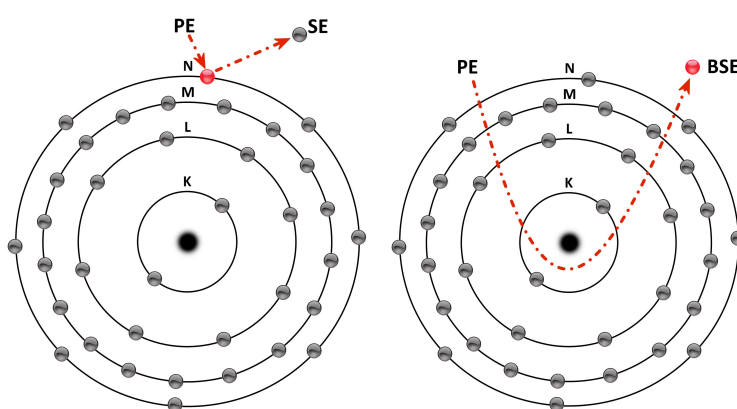


Energiově-disperzní spektroskopie EDX

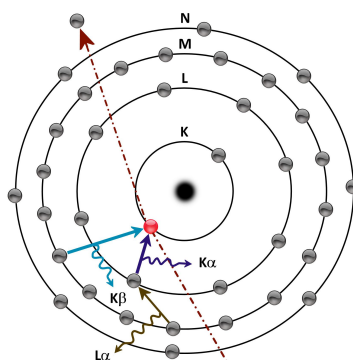
Autor: Jana Jurmanová, Vlasta Štěpánová, Tereza Schmidtová

Elektronové mikroskopy dokáží nejen zobrazit povrch preparátů, ale i určit jejich prvkové složení. Většinou zpracovávají tři typy signálů (Obr. 1), které ve vzorku vzniknou po dopadu primárních elektronů (PE). Sekundární elektrony (SE) vznikají v hloubce do několik nanometrů pod povrchem. Vykreslují topografii vzorku, protože na hraně se jich vytváří víc než v ploše. Zpětně odražené elektrony (BSE) vznikají v hloubce nejvýše do mikrometru, jejich počet je úměrný hmotnosti jader materiálu povrchu. Ukáží na vzorku oblasti výskytu lehčích a těžších prvků.



Obr. 1 Schématický náčrt proměny primárních elektronů (PE) dopadem na vzorek. Vlevo sekundární elektrony (SE) a napravo zpětně odražené elektrony (BSE - BackScattered Electrons).

Charakteristické rentgenové záření (Characteristic X-ray) umožňuje určit prvkové složení vzorku (Obr. 2). Vznikne po vyražení elektronu z vnitřní slupky elektronového obalu atomu a seskoku jiného elektronu na vyprázdněné místo. Uvolněná energie při tomto ději se vyzáří v podobě fotonu rentgenového záření a její hodnota je jedinečná pro daný prvek, který analyzujeme.



Obr. 2 Schématický náčrt principu charakteristického rentgenového záření.

Jedna z technik detekce a vyhodnocení tohoto děje se označuje EDX (energiově-disperzní spektroskopie). Výstup této analýzy (spektrum z daného bodu vzorku) lze vizualizovat například jako spektrum podél význačného směru (linescan) nebo jako spektrum z plochy

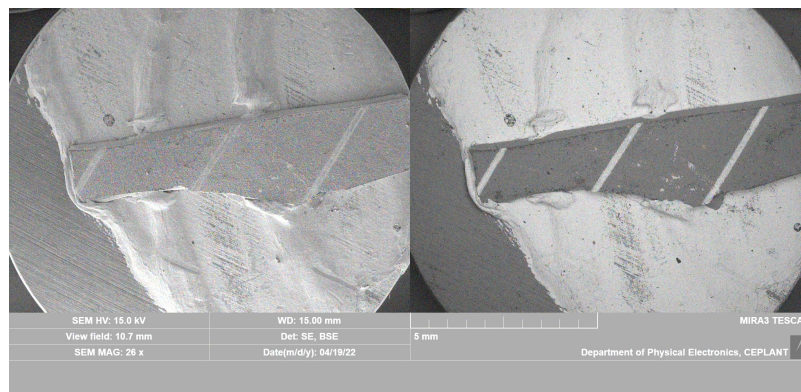
vzorku (mapa). Prvkové mapy se pro větší názornost barví nepravými barvami - co prvek, to jiná barva.

EDX analýza je poslední a klíčovou metodou, jak pomocí elektronové mikroskopie zjistit prvkové složení vzorku. Operátor mikroskopu už v průběhu snímkování pomocí sekundárních a zpětně odražených elektronů získá indicie, zda má smysl tuto metodu použít.

