

Určení tloušťky zlaté vrstvy pomocí metody RBS

J. Buben, Gymnázium Jana Nerudy, jachym.buben@outlook.cz
K. Bednář, Střední průmyslová škola Třebíč, bednark.05@spst.eu
L. Bobková, Střední průmyslová škola Třebíč, bobkolal.06@spst.eu

Červen 2023

Abstract

Metoda RBS využívá měření odrazu urychlených částic od terčíku. Pomocí studia změn energie odražených částic určujeme materiál terčíku do hloubky několika μm . V naší práci určujeme tloušťku zlaté vrstvy napařené na křemíkovém substrátu.

1 Úvod

Jedná se o nezničující a vysoce citlivou metodu, která poskytuje kvantitativní a kvalitativní informace o elementárním složení materiálu. Metoda byla vyvinuta a poprvé použita v roce 1961 fyziky Albertem Overnérem a Gustavem Sigmundem a vychází z poznatků a objevů fyzika Ernesta Rutherforda, který ve svých experimentech se zpětným odrazem částic na tenkých fóliích objevil jádro atomu.

2 Princip metody RBS

Metoda Rutherfordova zpětného odrazu (RBS - Rutherford backscattering) spočívá v měření energie odražených částic od terčíku. V našem případě byl jako zdroj částic použit Van de Graaffův urychlovač, částicemi byly protony s (kinetickými) energiemi 1000, 500 a 250 keV.

2.1 Odraz a průchod

Změna energie je popisována tzv. *kinematickým faktorem* k jako $E' = kE$ a pro dokonale zpětný rozptyl platí:

$$k = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right)^2,$$

kde uvažujeme, že urychlená částice s energií E narazí do statické, těžší. E' je energie původně urychlené částice po odrazu, m_2 je její hmotnost a m_1 je hmotnost těžší částice.

Pravděpodobnost, s jakou se částice odrazí daným směrem určuje Rutherfordův rozptyl:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{CMS} = \left(\frac{Z_1 Z_2}{E_{CMS}} \right)^2 \left(\frac{e}{4} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\theta_{CMS}}{2}}$$

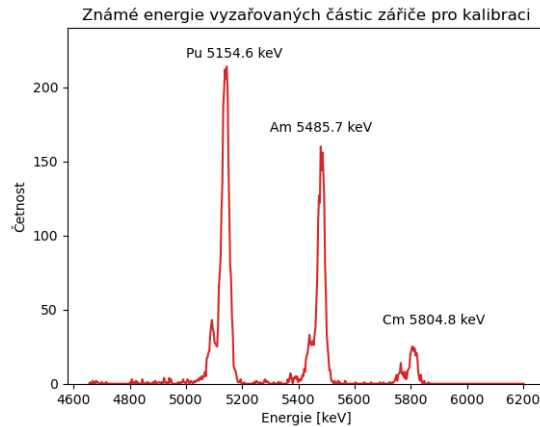


Figure 1: Kalibrační peaky se známými energiemi vyzařování

kde σ je účinný průřez, vztažený na prostorový úhel Ω , Z_1 a Z_2 jsou protonová čísla částic ve srážce, E_{CMS} je energie urychlené částice, e je elementární náboj a θ_{CMS} je úhel odrazu urychlené částice. Díky této rovnici zjistíme relativní četnosti odražených částic do různých úhlů.

Během průchodu látkou je částice zpomalována elektromagnetickými silami, kterými na ni působí nabitě částice v látce. Pokud tedy počítáme odraz od atomu ve vrstvě B nacházející se pod vrstvou A a chceme zjistit energii částice, kterou zachytí detektor, musíme spočítat:

1. ztrátu energie při průchodu vrstvou A k vrstvě B
2. ztrátu energie při odrazu od atomu vrstvy B
3. ztrátu energie při průchodu zpět vrstvou A směrem k detektoru

Ztráta energie při průchodu látkou se najde v tabulkách nebo se simuluje pomocí SW (například TRIM), obvykle se vyjadřuje v jednotkách $\frac{\text{MeV}}{\text{cm}^2\text{g}^{-1}}$.

