

Příprava a měření nanovrstev

T. Odstrčil, O. Pavelka, M. Pokorný
Gymnázium Elišky Krásnohorské, Praha, Gymnázium tř. Kpt. Jaroše,
Brno, Gymnázium Děčín
tom@cbox.cz, xpavel02@gmail.com, mp@decin.cz

Abstrakt:

Práce představuje přípravu nanovrstev stříbra napařením na vrstvu Mylaru (PET) a následné měření tloušťky těchto vrstev rozptylem protonů.

1 Úvod

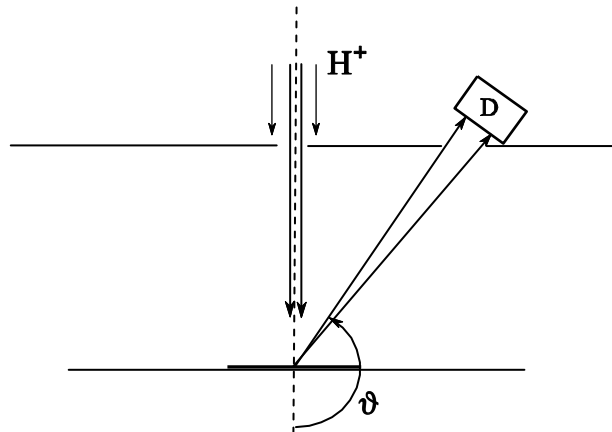
Vakuové napařování je jednou ze základních technologií přípravy tenkých vrstev, vrstev o tloušťce menší než asi 100 nm tzv. nanovrstev, patří mezi nanotechnologie. Při vakuovém napařování se napařovaný materiál ohřeje na teplotu, při níž tlak nasycených par je řádově 1 Pa. Odpařený materiál kondenzuje na podložce. Samotné napařování se provádí ve vysokém vakuu, aby zbytková atmosféra nerušila transport napařovaného materiálu na podložku a aby s ním chemicky nereagovala.

2 Příprava vzorků

Tenká vrstva stříbra se vytvářela na tenké Mylarové fólii o tloušťce 1,5 μm , která byla uchycena na kruhový rámeček z hliníkového plechu. V napařovačce byl rámeček umístěn 123 mm nad vaničkou s napařovaným materiálem. Napařovaný materiál byl připraven 4,8 mm dlouhého stříbrného drátu o průměru 0,5 mm. Délka byla určena za předpokladu, že vypařování materiálu je izotropní v horním poloprostoru a že ve vzdálenosti 123 mm by napařovaná vrstva měla mít tloušťku asi 10 nm. Při tlaku $5 \cdot 10^{-3}$ Pa v napařovačce se v keramické vaničce ze slinutého korundu zahřál stříbrný drátek nad teplotu tání stříbra (cca 961 °C). Samotné napařování trvalo asi 1 minutu, za kterou se celý vzorek spolehlivě vypařil. Napařená vrstva vytvořila na fólii tenké polopropustné zrcadlo. Jedna ze čtyř fólií zůstala nenapařena, aby bylo možno porovnat spektra rozptýlených iontů a odlišit signál od stříbrné vrstvy.

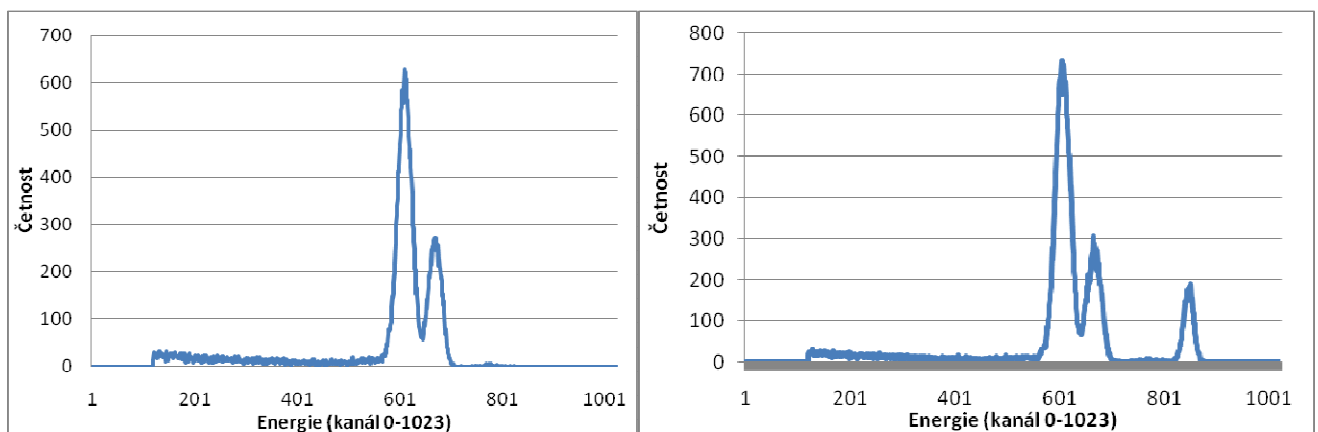
3 Měření vrstev pomocí zpětného rozptylu protonů (RBS – Rutherford backscattering)

Byly použity protony o energii 1,8 MeV urychlené v lineární urychlovači. Svazek protonů byl zfokusován a vycloněn na terči na průměr 1 mm, jeho proud byl cca 10-15 nA.



