

# Jak spolu souvisí lesk a elektrická vodivost zlata?

J. Malinak  
SPŠST Panská 3, Praha 1  
jiri.malinak@hotmail.com

## Abstrakt

V této práci se zabývám metodou zeslabené totální reflexe, při níž se dají s pomocí optických pozorování zjišťovat vlastnosti elektronového obalu zkoumané látky. Naměřil jsem intenzitu odraženého světla od nanovrstvy zlata pod různými úhly. Vypočítal jsem plazmovou frekvenci zlata a následně koncentraci elektronů.

## 1 Úvod

Zlato má zajímavé vodivé a optické vlastnosti. Jejich původ se nachází v oblaku volných elektronů. Tyto elektrony nejsou pevně vázány na atom a volně se v látce pohybují. Jedná se o elektrony pocházející z 6s orbitalů. Já budu měřit koncentraci těchto volných elektronů.

Využiji metody zeslabené totální reflexe. Je to fyzikální postup, při kterém se využívá pozorování intenzity odraženého světla pod různými úhly.

## 2 Teorie

Elektronovou hustotu lze vypočítat pomocí plazmové frekvence zlata. Plazmová frekvence udává, pro které frekvence světla je daná látka propustná. Pokud je frekvence záření vyšší než plazmová frekvence, elektrony v látce nestíhají reagovat a materiál je tedy pro danou frekvenci světla průhledný. Když je frekvence nižší nežli plazmová, volné elektrony se stíhají přizpůsobovat elektrickému poli a kmitat s ním. Tím ho z materiálu vypuzují a zabraňují jeho šíření látkou. Plazmová frekvence je tedy bod, ve kterém je relativní permitivita rovna nule.

Relativní permitivitu je potřeba určit z Fresnelových rovnic. Ty popisují intenzitu odraženého a lomeného světla. [2]

Při úplném odrazu dochází k energetickým ztrátám. Tato energie je přeměněna do podélných kmitů plazmonů. Plazmon je kvazičástice. Ty si lze představit jako kolektivní pohyb elektronů. Nejedná se tedy o skutečnou částici, ale o zjednodušený popis mnohočásticového systému, který vykazuje stejné vlastnosti. [3]

## 3 Praktická část

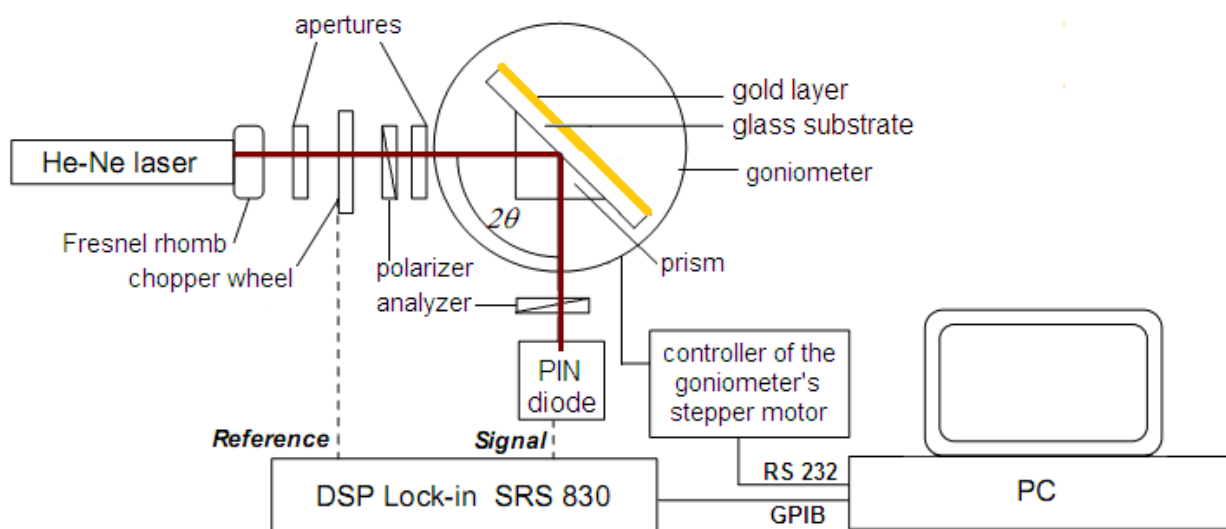
### 3.1 Příprava vzorku

Na začátku bylo potřeba vytvořit vhodný vzorek zlata v podobě tenké nanovrstvy. Vytvořil jsem jej pomocí fyzikální depozice z plynné fáze, tedy metodou PVD. Při ní se roztaví kus kovu, nechá se odpařovat a poté zkondenzovat na potřebný povrch.

Pro nanášení zlata jsem připravil speciální sklíčko. Je u něj kladen důraz na to, aby jeho index lomu byl stejný jako index lomu hranolu, který v dalších krocích použiji. Poté jsem připravil vaničku se zlatem v podobě wolframového plíšku napojeného na elektrický proud. Ohmickým ohřevem se zvyšuje jeho teplota a zlato na něm se taví. Páry zlata jsou rozneseny po celém objemu komory a velmi rychle kondenzují na povrchy uvnitř. Na sklíčko se vytvořila tenká vrstva zlata o tloušťce zhruba 33 nm. Tento vzorek je již připravený na využití metodou ATR.

