Transmisní elektronový mikroskop

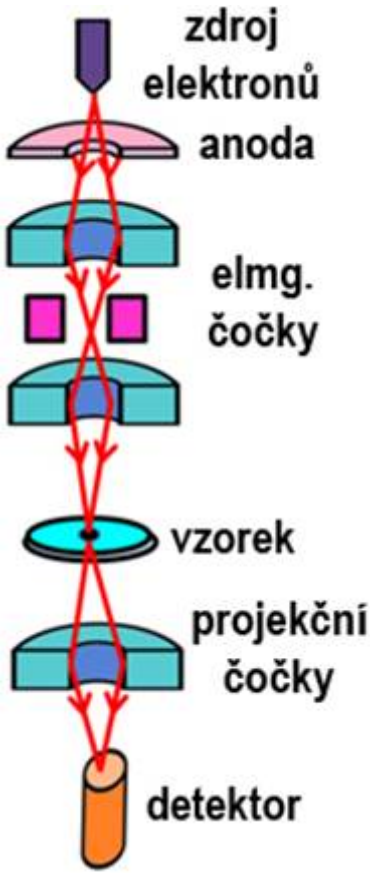
První komerčně využitelný transmisní elektronový mikroskop byl vyroben v roce 1939 firmou Siemens. Tento typ mikroskopu je svou konstrukcí a principem činnosti bližší světelnému mikroskopu, který zobrazuje pro světlo průsvitný vzorek. V TEM jsou zkoumány vzorky, které musejí být pro elektrony také „průsvitné“.

Základní princip činnosti TEM, který je schematicky zobrazen na obr. 210, je stejný jako princip činnosti SEM.

Základem je zdroj elektronů, který produkuje tzv. primární elektrony. Ty jsou ještě před opuštěním zdroje elektronů zformovány do svazku, v němž jsou elektrony s přibližně stejnou kinetickou energií. Svazek elektronů je urychlován pomocí anody, která současně formuje i trajektorii elektronů. Elektromagnetické čočky udržují elektrony na správné trajektorii a současně svazek elektronů fokusují tak, aby po dopadu na vzorek vytvořil tento svazek stopu s minimálním průměrem.

Zásadním rozdílem vzhledem k SEM je umístění a vlastnosti vzorku. Elektrony se vzorkem interagují a procházejí do dalších částí elektronového mikroskopu. Pomocí projekčních čoček jsou formovány tak, aby většina elektronů dopadla do detektoru. S využitím počítačové techniky je pak vytvářen obraz snímaného vzorku.

> U SEM se tedy elektrony primárně odrážejí zpět od vzorku, zatímco vzorkem TEM primárně procházejí.



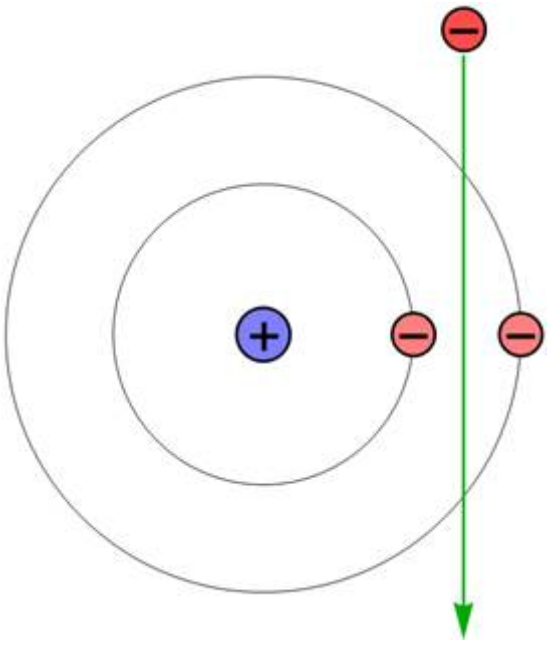
Obr. 210

Elektrony mohou se vzorkem v TEM interagovat podobný způsobem, jaká je interakce s atomy vzorku primárních elektronů v SEM.