Studie polovodičových součástek

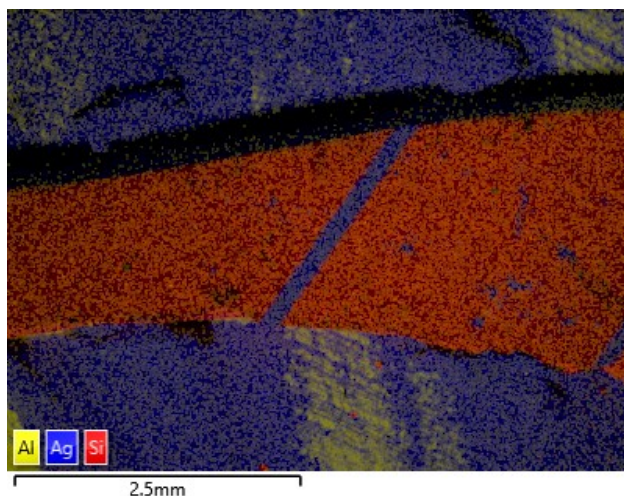
Polovodičové součástky jsou častým objektem pro elektronovou mikroskopii. Lze na nich snadno ukázat, jak operátor elektronového mikroskopu pracuje.

První preparát, který chceme zobrazit, je kousek solárního článku s dobře viditelnými třemi kontakty. Byl přilepen stříbrnou lepicí pastou pro elektronovou mikroskopii na hliníkový držáček. Následně ho operátorka vyfotila na nejmenším možném zvětšení, kterého mohla dosáhnout v analytické pracovní vzdálenosti.



Obr. 3 Snímek úlomku solárního článku na minimálním zvětšení

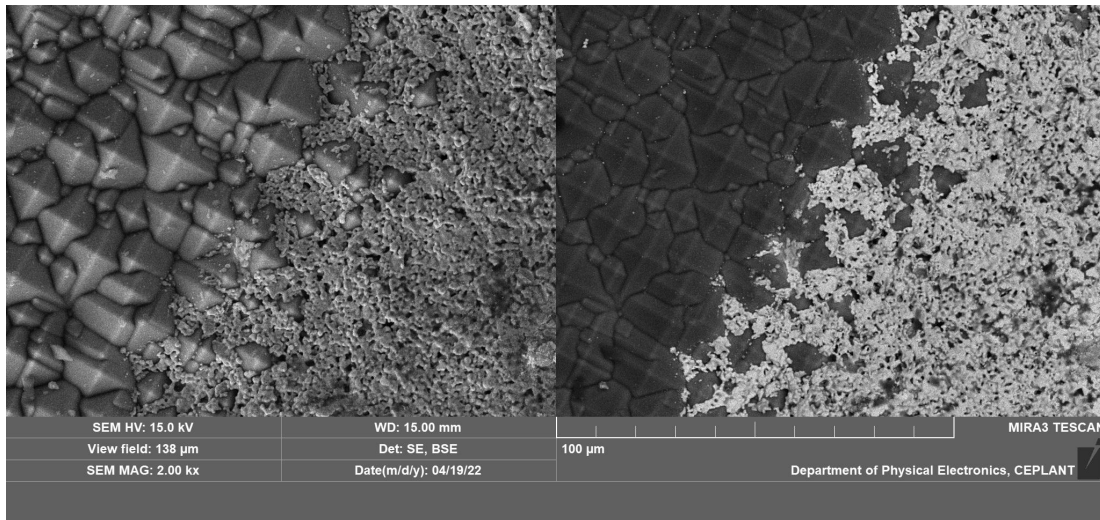
Článek je na Obr. 3 zobrazen pomocí dvou detektorů - SE a BSE. Jak bylo vysvětleno výše, snímek pomocí sekundárních elektronů pěkně zobrazuje topografii: vlastní úlomek je nejvíce nahoře, pasta a držák pod ním, tři kontakty jsou na povrchu článku (Obr. 3 vlevo). Snímek pomocí zpětně odražených elektronů (Obr. 3 vpravo) napovídá, že pasta a kontakty jsou z těžšího materiálu než držák a vlastní solární článek, protože detektor je zobrazuje jako světlejší.



Zbývá provést prvkovou EDX analýzu a preparát vyhodnotit. Na Obr. 4 je výřez ze středu preparátu. Na první pohled zaujme, že kontakty a lepicí pasta jsou ze stejného materiálu, který obsahuje většinu stříbra (atomové číslo 47, zvolena tmavě modrá barva). Materiál křemíkového čipu a vlastního držáčku se na snímku BSE elektrony příliš neliší a EDX analýza to potvrdila. Materiál držáčku prosvítá skrz pastu a jde o hliník (atomové číslo 13) a vlastní čip je, celkem předvídatelně, křemíkový (atomové číslo 14).

Obr. 4 EDX mapa vzorku - vybrané důležité prvky

Na vystaveném posteru je prvková mapa křemíkového čipu při daleko větším zvětšení (2 000x). Jak vypadají snímky v SE a BSE elektronech, vidíme na Obr. 5.



