



Градска школа физике ФИЗНИШ
Пројекат Друштва физичара Ниш који
финансира Град Ниш



Одређивање вредности Планкове константе

Увод

Планкова константа (означава се са h) је физичка константа која се користи за описивање величине кванта. Има централну улогу у квантној механици, а добила је име по Планку (Max Karl Ernst Ludwig Planck, 1858-1947) немачком физичару, који ју је увео приликом израчунавања зрачења црног тела.

Данас усвојена вредност Планкове константе износи:

$$h = 6.6260693(11) \cdot 10^{-34} \text{ Js.}$$

Једна од метода одређивања вредности Планкове константе је метода одређивања помоћу полупроводничке светлеће диоде тј. LED диоде (Light Emitting Diode). Ове диоде емитују светлост када су директно поларисане.

Појава емисије инфрацрвене светлости из полупроводника под утицајем електричне струје први пут је примећена 1955. Полупроводно јединjenje код кога је примећена ова појава је био галијум-арсенид (GaAs). Прва комерцијална LED диода која емитује видљиву светлост (црвену) почела је да се производи 1962. Даљи технолошки развој омогућио је конструисање LED диода које емитују у целом видљивом делу спектра, па чак и ултраљубичасту светлост. Боја емитоване светлости зависи од врсте употребљеног полупроводног материјала и додатих примеса. LED диода у електронским колима приказана је следећом ознаком:



У следећој Табели су date карактеристике појединих LED диода. Податке из табеле је могуће искористити ако немамо поуздан начин за одређивање таласне дужине емитоване светлости.

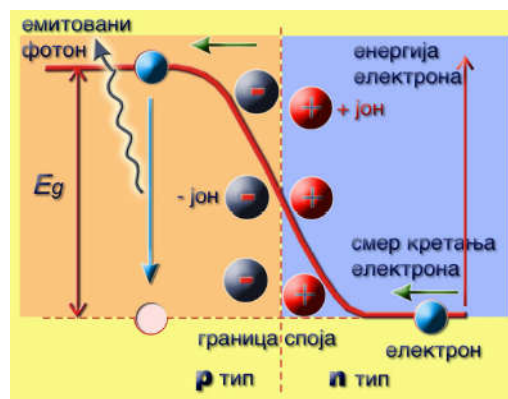
Врста диоде	Емитована светлост	Таласна дужина [nm]	Напон паљења [V]	Полупроводнички материјал
Прва инфрацрвена	Инфрацрвена	950	1,2-1,3	GaAs
Побољшана инфрацрвена	Инфрацрвена	880	1,4	GaAlAs
Црвена	Црвена	660	1,6-1,75	GaAs, GaAsP
Побољшана црвена	Црвена	635-650	1,8-1,9	GaAlAsP
Жута	Жута	590	2	InGaAlP, GaP
Зелена	Зелена	550-570	2,3	InGaAlP, GaAlP, GaP
Плава	Плава	470	3,5	InGaN
Ултраљубичаста	Ултраљубичаста	370-375	3,9	GaN

Princip rada LED diode

Ako direktno polarišemo pn spoj LED diode slobodni elektroni iz n tipa poluprovodnika prelaze na p stranu spoja (slika 1). Pri tom se njihova energija povećava za energiju koja odgovara širini zabranjene zone E_g . Kada se elektron nađe na p strani pn spoja desiće se, pre ili kasnije, prelaz u nepopunjeno stanje (odnosno doći će do rekombinacije sa šupljinom).