Elektrony, které reagují se vzorkem různými způsoby, jsou detekovány odlišně. A proto mohou vytvořit různé typy obrazů téhož vzorku. Z každého typu takového obrazu pak lze vyčíst jiné

informace o zkoumaném vzorku.

První možností interakce je průchod elektronů vzorkem (viz obr. 211). Takto prošlé elektrony nepředávají vzorku svou energii; tu předají až detektorům, ve kterých jsou detektovány. Tento typ elektronů se podílí na obrazu označovaném jako **BF** (*Back Focal*). Na takto získaných obrázcích odpovídají světlejší plochy místům, kterými snáze procházejí elektrony (prošlých elektronů je detekováno průchodem takovým místem více a elektronika systému detekuje tedy vyšší elektrický proud).



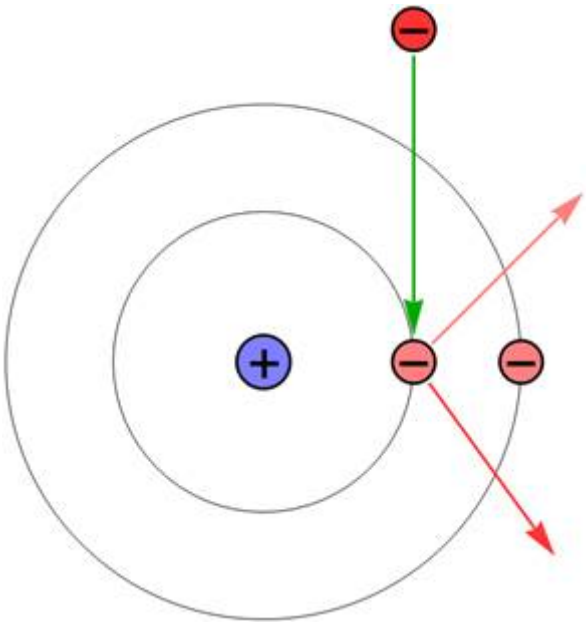
Obr. 211

Druhou možností je absorpce primárního elektronu (viz obr. 212). V tomto případě předává primární elektron svou kinetickou energii jinému elektronu v elektronovém obalu atomu vzorku. Elektron, který od primárního elektronu energii přijme, přechází na vyšší energetickou hladinu.

Další osud tohoto elektronu je závislý na energetickém stavu, ve kterém se atom nachází. Elektron (na vyšší energetickou hladinu excitovaný nebo další, který byl excitován předešlým) může obsadit nejbližší vyšší volnou energetickou hladinu atomu, a nebo může atom opustit a z atomu se stane iont.

I absorbované elektrony se podílejí na tvorbě BF obrazu.

Absence elektronů znamená nižší elektrický proud procházející systémem, a tedy se příslušné místo vzorku na obraze bude jevit tmavší.



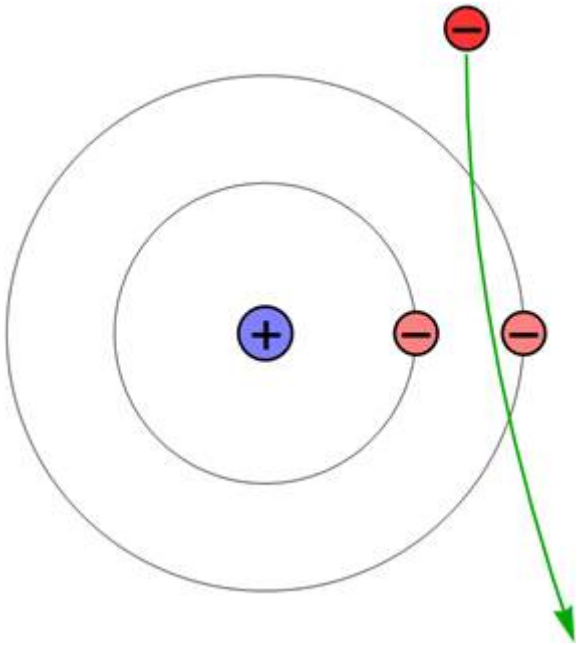
Obr. 212

Třetí možností interakce elektronu s materiálem vzorku je nepružný rozptyl elektronu v elektrostatickém poli ostatních elektronů (viz obr. 213) nebo pružný rozptyl v elektrostatickém poli atomového jádra. V případě nepružného rozptylu primární elektron předává část své energie ostatním elektronům.