2.2 Detektor

Pro měření energetických spekter a jejich četností jsme použili polovodičový detektor částic. V našem případě byla detektorem křemíková dioda zapojená v závěrném směru. Pokud detektorem proletí částice, dochází k ionizaci, která způsobí změnu napětí. Platí, že čím energetičtější částice byla, tím víc volných nosičů náboje vyrazila a tím byla naměřená odchylka napětí větší.

2.3 Kalibrace

Detektor je nutno vždy před novou sestavou experimentu zkalibrovat, to se dělá normovaným alfa-zářičem, který za každých okolností vyzařuje částice se stále stejnými energiemi. Při měření napěťových pulzů na detektoru, se tak objevují charakteristické peaky (Figure 1).

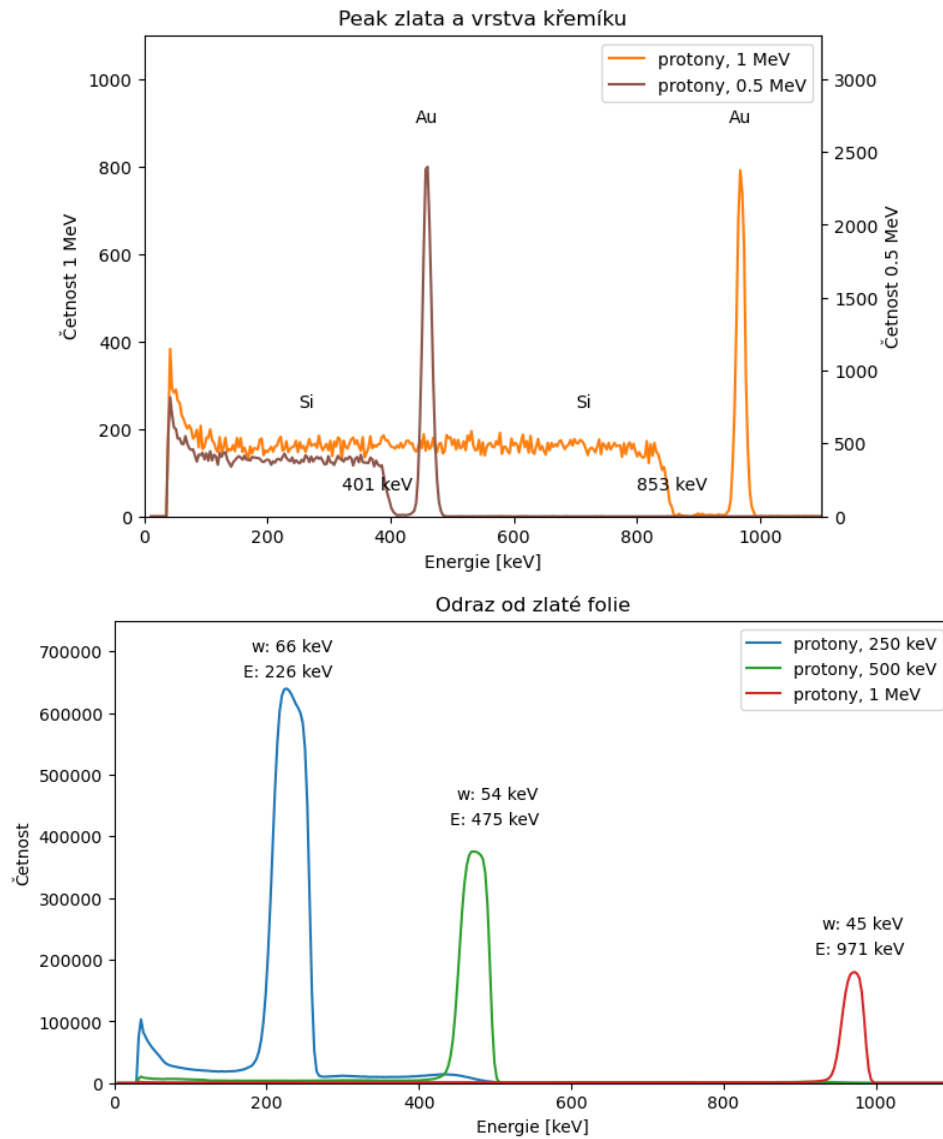


Figure 2: Četnost odrazů částic s danou energií, je vypočítána šířka a pozice jednotlivých peaků