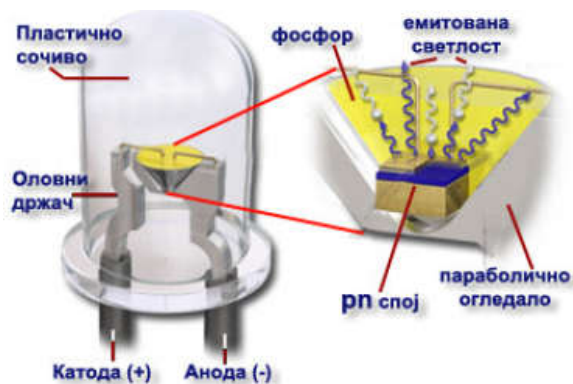
Pri takvom prelazu u neko nepopunjeno stanje elektron gubi energiju E_g . Ova energija se emituje kao kvant elektromagnetnog zračenja (foton). Energija tog emitovanog fotona je približno jednaka energiji širine zabranjene zone poluprovodničkog materijala diode:

$$h\nu = E_g \quad (1)$$



Slika 1.

Uslov da vidimo emitovanu svetlost je da je p sloj dovoljno tanak tako da neki od emitovanih fotona mogu da prođu kroz njega. Praktična realizacija LED diode data je na slici 2.



Slika 2.

LED diode emituju svetlost ako su direktno polarisane. Pri inverznoj polarizaciji ne emituju svetlost i ponašaju se kao obične poluprovodničke diode. Uvek treba voditi računa o struji koja prolazi kroz LED diodu. Prejaka struja može da je ošteti. Zato se redno diodi vezuje otpornik koji ograničava jačinu struje. Obično kroz diodu protiče jačina struje reda veličine desetine miliampera.

Iz relacije (1) dobijamo:

$$h = E_g / \nu \quad (2)$$

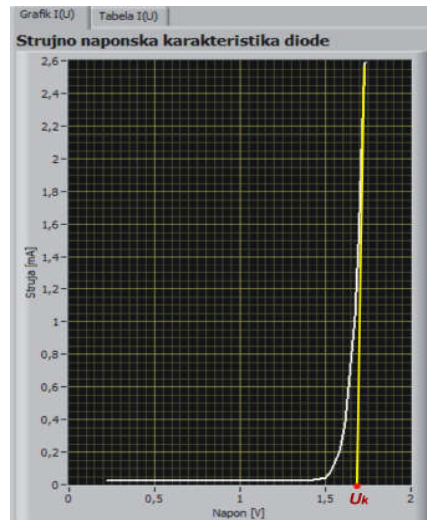
Odnosno:

$$h = \frac{\lambda E_g}{c} \quad (3)$$

U relaciji (3) $c = 3 \cdot 10^8$ m/s je brzina svetlosti, a λ je talasna dužina emitovane svetlosti. Pošto dioda počinje da emituje svetlost tek kad elektroni dobiju energiju dovoljnu da savladaju energetske procep E_g , smatramo da je

$$E_g = eU_k \quad (4)$$

U prethodnoj relaciji U_k je napon provođenja koji određujemo sa strujno-naponske karakteristike diode. Na slici 3. je data strujno-naponska karakteristika crvene LED diode i označen je napon U_k . Vrednost ovog napona je približno 1.7V, što je u skladu sa podacima iz Tabele.



Slika 3.

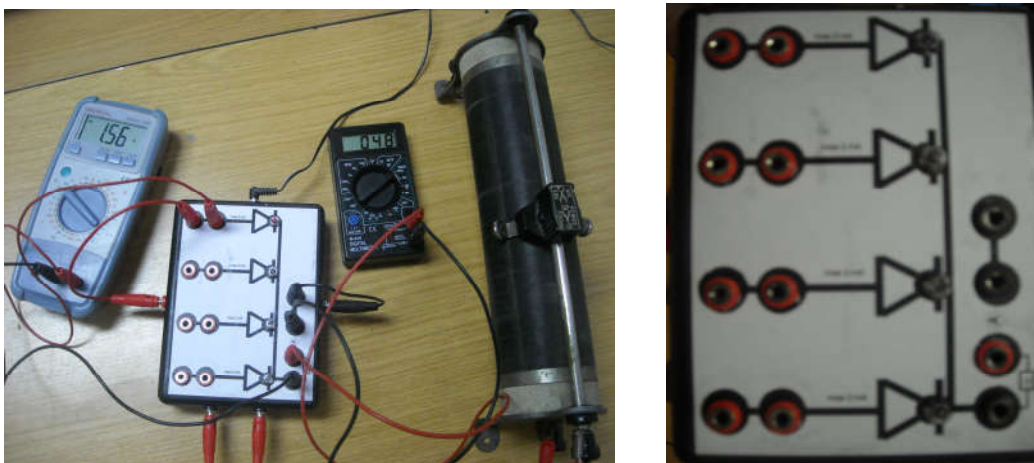
Da bi na osnovu relacije (3) odredili eksperimentalno vrednost Plankove konstante, moramo da znamo još i talasnu dužinu svetlosti. Ovaj podatak daju proizvođači dioda, pa ako znamo proizvođača i tačnu oznaku diode možemo da pronađemo i ovaj podatak. Talasna dužina emitovane svetlosti kod nekih dioda slabo zavisi od jačine struje. Zbog toga je najispravnije eksperimentalno odrediti talasnu dužinu svetlosti.