Závisí totiž na vzájemné hmotnosti interagujících objektů. Analogický příklad: interakce dvou korálků (nepružná srážka) a nebo interakce korálku a velkého gymnastického míče (pružná srážka).

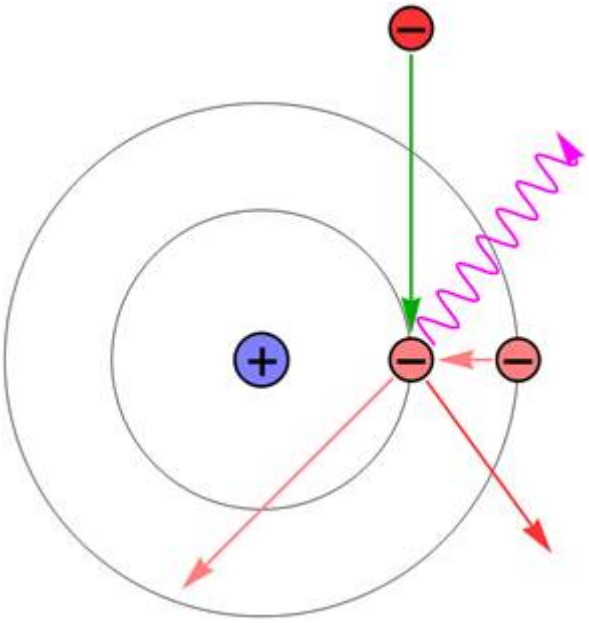
V případě nepružné srážky, při níž odevzdává elektron část své energie okolí, roste de Brogliehо vlnová délka takového elektronu.

Tento typ interakce se podílí na vzniku **DF** (*Dark Fieldd*) obrazu; na něm jsou světlé plochy odpovídající místům vzorku, která rozptylují elektrony. Současně má tento typ interakce vliv i na **ED** (*Electron Diffraction*) obraz, který je dán difrakcí elektronů. Při záznamu tohoto typu obrazu jsou čočky objektivu zaostřeny na difrakční obraz a ne na přímý obraz (BF obraz).



