

Měření Planckovy konstanty pomocí LED

D. Šepák

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

sepakdom@fjfi.cvut.cz

Abstrakt

V tomto článku objasním výpočet Planckovy konstanty na základě souvislosti prahového napětí LED a vlnové délky jejího světla. Na pásových diagramech dovolených energií elektronu vysvětlím princip polovodiče a souvislost šířky zakázaného pásu s frekvencí světla vyzařovaného LED. Následně osvětlím souvislost napětí na diodě a energie vyzářeného fotonu. Vysvětlím potřebu přibližného určení Planckovy konstanty ze směrnice grafu a provedu měření této konstanty.

1 Úvod

Planckova konstanta je jednou ze základních fyzikálních konstant. Její hodnota je $6,626 \times 10^{-34} J \cdot s$. Existuje mnoho způsobů, jak tuto konstantu změřit, a já jsem si pro svůj experiment vybral jednu z obvyklejších metod, tedy měření pomocí prahových napětí a vlnových délek svítivých diod. Za cíl jsem si určil přiblížit se tabulkové hodnotě alespoň řádově.

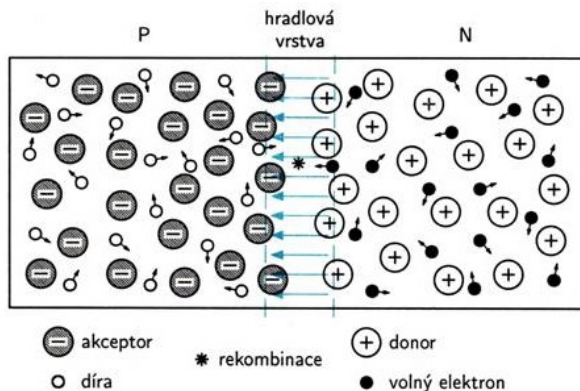
2 Teorie

2.1 Princip polovodičové diody

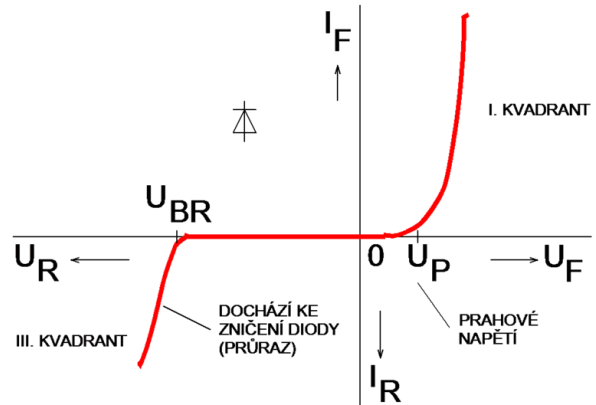
Polovodičová dioda je součástka vytvořená spojením polovodičů vodivosti P (pozitivní - převládají kladné nosiče náboje) a N (negativní - převládají záporné nosiče náboje). V místě spojení obou druhů polovodiče dochází k rekombinaci nosičů náboje a vzniká nabitá hradlová vrstva, která brání dalšímu průchodu náboje (viz obrázek 1).

Z VA charakteristiky polovodičové diody (obrázek 2) vidíme, že v propustném směru dioda vede proud až od určitého prahového napětí. To svou velikostí odpovídá napětí hradlové vrstvy – vnější napětí musí napětí hradlové vrstvy překonat, aby diodou tekla proud.

V záporné části VA charakteristiky dioda proud nevede – vnější napětí působí ve stejném smyslu jako napětí hradlové vrstvy, která se tímto rozšiřuje. Když vnější napětí dosáhne hodnoty takzvaného průrazného napětí, je intenzita elektrického pole v polovodiči tak vysoká, že dochází k vytrhávání elektronů z elektronových obalů atomů. Dioda začne vést proud a obvykle dochází k jejímu zničení.



Obrázek 1: Vnitřní stavba polovodičové diody [1]



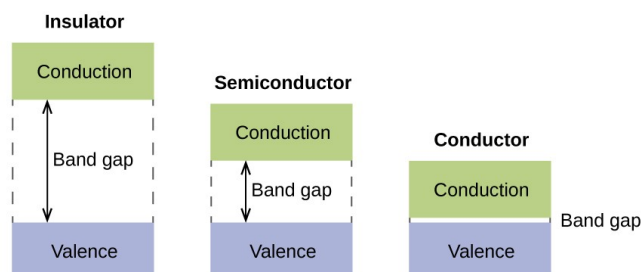
Obrázek 2: VA charakteristika polovodičové diody [2]

2.2 Pásový model pevné látky, vlnová délka a prahové napětí

Při spojení atomů pevné látky do krystalu dochází k přechodu od diskrétní podoby elektronových orbitalů k rozložení pásovému. Z hlediska vodivosti jsou nejdůležitější tři nejvyšší pásy, a to pásy valenční, zakázaný a vodivostní. **Valenční pás** je nejvyšší pás, ve kterém se vyskytují elektrony v základním stavu. V **zakázaném pásu** se žádné elektrony nevyskytují. Ve **vodivostním pásu** se mohou elektrony volně pohybovat po krystalu pevné látky.

U **vodičů** valenční a vodivostní pásy splývají, nebo je mezi nimi jen tenký zakázaný pás. Proto také vodiče v základním stavu vedou elektrický proud. **Izolanty** mají zato zakázaný pás velmi široký, je tedy velice nepravděpodobné, že by u nich elektron přeskočil do vodivostního pásu. **Polovodiče** jsou šířkou zakázaného pásu mezi vodiči a izolanty. V základním stavu nevedou proud, ale ohřátím nebo osvětlením proud vést začnou.

