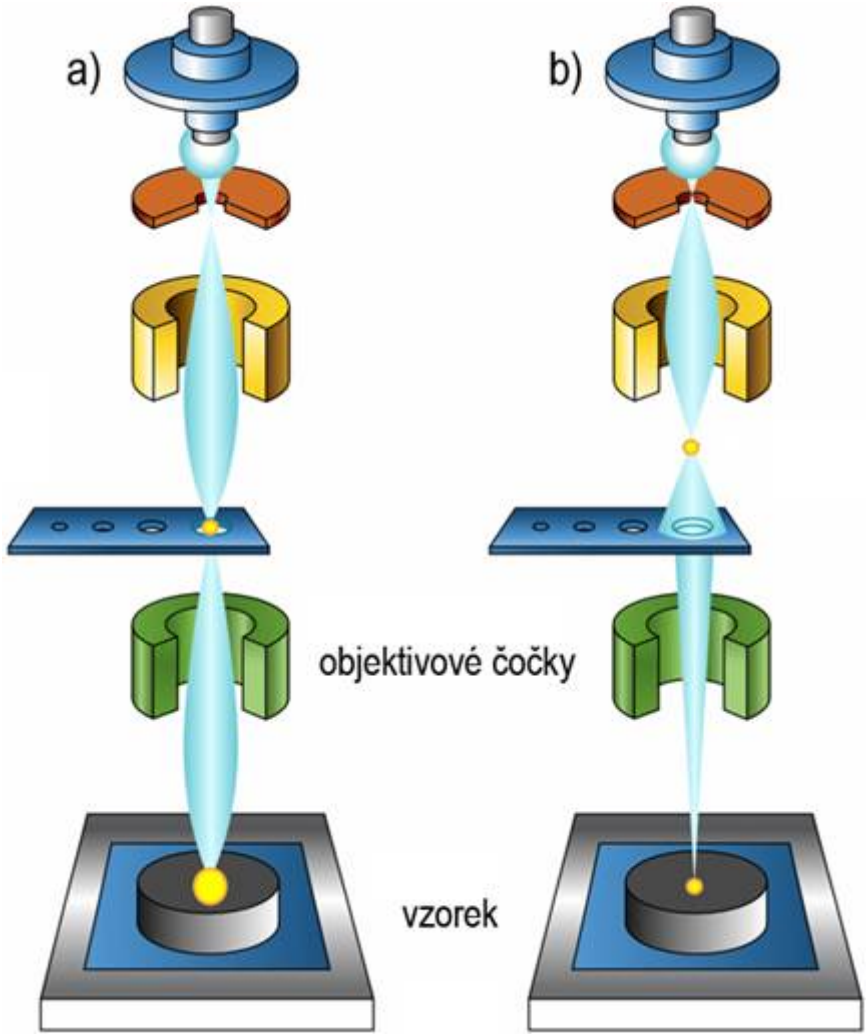
To je zřejmé ze schématu zobrazeného na obr. 196.

Je-li elektromagnetická čočka použita jako kondenzorová čočka, je jejím hlavním úkolem převést svazek elektronů na sbíhavý svazek.

Sbíhavý svazek se lépe fokusuje, ale na příslušnou fokusaci je zapotřebí energie - elektrony mají stejné náboje, a proto mají tendenci se navzájem odpuzovat.

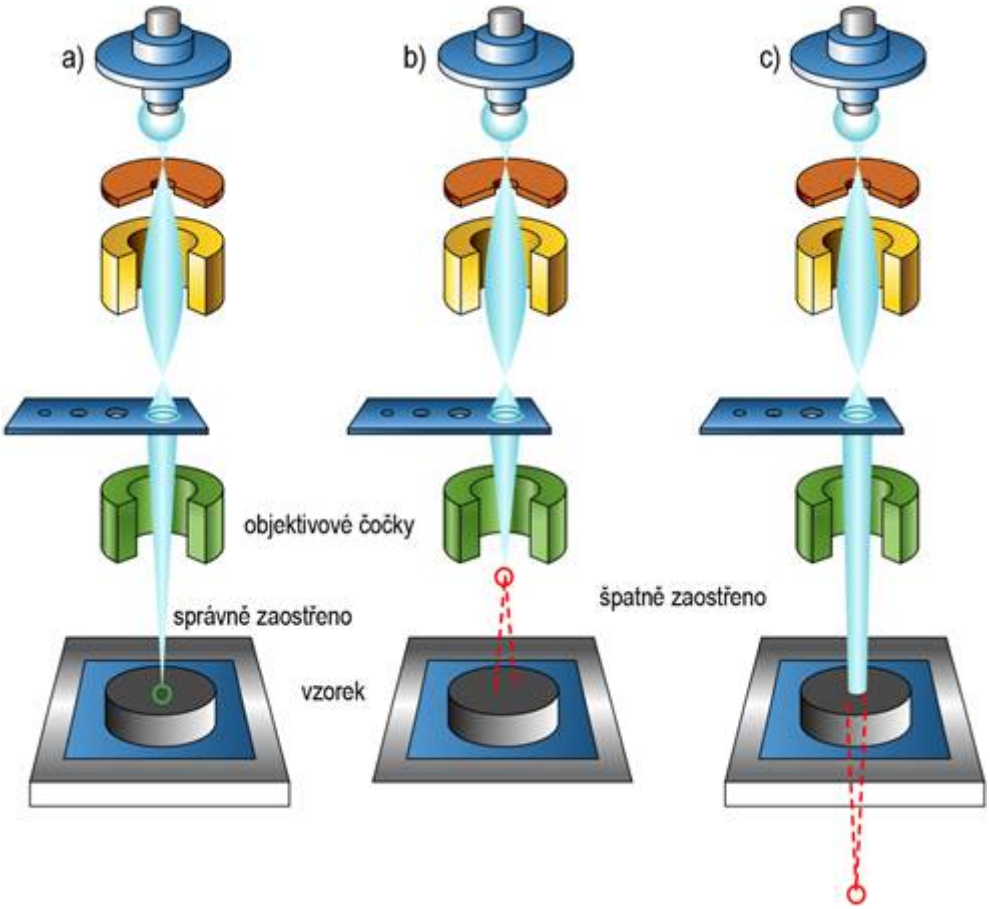
Interakce magnetického pole elektromagnetické čočky s elektronovým svazkem určuje vlastnosti svazku při samotné interakci svazku se zkoumaným vzorkem. Sbíhá-li se svazek v relativně krátké vzdálenosti od čočky, lze svazek elektronů fokusovat v místě dopadu na vzorek na relativně malý průměr (viz obr. 197b). Sbíhá-li se svazek elektronů ve větší vzdálenosti od čočky, vytvoří svazek na vzorku stopu s větším poloměrem (viz obr. 197a).