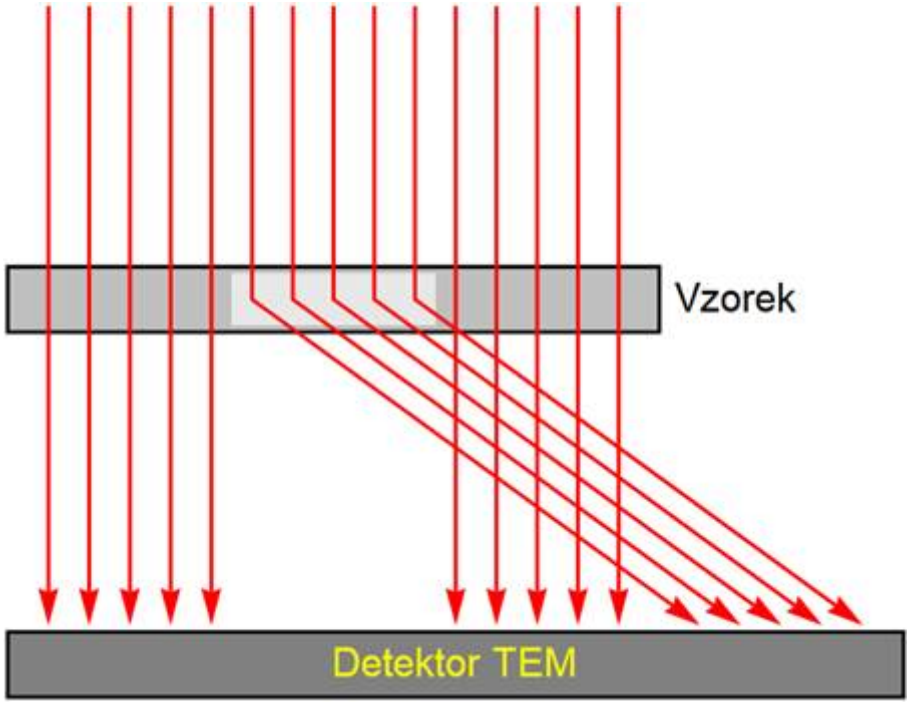
Obr. 213

Čtvrtou možností interakce primárních elektronů s elektrony v atomovém obalu atomů vzorku je vznik charakteristického rentgenového záření. Primární elektron vyrazí jiný elektron na nižší energetickou hladinu (nebo z atomu ven) a na jeho místo přejde elektron z vyšší energetické hladiny. Při tomto přechodu vyzáří kvantum rentgenového záření (viz obr. 214). Tento typ interakce se podílí na **EDX** (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) obrazu, pomocí kterého lze získat informace o prvcích přítomných ve vzorku. Tento typ interakce je naprosto shodný se SEM.

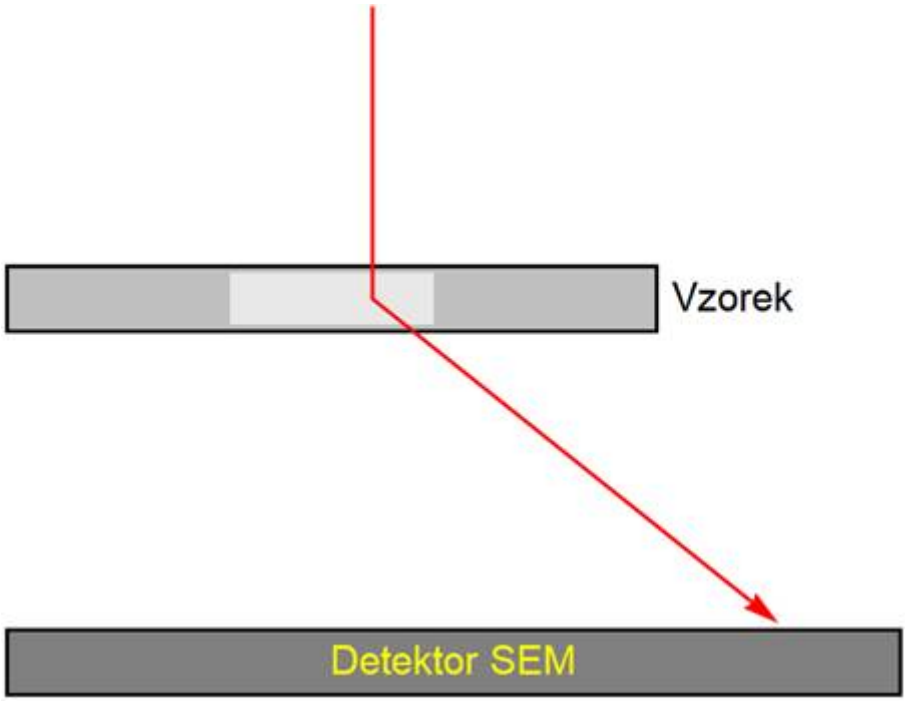


Obr. 214

V případě TEM lze navíc proměřit i difrakci elektronů, která v SEM nenastává. Příčina je jednoduchá: SEM pracuje ve skenovacím režimu a na vzorek tedy dopadá úzký svazek primárních elektronů postupně do různých míst vzorku (vzorek je svazkem elektronů skenován). V TEM dopadají elektrony na výrazně větší plochu povrchu vzorku, a proto mohou po průchodu vzorkem vytvořit difrakční obrazec. Schematicky je tato situace zobrazena na obr. 215 a obr. 216. Je-li zkoumán vzorek krystalu, lze na základě Braggova zákona získat informace o rozměrech krystalické mříže daného krystalu.



Obr. 215



Obr. 216

© 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.