

Proč je zlato lesklé?

Karolína Faitová*, Adam Roštejnský**

Gymnázium Na Vítězné pláni 1160, Praha 4*, Jiráskovo gymnázium
Náchod, Řezníčkova 451**

karolina.fait@seznam.cz*, wojdik32@gmail.com

Abstrakt:

V této práci zkoumáme koncentraci volných elektronů ve zlatě a jak souvisí s jeho leskem a elektrickou vodivostí. Pomocí Fresnerova a Drudeova modelu jsme spočítali plazmovou frekvenci zlata a díky jeho permitivitě se nám podařilo vypočítat koncentraci elektronů.

1 Úvod

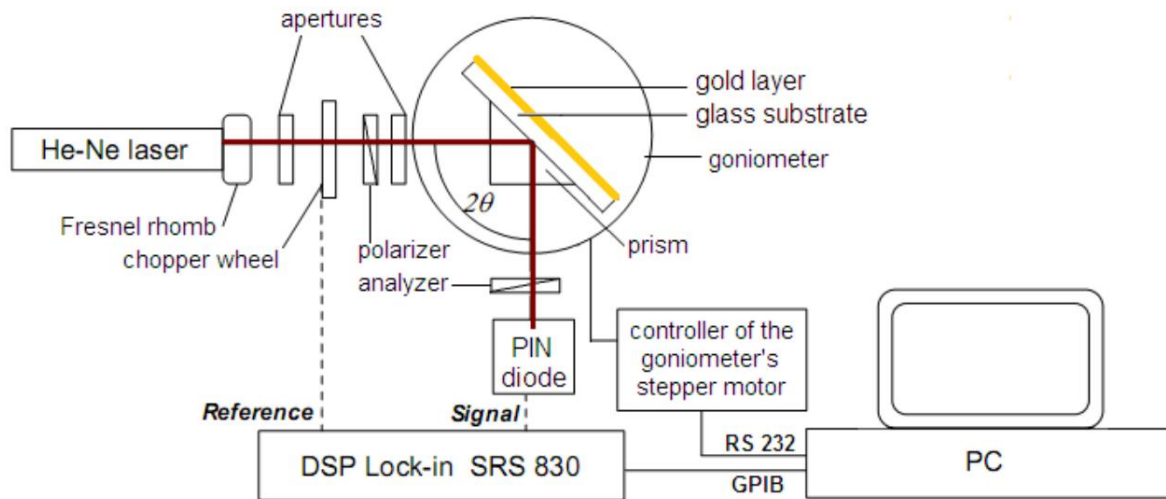
Zlato má zajímavé optické a elektrické vlastnosti. Už od starověku lidstvo fascinovalo svým třpytivě lesklým povrchem. Právě na původ tohoto lesku jsme se zaměřili. Pomocí metody zeslabené totální reflexe (ATR) jsme naměřili jeho permitivitu a pomocí matematických modelů spočítali koncentraci volných elektronů.

2 Metody

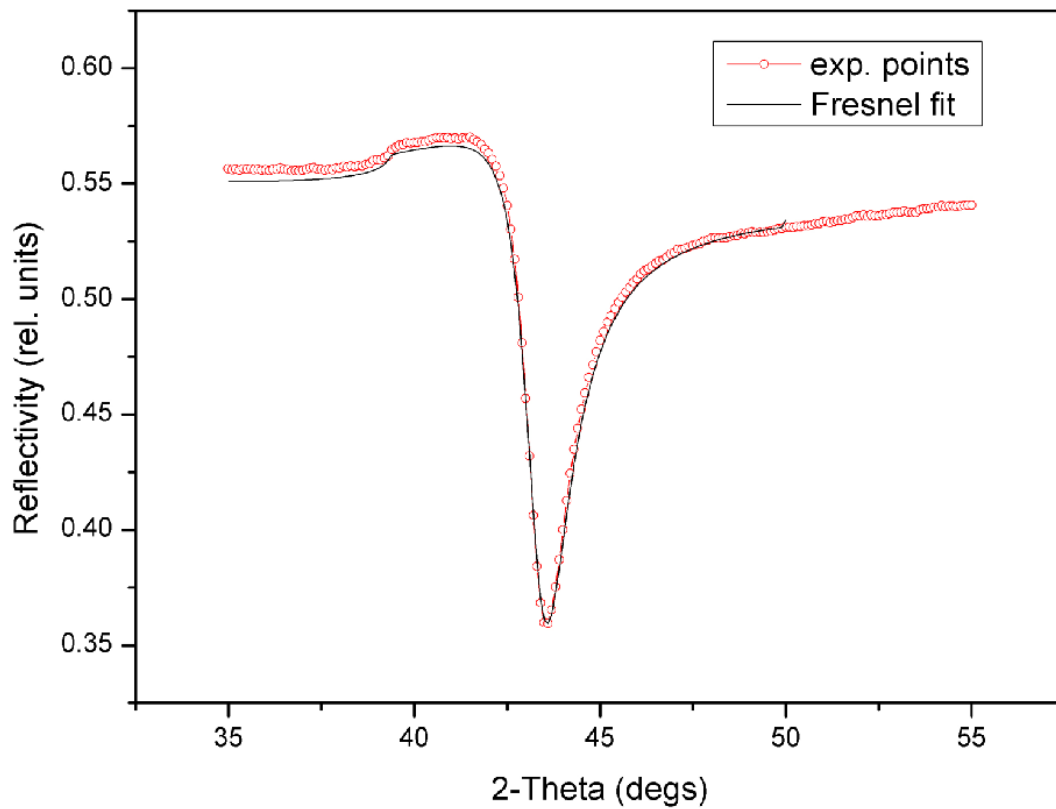
K určení koncentrace volných elektronů potřebujeme určit plazmovou frekvenci – bod, kdy elektromagnetické záření začne procházet materiálem. Po dosažení této frekvence se míra odraženého záření snižuje vlivem vznikajících plasmonů (kvazičástice), které absorbují energii záření a vzniká dipól.