Při srovnání s optikou tak můžeme mluvit o různé ohniskové vzdálenosti čočky.



Obr. 197

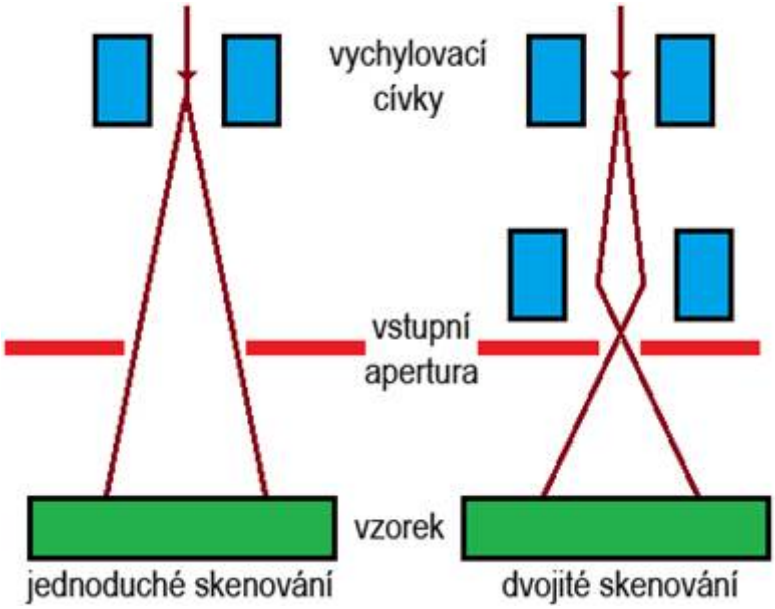
Je-li elektromagnetická čočka použita jako objektivová čočka, musí zajistit fokusaci svazku elektronů na zkoumaný vzorek. Jedině v případě, že bude svazek elektronů fokusován přesně na povrchu vzorku (viz obr. 198a), získáme maximální možné rozlišení mikroskopu. Objektivové čočky pracují ve shodě s kondenzorovými čočkami a oba typy čoček musejí být správně nastaveny.



Obr. 198

K vytvoření obrazu vzorku je zapotřebí systém, který bude vzorek zkoumat bod po bodu. Tento skenovací systém je tvořen dvěma páry vychylovacích cívek. Ty mění trajektorii svazku elektronů tak, že se elektronový svazek nad zkoumaným vzorkem pohybuje postupně po jednotlivých „řádcích“. Na základě interakce s atomy vzorku dopadající elektrony generují různé typy signálů, které jsou zaznamenávány detektory. Takto vznikající signál přináší informaci o obdélníkovém obrazu povrchu vzorku a je zobrazován na obrazovce počítače, který činnost SEM řídí.

První pár cívek vychyluje svazek elektronů mimo osu mikroskopu (po níž se svazek elektronů šíří) ve směru osy *x*, druhý pár cívek vychyluje svazek ve směru osy *y* (tj. v kolmém směru). Pro použití co nejmenší vstupní apertury objektivu se používá dvojité skenování, jehož princip je schematicky zobrazen na obr. 199. Menší vstupní apertura přitom snižuje vady čočky (např. kulovou vadu).



Obr. 199

Stejně jako existují vady čoček v optice, i elektromagnetické čočky mají své vady. Ty jsou principiálně stejné, jako jsou vady čoček používané v optice. Příčinou vzniku vad u elektromagnetických čoček je:

1. různá rychlost (směr i velikost) elektronů v rámci svazku;
2. vzájemná interakce elektronů ve svazku;
3. kolísání napětí, které řídí jednotlivé elementy čočky;
4. kolísání budícího elektrického proudu.

Korekce vad se provádí stabilizací hodnot budícího elektrického proudu a elektrického napětí a průběžným sledováním vlastností svazku.

Elektromagnetické čočky jsou nastaveny tak, že objektiv mikroskopu má velkou hloubku ostrosti, což znamená, že je schopen zobrazit ostře předměty z relativně velkého intervalu vzdáleností. S rostoucím zvětšením mikroskopu pak hloubka ostrosti klesá.

U světelného mikroskopu při 10tinásobném zvětšení je hloubka ostrosti přibližně 0,5 mm. U elektronového mikroskopu je hloubka ostrosti v řádu centimetrů. U světelného mikroskopu při zvětšení 500 klesne hloubka ostrosti řádově na desetiny mikrometru, u elektronového mikroskopu klesne hloubka ostrosti na tuto hodnotu při zvětšení řádově 100000.

© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.