Obr.3.1 Schéma uspořádání terče a detektoru

Malá část protonů se rozptýlí, část do detektoru D, ale naprostá většina projde vzorkem a je změřen jejich celkový náboj. U rozptýlených protonů se měří jejich energie. Z těchto údajů lze sestavit energetické spektrum protonů. Porovnáním spekter naměřených na nenapařeném a napařeném vzorku je vidět signál odpovídající vrstvě stříbra.



Obr.3.2 Spektrum iontů rozptýlených na a) čisté fólii PET b) fólii PET pokryté vrstvou stříbra

- Počet rozptýlených částic:

$$N_S = N_p d N_d \sigma(E, \theta) \Omega \quad \text{vz.3.1}$$

- počet rozptýlených iontů do detektoru: N_S ; počet prošlých iontů: N_p ; tloušťka vrstvy: d ; částicová hustota atomové hustoty terče: N_d ; účinný průřez materiálu: σ ; prostorový úhel: $\Omega = 2,18 \text{ msterad}$, pod kterým se nachází detektor; úhel rozptylu $\theta = 167,5^\circ$

- Účinný průřez pro rozptyl můžeme určit z Rutherfordova vzorce:

$$\sigma_R = \frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{Z_H Z_{Ag} e^2}{16\pi\epsilon E} \right)^2 \frac{4}{\sin^4 \theta} \frac{\left\{ \sqrt{1 - \left[\left(\frac{M_H}{M_{Ag}} \right) \sin \theta \right]^2} + \cos \theta \right\}^2}{\sqrt{1 - \left[\left(\frac{M_H}{M_{Ag}} \right) \sin \theta \right]^2}} \quad \text{vz.3.2}$$

- Počet prošlých protonů:

$$N_p = \frac{Q_p}{e} \quad \text{vz.3.3}$$

- Q_p je náboj prošlých protonů

- Částicová hustota v atomové vrstvě (N_d)

$$N_d = \frac{N}{V}; N = N_A \frac{m}{M_r};$$

$$N_d = \frac{N_A}{M_r} \frac{m}{V} = \rho \frac{N_A}{M_r} \quad \text{vz.3.4}$$

- N je počet částic v objemu vrstvy V ; hmotnost vrstvy je m ; relativní atomová hmotnost stříbra: M_r ; hmotnostní hustota stříbra: ρ

- Z předchozích vzorců lze vyjádřit tloušťku vrstvy za předpokladu známé hustoty ρ a změřeného Q a N_s :

$$d = \frac{N_s e M_r}{Q N_A \rho_{Ag} \sigma \Omega} \quad \text{vz.3.5}$$

4 Výsledky

Byly napařeny tři vzorky stříbrných nanovrstev, jejichž tloušťka byla změřena pomocí RBS.

vzorek	tloušťka (vypočtená pomocí vz.3.5)
1	5,67 ($\pm 0,08$) nm
2	6,08 ($\pm 0,09$) nm
3	5,66 ($\pm 0,08$) nm

5 Shrnutí

Vrstvu jsme chtěli vyrobit o tloušťce přibližně 10 nm. Očekávali jsme, díky přibližným předpokladům a nepřesnému naměření stříbrného drátu, že tloušťka bude zhruba 10 nm. Chyba mohla být zejména v určení prostorového úhlu Ω , nebo v nerovnoměrném vypařování stříbra. Všechny vrstvy vyšly přibližně stejně tlusté, což svědčí o dobré reprodukovatelnosti přípravy vzorků.

Poděkování

Za průběžné konzultace děkujeme:

prof. Ing. Jaroslavu Královi, CSc.

Ing. Josefu Voltrovi, CSc.

Reference:

- [1] BIRD, J. R. – WILLIAMS, J. S., Eds: *Ion Beams for Materials Analysis*, Academic Press, 1989, str. 106.
- [2] MIKULČÁK, J. a kolektiv: *Matematické, fyzikální a chemické tabulky*, Střední pedagogické nakladatelství Praha, 1988