

# Strujno-naponska karakteristika LED diode

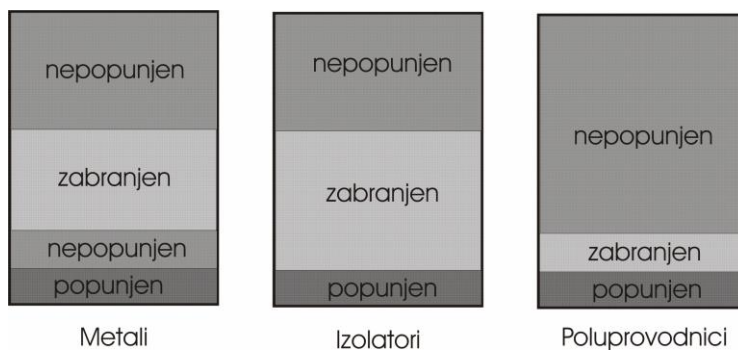
Milan S. Kovačević, Marko M. Milošević

Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Kragujevcu, Srbija

**Apstrakt.** Svetleća dioda (LED) je poluprovodnički element koji ima široku primenu u svetu elektronike i optoelektronike, pre svega u optičkim komunikacijama. LED sadrži p-n spoj koji čine poluprovodnik p-tipa i poluprovodnik n-tipa, uglavnom GaAs, GaP, ili SiC. Kada se na p-n spoj dovede napon, emituje se elektromagnetno zračenje u optičkom i infracrvenom opsegu. Dioda, sa oznakom MF0E71, iskorišćena je za snimanje njene strujno-naponske karakteristike. Struja kroz diodu se meri miliampermetrom, a napon na njoj pomoću digitalnog voltmetra. Dobijena je tipična I-U kriva sa koje se očitava prag provođenja, odnosno deo karakteristike u kojoj struja praktično ne teče.

## UVOD

Prema svojoj provodnosti elektrotehnički materijali se dele na tri grupe: provodnici, poluprovodnici i izolatori. Provodnost materijala je direktno povezana sa elektronskom strukturom materijala. Tako, dobri provodnici (metali) imaju delimično popunjene energetske nivoe neposredno uz potpuno popunjenje nivoe, što omogućava da elektroni lako napuste atom i slobodno se kreću kroz metal. Takvi elektroni se nazivaju slobodni elektroni. Kod izolatora između popunjenih i nepopunjenih energetske nivoe prisutna je velika zabranjena zona što zahteva da je elektronima neophodna velika energija kako bi preskočili zabranjenu zonu. Kod poluprovodnika je prisutna uska zabranjena zona između popunjenih i nepopunjenih energetske nivoe, tako da elektroni koji dobiju malu dodatnu energiju mogu preskočiti zabranjenu zonu i postati pokretni (Slika 1).



SLIKA 1. Zonska struktura kod metala, izolatora i poluprovodnika.

Najvažniji poluprovodnički materijali su silicijum (Si), germanijum (Ge) i galijum arsenid (GaAs). Kristal čistog silicijuma ima pravilnu strukturu u kojoj atomi zadržavaju svoj položaj pomoću kovalentnih veza koje formiraju četiri kovalentna elektrona. Specifična provodnost čistog silicijuma je veoma mala. Ako se u kristal silicijuma unesu primese drugih materijala,

provodnost silicijuma se može povećati. Taj postupak se naziva dopiranje silicijuma. Tako, ako se silicijumu doda mala količina primesa od materijala koji ima pet valentnih elektrona (fosfor, arsen ili drugi elementi 5. grupe) pojaviće se višak slobodnih elektrona koji znatno povećava provodnost silicijuma. Takve primese se nazivaju donorske primese jer daju elektrone, a tako dopirani silicijum se naziva n-tip silicijuma, jer ima više slobodnih nosilaca negativnog naelektrisanja (elektrona) nego šupljina. Ako se silicijumu doda mala količina primesa od materijala koji ima tri valentna elektrona (bor, indijum, ili drugi elementi 3. grupe), pojaviće se višak šupljina, koji takođe povećava provodnost silicijuma. Takve primese se nazivaju akceptorske primese jer privlače slobodne elektrone, a tako dopirani silicijum se naziva p-tip silicijuma, jer ima više slobodnih nosilaca pozitivnog naelektrisanja (šupljina) nego elektrona. Dopiranjem silicijuma menja se i zonska struktura, tako što se stvaraju novi nivoi unutar zabranjene zone, donorski nivo kod n-tipa i akceptorski nivo kod p-tipa.

Ako se napravi bliski kontakt (spoj) materijala n-tipa i materijala p-tipa dobija se tzv. p-n spoj ili dioda. Dioda predstavlja važne elemente u savremenoj elektronici. Postoje razne vrste dioda, kao što su: diode za usmerače malih snaga, diode za usmerače velikih snaga, diode za prekidački režim rada, diode za rad sa visokim učestanostima, diode promenljive kapacitivnosti, fotodiode, svetleće (LED) diode [1-3].