3 Určení hloubky vrstvy

3.1 Vyvození z grafu

Výsledkem našeho měření jsou grafy, jež určují četnost odražených částic v závislosti na jejich energii. Naším cílem je však získat informaci o tloušťce a složení vrstvy vzorku.

Tyto informace jsme schopni vyčíst z grafu, a to sice tak, že za správné kalibrace detektoru odpovídají šířky jednotlivých peaků tloušťkám jednotlivých vrstev.

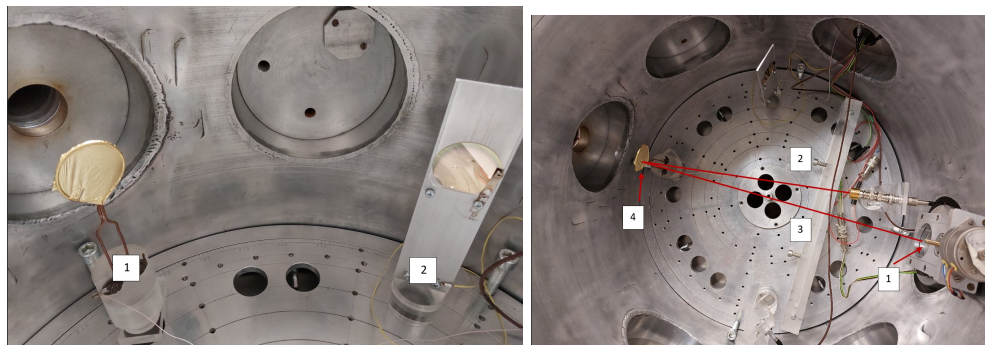


Figure 3: Použité vzorky (zlatá folie a zlato napařené na křemíku, vpravo poté znázorněný způsob měření odražených částic

3.2 Vzorky

Pro učení povrchového složení jsme si zvolili dva vzorky. Jedním byla zlatá (samonosná) fólie o tloušťce asi 135 nm a druhým byla zlatá vrstva (asi 50 nm) napařená na křemíkový substrát. Jelikož jsme při měření tloušťky zlaté vrstvy na křemíku použili detektor s nepřesností asi 30 keV, bylo možné šířku vrstvy určit pouze horním odhadem (peak měl totiž šířku právě okolo 30 keV), což nám vyšlo okolo 100 nm. Výpočty se nám ale podařilo potvrdit, že vrstva pod zlatem je křemík. U samotné zlaté folie nám šířka vrstvy vyšla 130 nm, výsledek je zde znovu pouze odhadem.

4 Výsledky

Odhadli jsme šířky vrstev napařené zlaté vrstvy na křemíku a samotné zlaté folie pomocí RBS metody, jednalo se však pouze o řádový odhad. Potvrdili jsme látky, ze kterých byl terčik složen.

5 Poděkování

Děkujeme pracovníkům Ústavu technické a experimentální fyziky při ČVUT v Praze, panu Rudolfu Sýkorovi, Tomáši Slavičkovi, Zdeněku Kohoutovi. Dále organizátorům TV@j Vojtěchu Svobodovi, Karlu Koláři.

6 Reference

[1] MAYER, M. Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS). Trieste, Německo, 2003. Workshop on Nuclear Data for Science and Technology.

Rutherford Backscattering of Thin Films. <https://chem.libretexts.org/> [online]. [cit. 2023-06-20].

Dostupné z: https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Physical_Methods_in_Chemistry_and_NanoScience