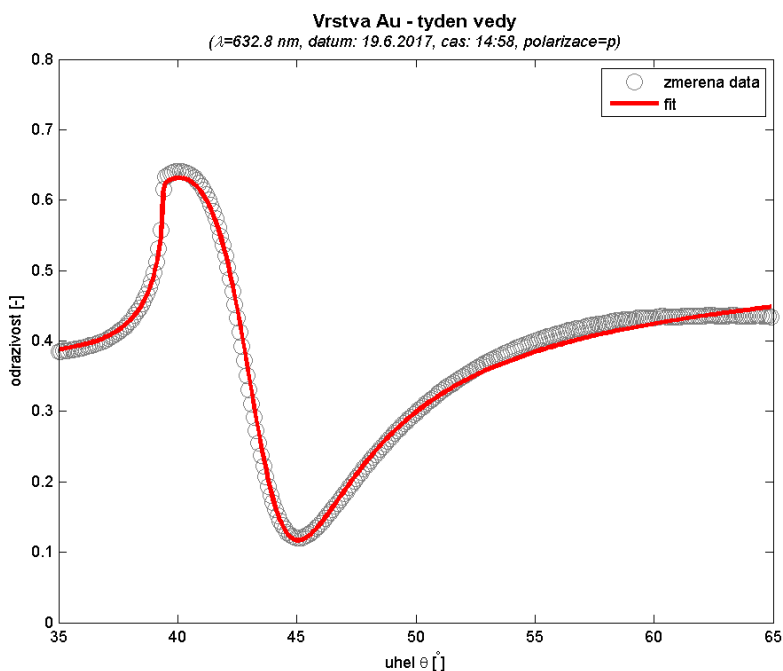
### 3.2 Měření

Vrstvu zlata na sklíčko jsem upevnil do nástavce, který jej přichytil k hranolu. Pro lehčí výpočet je vhodné, aby sklíčko i hranol měly stejný index lomu. K zamezení vytvoření vzduchové vrstvy mezi nimi jsem použil imerzní kapalinu. Celá soustava měla následující podobu (Obrázek 1).



Obrázek 1: Sestava ATR [1]

Paprsek z laseru vstupuje do hranolu, láme se a odráží od tenké vrstvy zlata. Odraz je snímán fotodiodou tak, že světlo v místnosti je vyrušeno a měříme pouze světlo z laseru. K tomu slouží takzvaný Lock-in zesilovač. Celý tento proces měření je automatizovaný. Úhly dopadu a odrazu jsou nastavovány krokovým motorem. Výstupem je graf závislosti intenzity odraženého světla na úhlu dopadu (Obrázek 2).



Obrázek 2: Výstupní graf s fitem

### 3.3 Výpočet

Nejprve vypočítám úhlovou frekvenci  $\omega$  světla odrážejícího se od vzorku zlata. Použil jsem laser o vlnové délce  $\lambda = 633\text{nm}$ .

$$\omega = \frac{2\pi c}{\lambda} \quad (1)$$

Relativní permitivitu zlata  $\epsilon_r$  jsem zjistil pomocí fitu modelu, který využívá Fresnelových rovnic. Ty popisují intenzitu lomeného a odraženého světla. Tento model také bere v úvahu několikanásobné odrazy světla. Dostal jsem hodnotu  $\epsilon_r = -9,5$ .

$$\omega_p = \omega \sqrt{1 - \epsilon_r} \quad (2)$$

Plazmová frekvence mi vyšla  $\omega_p = 9,612 \cdot 10^{15} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ . Tuto hodnotu již stačí dosadit do vzorce pro výpočet elektronové hustoty  $n$ .

$$n = \frac{\omega_p^2 \epsilon_0 m_e}{e^2} \quad (3)$$

Výsledná elektronová hustota vychází  $n = 2,902 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$ . Na závěr jsem výsledek přepočítal na počet elektronů na počet atomů. Vyšlo mi, že se ve vzorku na jeden atom nachází 0,491 elektronů.

### 3.4 Zhodnocení

Výsledné hodnoty nejsou zcela správné. Tabulková hodnota relativní permitivity pro vlnovou délku 633 nm totiž činí  $\epsilon_r = -11,75$ . [4] Tato chyba mohla vzniknout znečištěním vzorku zlata zbytkovými plyny ve vakuové komoře.

Další chyba vznikla zanedbáním komplexní části relativní permitivity zlata. Ta popisuje útlum oscilací plazmonů. Tento útlum vzniká především srážkami jednotlivých elektronů.

Elektrony také nejsou úplně volné, ale jsou lehce vázány na jednotlivé atomy. Tato zanedbání mají za následek chybný výsledek.

Ve skutečnosti se nachází ve zlatě jeden volný elektron na jeden atom. Můj výsledek činil 0,491 elektronů na atom. I přesto považuji toto měření za úspěšně provedené.

## 4 Shrnutí

Naměřil jsem počet volných elektronů pomocí metody zeslabené totální reflexe. Toto měření ukázalo, že se zlato chová jako plazma. Nacházejí se v něm volné elektrony, které mají za následek jeho optické a vodivé vlastnosti.

Kromě mého měření se dá technologie ATR využít jako biosenzor. Pokud se na vrstvu zlata naváží některé biomolekuly, změní se index lomu. Tato změna se projeví posunutím spektra. Takto se dají detekovat například bílkoviny, nukleové kyseliny atd.

## Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Petru Levinskému za jeho pomoc a předané znalosti. Děkuji také organizačnímu týmu TV@J a především Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc.

## Reference

- [1] Levinský, Petr. *Interaction of NH<sub>3</sub>/N<sub>2</sub> Mixtures with a PDMS-Based Chemo-Optic Transducer Layer*. Praha, 2014. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [2] Kulhánek, Petr. *Vlny v plazmatu*, [cit. 20.6.2017], <http://www.aldebaran.cz/astrofyzika/plazma/waves.php>
- [3] Kulhánek, Petr. *Plazmon*, [cit. 20.6.2017], <http://www.aldebaran.cz/glossary/print.php?id=581>
- [4] *Refractive index database*, [cit. 20.6.2017], <https://refractiveindex.info/?shelf=main&book=Au&page=Johnson>