## SVETLEĆA (LED) DIODA

LED (svetleća) dioda je poluprovodnički element koji pri direktnoj (propusnoj) polarizaciji pretvara električni signal u svetlost. Kada je dioda direktno polarisana postoji električna sila koja privlači elektrone da pređu u p-tip, i na šupljine da pređu u n-tip poluprovodnika. Oni se susreću u zoni najveće gustine slobodnih nosilaca, na samom p-n spoju i tu dolazi do njihove rekombinacije, tj. elektroni popunjavaju prazna mesta, šupljine. Tako, elektroni prelaskom iz provodne u valentnu zonu rekombinuju se sa šupljinama pri čemu se oslobađa energija u obliku fotona tj. emituju se fotoni energije veće ili jednake energiji energijskog procepa. Uska oblast u kojoj se odvija rekombinacija na granici p-n spoja naziva se aktivna oblast. Svaki materijal ima različitu širinu energijskog procepa, stoga emituje svetlost različite talasne dužine. Za LED crvene boje to svojstvo ima (GaAsP), LED plave boje (GaN) i LED zelene boje (GaP). Centralna talasna dužina emitovane svetlosti  $\lambda_c$  se određuje na osnovu izraza

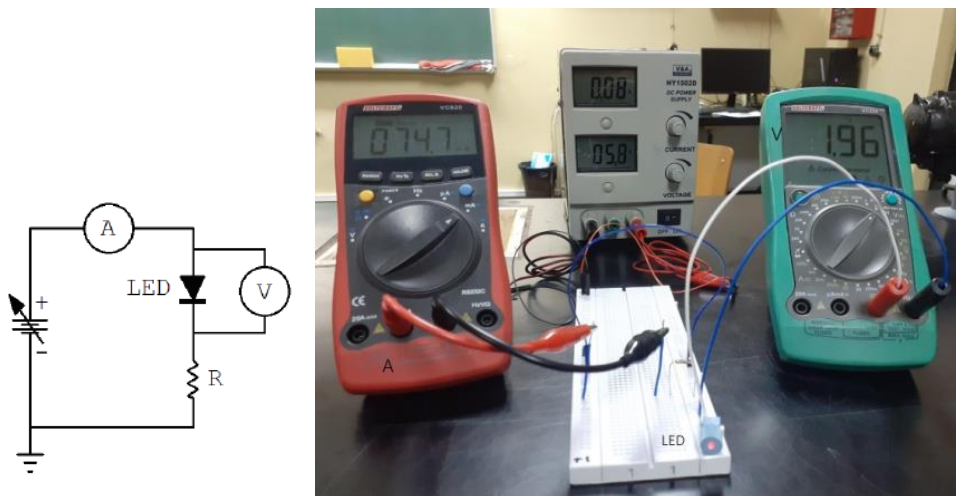
$$E_g \equiv E_p - E_v = \frac{hc}{\lambda_c} \quad (1)$$

gde je  $h$  Plankova konstanta,  $c$  brzina svetlosti u vakuumu, i  $\lambda_c$  centralna talasna dužina emitovane svetlosti ( $E_g$  je energija energetskog procepa koja je jednaka razlici energije elektrona u provodnoj i valentnoj zoni). Kod idealne LED diode za svaki rekombinovani par elektron-šupljina, emituje se jedan foton.

## EKSPERIMENT SA LED DIODOM

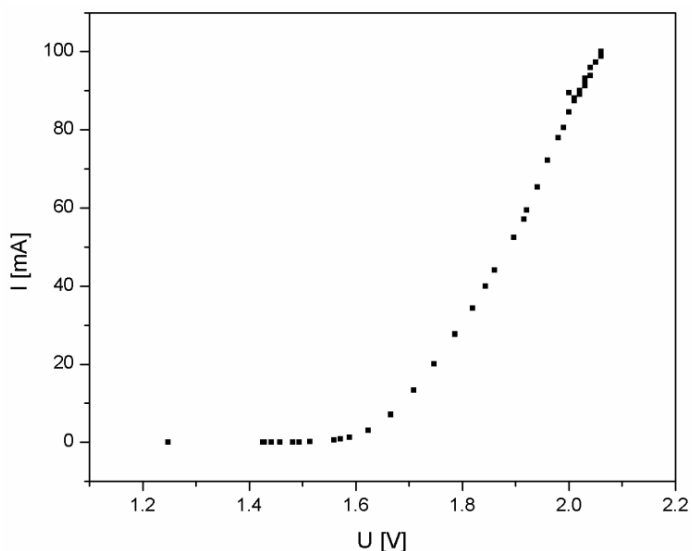
Snimanje strujnonaponske karakteristike LED diode u propusnom smeru se može izvršiti pomoću trujnog kola prikazanog na Slici 2. Kolo se sastoji od izvora E jednosmernog napona na kome se može podešavati napon u intervalu od 0 do 15 V. Otpornik R služi da ograniči struju kroz diodu, i na taj način da zaštiti ovaj element od pregorevanja. Njegova tipična vrednost je oko 100Ω. Struja kroz diodu se meri miliampermetrom, a napon pomoću digitalnog voltmetra. Menjanje napona se vrši pomoću potenciometra koji se nalazi neposredno na samom izvoru. Napon na diodi se postepeno povećava počevši od nule pa do 2V u koracima po 20mV, i pri tom se

miliampermetrom meri struja kroz diodu. Podaci dobijeni merenjem se unose u tabelu, a zatim na milimetarskom papiru se crta dijagram  $I = f(V)$ . Na apscisu se nanose vrednosti napona, a na ordinatu vrednosti za struju (Slika 3).