Plazmovou frekvenci lze určit přímou metodou, která spočívá v postupném zvyšování elektromagnetického záření, dokud nenalezneme požadovaný bod poklesu reflektivity. Tato metoda je v praxi nedosažitelná, protože nedosáhneme spojitě změny vlnění s tak velkou energií ($E > 4\text{eV}$).

Proto jsme využili nepřímou metodu ATR. Ta je založena na změně dopadového uhlu monochromatického svazku na optický hranol s destičkou se vzorkem. Destička byla vytvořena fyzikální depozicí z plynné fáze (roztavení zlata ve wolframové vaničce ve vakuu). Pozlacenou destičku spojíme s hranolem imerzní kapalinou, abychom zachovali stejný index lomu. Hranol vložíme do experimentální soustavy (obrázek 1). Na hranol necháme dopadat světlo z laseru a fotodiodou snímáme odraz. Pomocí lock-in zesilovače vyrušíme světlo z místnosti. Měření je automatizované, úhel je postupně nastavován krokovým motorem. Výsledkem je graf závislosti reflektivity na úhlu dopadu (obrázek 2). Abychom získali permitivitu zlata musíme nalézt funkci, která má podobný průběh jako náš graf. Na to jsme použili Fresnelův fit.



Obrázek 1: Sestava ATR [1]



Obrázek 2: Výstupní graf s fitem

3 Výpočty

Nejprve vypočítáme úhlovou frekvenci ω světla odrážejícího se od vzorku zlata. Laser o vlnové délce $\lambda = 632,8\text{nm}$.

$$\omega = \frac{2\pi c}{\lambda}$$

Následně jsme pomocí fitu Fresnerových rovnic, které popisují intenzitu lomeného a odraženého světla, zjistili relativní permitivitu zlata $\varepsilon_{(\omega)}$. Tento model také bere v úvahu několikanásobné odrazy světla. Dostali jsem hodnotu $\varepsilon_{(\omega)} = -10,38$.

$$\varepsilon_{(\omega)} = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}$$

K výpočtu koncentrace elektronů použijeme Newtonův silový zákon, rovnici posunu dipólu a sílu elektrického pole. Po dosazení všech rovnic dostaneme tuto diferenciální rovnici.

$$\ddot{x} + \frac{e^2 N}{\varepsilon_0 m_c} x = 0$$

Její vyřešením se dostaneme k tomuto vztahu.

$$\omega_p^2 = \frac{e^2 N}{\varepsilon_0 m_e}$$

Po dosazení do tohoto vztahu jsme se dostali k výsledku $N = 3,169 \times 10^{28} \text{ e}^-/\text{m}^3$

4 Shrnutí

Lesk zlata způsobuje vysoká koncentrace volných elektronů, která se dá nejsnáze zjistit pomocí metody ATR. Naše naměřená hodnota je nižší než tabulková hodnota, což může být způsobeno nedokonalostmi a tloušťkou zlaté vrstvy. Zanedbali jsme konstantu útlumu. Využití má například v senzorce.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali doc. Ing. Ladislavu Kalvodovi, CSc. za vedení, pomoc a předané znalosti. Děkujeme také organizačnímu týmu TV@J a především Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc.

Reference

- [1] Levinský, Petr. Interaction of NH₃/N₂ Mixtures with a PDMS-Based Chemo-Optic Transducer Layer. Praha, 2014. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [2] DVOŘÁK, J. Plazmonová rezonance s měřením fáze. [online]. [cit. 2023-06-20]. https://is.muni.cz/th/e3ygp/JD_Thesis_Final.pdf