Zadatak

1. Snimiti strujno-naponske karakteristike crvene, žute, zelene i plave LED diode.
2. Odrediti napon U_k za svaku od dioda sa strujno-naponske karakteristike.
3. Na osnovu datih vrednosti talasnih dužina i odgovarajućih izmerenih vrednosti napona provođenja odrediti vrednost Plankove konstante.
4. Odrediti greške merenja i uporediti tačnu vrednost Plankove konstante sa vrednošću dobijenom merenjem.

Aparatura i postupak merenja

Za snimanje karakteristika LED dioda koristi se aparatura prikazana na slici 4. Ona se sastoji od izvora jednosmerne EMS, promenljivog otpornika, ampermetra, voltmetra i LED dioda crvene, žute, zelene i plave boje.



Slika 4.

Klizač potenciometra treba postaviti u krajnji položaj tako da pri uključenju izvora EMS voltmetar pokaže nulu. Pomeranjem klizača povećava se napon na diodi i očitavaju vrednosti jačine struje. Kada dioda počne da svetli, oprezno treba povećavati napon vodeći računa da jačina struje ne pređe vrednost od 2mA. Većina LED dioda ima maksimalno dozvoljenu jačinu struje 15-20mA i ako se ta vrednost prekorači, one pregorevaju. Podaci se unose u tabelu 1., a zatim se na osnovu njih crta strujno-naponska karakteristika diode i sa grafika očitava vrednost napona provođenja.

Isti postupak treba ponoviti i za preostale tri diode.

Talasne dužine emitovane svetlosti sa dioda su poznate i iznose:

1. crvena $\lambda = 710 \text{ nm}$
2. žuta $\lambda = 590 \text{ nm}$
3. zelena $\lambda = 530 \text{ nm}$
4. plava $\lambda = 500 \text{ nm}$

Rezultati:

Rezultate merenja napona i struje dioda treba uneti u Tabelu 1.

Tab. 1.

redni br.merenja	crvena $\lambda = 710 \text{ nm}$		žuta $\lambda = 590 \text{ nm}$		zelena $\lambda = 530 \text{ nm}$		plava $\lambda = 500 \text{ nm}$	
	U (V)	I (mA)	U (V)	I (mA)	U (V)	I (mA)	U (V)	I (mA)
1.								
2.								
3.								
4.								

Na osnovu rezultata iz Tab.1. crtaju se strujno-naponske karakteristike za svaku diodu pojedinačno i sa njih određuje napon provođenja $U_k (V)$.

Plankovu konstantu određujemo iz relacije

$$h = \frac{\lambda e U_k}{c}$$

gde je: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
 $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Tab. 2.

	$\lambda(\text{nm})$	$U_k (V)$	$h (10^{-34} \text{ Js})$	$\bar{h} (10^{-34} \text{ Js})$	$\Delta h (10^{-34} \text{ Js})$
crvena					
žuta					
zelena					
plava					