**SLIKA 2.** Strujno kolo i odgovarajuća eksperimentalna postavka koja je korišćena u merenju.

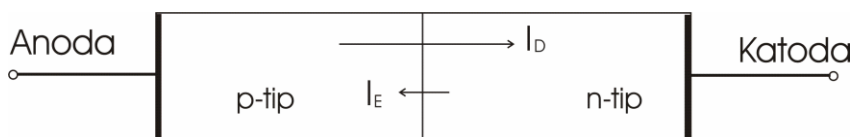
Dioda sa oznakom MF0E71 ima prag provođenja, odnosno deo karakteristike u kojoj struja praktično ne teče. Direktna struja počinje da teče negde oko 1,5 V i naglo raste sa povišenjem napona. Inače, za ovu diodu prag provođenja  $U_0$  iznosi 1,5V.



**SLIKA 3.** Strujno-naponska karakteristika MF0E71 svetleće diode.

Kao što je već pomenuto, u blizini p-n spoja se formira osiromašena oblast ili oblast prostornog tovara jer u njoj nema slobodnih nosilaca elektriciteta. Dakle, oblast oko p-n spoja se ponaša

kao izolator. Kriva zavisnosti struje od napona, ponekad nazvana I-U dijagram, opisuje ponašanje u oblasti prostornog tovara u poluprovodničkoj diodi. Ako se na krajeve p-n spoja poveže naponski izvor sa pozitivnim polom vezanim za p-oblast, dolazi do smanjenja potencijalne barijere na spoju, suženja oblasti prostornog tovara i olakšanog kretanja većinskih nosilaca elektriciteta preko spoja. Većinski nosioci iz n-oblasti, elektroni, difuzijom prelaze u p-oblast, a većinski nosioci iz p-oblasti, šupljine, difuzijom prelaze u n-oblast, gde dolazi do njihove rekombinacije. Pošto je električno kolo zatvoreno, postoji stalna difuzija nosilaca preko spoja, odnosno postoji struja kroz p-n spoj. Dakle, kako se razlika potencijala između izvoda diode povećava, dolazi do stanja kada dioda postaje provodna. Struja kroz direktno polarisanu diodu se sastoji od dve komponente: struje većinskih nosioca (difuzna struja) i struje manjinskih nosioca (struja usled električnog polja) (Slika 4).



SLIKA 4. Struje na direktno polarisanom p-n spoju.

Ukupna struja kroz direktno polarisan p-n spoj iznosi

$$I = I_D - I_E = Ke^{-e(U_0-U)/kT} - Ke^{-eU_0/kT} = I_S(e^{U/U_T} - 1) \approx I_S e^{U/U_T} \quad (2)$$

gde je  $K$  konstanta koja zavisi od geometrijskih karakteristika p-n spoja,  $U$  je napon na spoju,  $U_0$  napon potencijalne barijere,  $k$  Boltzmanova konstanta, a  $T$  temperatura. Struja  $I_S$  se naziva struja zasićenja p-n spoja i direktno je proporcionalna površini p-n spoja. Napon  $U_T = kT/e$  se naziva temperaturni naponi na sobnoj temperaturi iznosi približno 25 mV.

## ZAKLJUČAK

Opisani eksperiment sa svetlećom diodom pokazao se vrlo jednostavnim za korišćenje, pod uslovom da se obezbede precizni miliampermetar i voltmetar. Aparatura nije previše zahtevna, i preporučujemo da se ovaj eksperiment uvrsti u spisak laboratorijskih vežbi u četvrtom razredu gimnazija, posebno kada se priča o poluprovodnicima. U našem izvođenju eksperimenta vodili smo računa o maksimalnoj dozvoljenoj struji kroz diodu, koja za ovu diodu iznosi 150mA. Dalja razrada eksperimenta ukazuje na mogućnost korišćenja istog za određivanje Plankove konstante u školskim fizičkim laboratorijama. Tako, polazeći od relacije  $eU_0 = hc/\lambda$ , za  $\lambda = 820\text{nm}$   $U_0 = 1,5\text{V}$  dolazimo do brojne vrednosti za  $h = 6,56 \cdot 10^{-34}\text{Js}$ .

## LITERATURA

1. M. Popović, *Osnovi elektronike*, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2006.
2. N. Chi, *LED-based visible light communications*, Tsinghua University Press, Beijing, China, 2018.
3. Zheludev, N., The life and times of LED – a 100-year history, *Nature Photonics* 1, 198 (2007).
4. W. Jing, W. Yumei, Li Ping, Li Lian, Current–voltage characteristics of light-emitting diodes under optical and electrical excitation, *Journal of Semiconductors* 32084004 (2011).