Když svítivou diodou prochází proud, dochází na přechodu PN k zářivé rekombinaci elektronů a děr. Při této rekombinaci dochází k přeskočení elektronu z vodivostního pásu do pásu valenčního a uvolněná energie se přemění na světlo podle vztahu $E = h \cdot f$



Obrázek 3: Pásový model pevné látky [3]

3 Měření

3.1 Princip měření

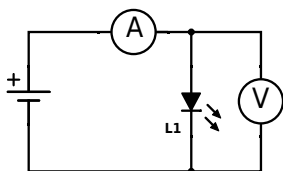
Energie vyzářeného fotonu odpovídá energii elektronu podle vztahu:

$$U \cdot e + T = h \cdot f,$$

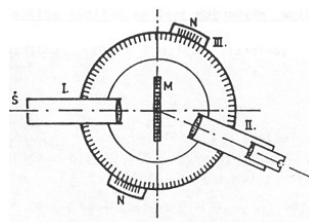
kde U je napětí na diodě, e je elementární náboj T je tepelná energie elektronu a f je frekvence vyzářeného světla. Planckovu konstantu nejlépe zjistíme ze směrnice grafu napětí v závislosti na frekvenci světla, popsáno rovnicí odvozenou z předchozího vztahu:

$$U = \frac{h}{e} \cdot f + \frac{T}{e} \quad (1)$$

Směrnice grafu závisí pouze na hodnotě Planckovy konstanty a známé tabulkové hodnotě e .



Obrázek 4: Schéma zapojení pro měření prahového napětí



Obrázek 5: Schéma goniometru [4]

3.2 Měření prahového napětí

Aparaturu pro měření prahového napětí zobrazuje obrázek 4. Na proměnném zdroji zvyšujeme hodnotu stejnosměrného napětí. V okamžiku, kdy diodou začne procházet proud, zaznameneáme hodnotu napětí.

3.3 Měření vlnové délky

Měření vlnové délky provedeme na goniometru – zařízení pro přesné měření úhlů

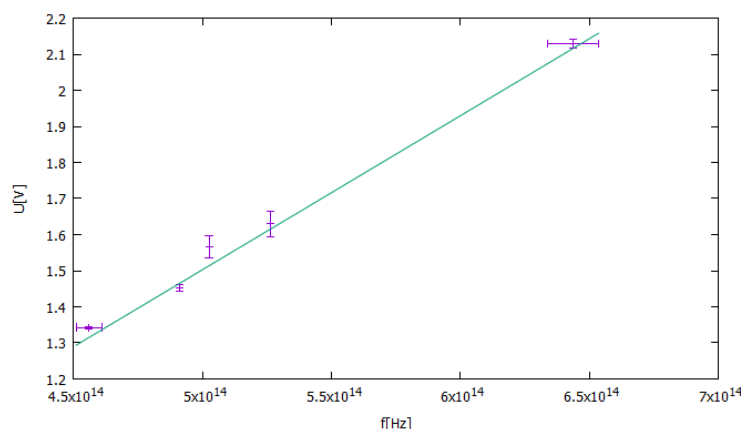
Světlem z LED diody ozáříme difrakční mřížku M (obrázek 5). Na mřížce dojde k interferenci světla. Pomocí goniometru změříme úhel α prvního interferenčního maxima $n = 1$ od přímého směru. Vlnová délka odpovídá vztahu:

$$\lambda = \frac{a \cdot \sin \alpha}{n}, \quad (2)$$

kde a je mřížková konstanta (pro naši mřížku $1,67 \times 10^{-6} \text{ m}$).

Barva	Frekvence[Hz]	Napětí[V]
zelená	$(530 \pm 0) \times 10^{12}$	$1,630 \pm 0,035$
modrá	$(640 \pm 10) \times 10^{12}$	$2,130 \pm 0,012$
žlutá	$(500 \pm 0) \times 10^{12}$	$1,567 \pm 0,030$
rudá	$(460 \pm 5) \times 10^{12}$	$1,343 \pm 0,003$
červená	$(490 \pm 0) \times 10^{12}$	$1,453 \pm 0,009$

Tabulka 1: Výsledky měření



Obrázek 6: Graf naměřených hodnot

3.4 Výsledky měření

Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 1. Výsledná hodnota h vypočtená z grafu 6 je:

$$(6,8 \pm 0,6) \times 10^{-34} J \cdot s$$

Reference

- [1] R. Ševčík *F Y Z I K A*, <http://mog.wz.cz/fyzika/2rocnik/kap413.htm>
- [2] anonym *ELUC*, <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/578>
- [3] anonym, *Molecular Orbital Theory*, <https://courses.lumenlearning.com/chemistryformajorsxmaster/chapter/molecular-orbital-theory-lots-of-formulas-missing/>
- [4] F. Grill, *Měření vlnové délky spektrálních čar rtuťové výbojky pomocí optické mřížky*, http://home.pf.jcu.cz/kriz/index.php?option=com_content&view=article&id=153:mereni1&catid=58:fpr4&Itemid=2
- [5] L. Matěna, *Fyzika mikrosvěta v Interaktivní fyzikální laboratoři*, Universita Karlova v Praze, Matematicko-fyzikální fakulta, Praha (2015)