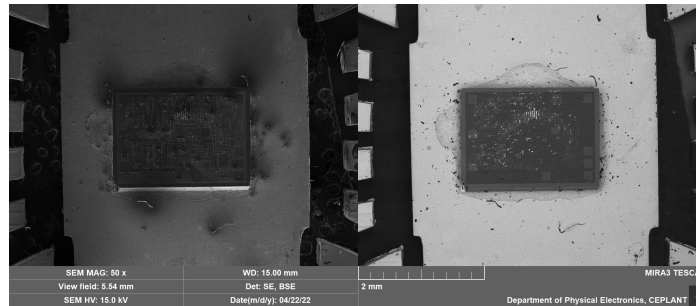
Obr. 5 SE a BSE snímek rozhraní polovodič - kontakt. Křemík je polykrystalický (typická struktura, SE detektor ji zobrazuje díky své poloze v komoře krásně plasticky).

Celé prvkové složení je ovšem zajímavější, než v krátkém popisku vystaveného posteru. Celkové složení vypovídá o všech procesech, kterými křemíkový čip během výroby prošel. Obr. 6 ukazuje možnosti prvkové analýzy přímo v pracovním okně pro EDX analýzu na počítači.



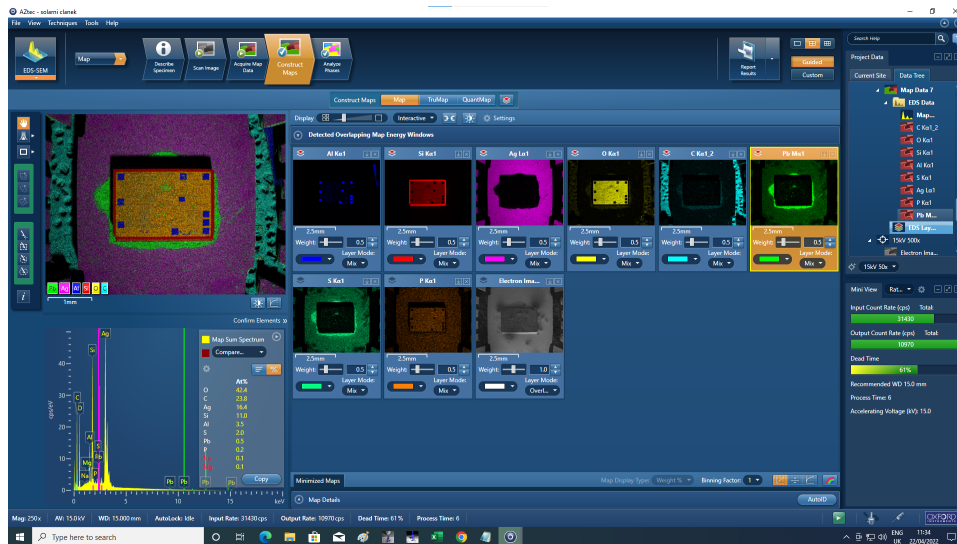
Obr. 6 Kompletní prvková analýza čipu a kontaktu. Snímek okna programu pro EDX analýzu, se kterým operátor SEM pracuje.

Solární článek je jedna z jednodušších elektronických součástek. Podstatně zajímavější je integrovaný obvod na Obr. 7 (pro znalce: TTL MH 7400). Už kontrast SE a BSE snímku napovídá užití lehčích a těžších materiálů, které tvoří daleko složitější plošnou strukturu.

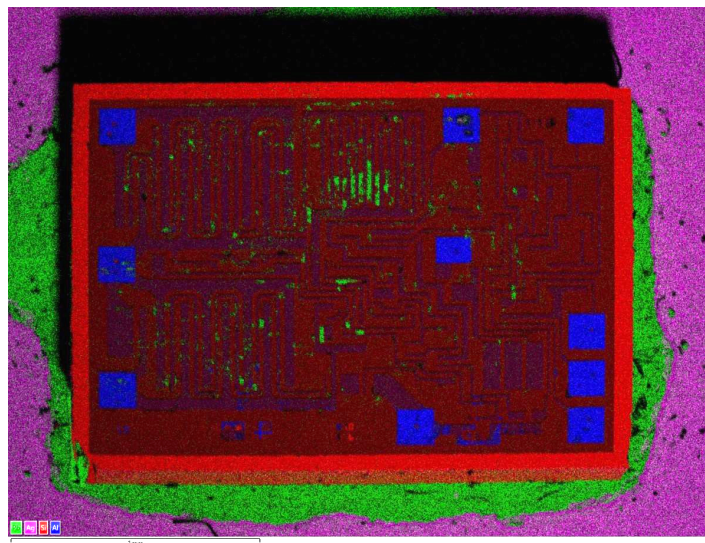


Obr. 7 Snímek integrovaného obvodu na zvětšení 50x

Vytvořená prvková mapa (Obr. 8) to potvrzuje. Kontakty mezi jednotlivými oblastmi křemíkového čipu jsou hliníkové, podkladová deska je stříbrná. Perlička pro fyziky - jedná se o polovodič je typu P, dopovaný fosforem.



Obr. 8 Prvková mapa na zvětšení 50x



Obr. 9 Prvková mapa na zvětšení 200x - vybrané prvky