

# NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU

Na 774. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta od 20.5.2014. imenovani smo u Komisiju za pregled i ocenu završene magistarske teze kandidata Aleksandra Sremca diplomiranog inženjera elektrotehnike, pod naslovom: "**Optički prelazi u aksijalno simetričnim nanotačkama u magnetskom polju**". Na osnovu završenog pregleda i analize, Komisija podnosi sledeći

## IZVEŠTAJ

### 1. Biografski podaci

Aleksandar Sremac je rođen 3. maja 1978. godine u Beogradu. Elektrotehnički fakultet u Beogradu upisao je 1997/98. Godine, a diplomirao je 2005. godine na Odseku za fizičku elektroniku (smer za optoelektroniku i lasersku tehniku), sa prosečnom ocenom 7,65 (ocena 10 za diplomski rad). Postdiplomske studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, smer Fizika i tehnika plazme i čvrstog tela, upisao je 2005. godine. Položio je sve ispite sa prosečnom ocenom 10.

Od juna 2007. godine zaposlen je u RATEL-u (Republička agencija za elektronske komunikacije) kao savetnik, a od 2013. godine kao viši savetnik na poslovima kontrole elektronskih mreža i usluga. Tečno govori engleski jezik i autor je dva rada prezentovana na domaćim skupovima.

### 2. Predmet magistarskog rada

Nanotačke su nanostrukture u kojima su nosioci konfinirani u sva 3 prostorna pravca (0 pravaca slobodnog kretanja). Stoga se sistem elektrona u tačkama naziva nultodimenzioni elektronski gas (0DEG). Elektronska struktura nanotačaka zavisi od njihovog oblika i dimenzija, koje su uslovljene tehnikama koje se koriste za proizvodnju nanotačaka. Nanotačke se najčešće formiraju od poluprovodnika, a njihov posebni oblik su aksijalno simetrične nanotačke. Aksijalno simetrične nanotačke mogu imati različite dimenzije i različite poprečne preseke (u vertikalnoj ravni). Dva posebna oblika aksijalno simetričnih nanotačaka su *nanodiskovi* i *nanoprstenovi*, koji se mogu formirati na više načina, a u praksi se izdvajaju samoasemblirani epitaksijalni rast u Stranski-Krastanov modu i tehnika modifikovane kapljične epitaksije.

Nanodiskovi i nanoprstenovi imaju sličnu elektronsku strukturu, koja se sastoji od stanja različitog orbitalnog momenta, što je posledica aksijalne simetrije obe strukture. Bitna razlika između ova dva tipa nanotačaka pojavljuje se u primenjenom magnetskom polju: u nanoprstenovima se pojavljuju preseki stanja različitog orbitalnog momenta, koji su posledica specifične dvostruko povezane topologije nanoprstenova, dok se ovi preseki ne uočavaju u elektronskoj strukturi nanodiskova. Preseki stanja različitog orbitalnog momenta dovode do oscilacija energije osnovnog stanja koje predstavljaju Aharonov-Bomov (AB) efekat. Različite zavisnosti elektronskih energija od magnetskog polja dovode do razlika u spektrima optičke karakterizacije ova dva tipa nanotačaka.

U radu su formirani modeli elektronske strukture, unutarzonske i međuzonske apsorpcije izolovanih i spregnutih nanodiskova i nanoprstenova na bazi GaAs/(Al,Ga)As heterostruktura. Analizirane su strukture sačinjene od jednog nanodiska, jednog nanoprstena, dva vertikalno spregnuta nanodiska i dva vertikalno spregnuta nanoprstena. Model elektronske strukture je zasnovan na teoriji anvelopnih funkcija u okviru aproksimacije efektivnih masa, dok su modeli unutarzonske i međuzonske apsorpcije zasnovani na dipolnoj aproksimaciji. Za numeričko rešavanje jednozonske Šredingerove jednačine korišćen je metod razvoja talasne funkcije u bazis proizvoda Besselovih funkcija zavisnih od radialne koordinate i stojećih talasa duž aksijalne koordinate cilindričnog koordinatnog sistema. Pored toga, analizirana je primena adijabatske aproksimacije, koja se svodi na razdvajanje koordinata u jednozonskoj Šredingerovoj jednačini

Analizirane nanostrukture imaju perspektivne primene za realizaciju infracrvenih detektora, lasera, nanoelektronskih i nanopintronkih naprava.

### 3. Prikaz magistarskog rada

Rad je strukturiran u pet poglavlja (Uvod, Model elektronske strukture, Teorija optičkih prelaza, Numerički rezultati i diskusija i Zaključak) i sadrži ukupno 59 strana sa 37 slika, 17 tabela i 27 referenci.

U prvom poglavlju ("Uvod") definisan je pojam nanotačaka i opisane su tehnike za proizvodnju ovih nanostrukture. Posebno su diskutovane tehnike samoasembliranog rasta u Stranski-Krastanov modu i modifikovane kapljične epitaksije, koje se koriste za izradu nanoprstenova. Ukratko je opisan Aharonov-Bomov efekat i prikazana je teorija elektronskih stanja 1D prstena u magnetskom polju, pri čemu su definisani preseki orbitalnog momenta. Naposljetku, u prvom poglavlju je definisan predmet rada, pri čemu su prikazane strukture (nanodiskovi i nanoprstenovi) analizirane u radu i ukratko su navedene karakteristike implementacije korišćenih modela na računaru.

U drugom poglavlju ("Model elektronske strukture") prikazan je teorijski model elektronske strukture nanotačaka u magnetskom polju zasnovan na teoriji anvelopnih funkcija. Detaljno je prikazan numerički metod za računanje svojstvenih stanja elektrona i šupljina u analiziranim nanostrukturama, kao i specifičnosti proračuna elektronske strukture u magnetskom polju. Naposljetku, opisana je adijabatska aproksimacija za nanotačke.

U trećem poglavlju ("Teorija optičkih prelaza") prikazana je teorija apsorpcije u nanotačkama. Zatim su izvedena selekciona pravila za unutarzonske i međuzonske prelaze u zavisnosti od polarizacije upadne svetlosti.

U četvrtom poglavlju ("Numerički rezultati i diskusija") prikazani su rezultati numeričkog proračuna za četiri analizirana tipa struktura. Najpre su u poglavlju 4.1 predstavljeni rezultati za jedan nanoprsten, zatim su u poglavlju 4.2 prikazani rezultati za jedan nanodisk, a u poglavljima 4.3 i 4.4 prikazani su i diskutovani rezultati proračuna elektronske strukture, unutarzonske i međuzonske apsorpcije sistema od dva vertikalno postavljena spregnuta nanoprstena i nanodiska, respektivno. Dobijeni numerički rezultati za četiri analizirana tipa nanostrukture su međusobno upoređeni u poglavlju 4.5. Konačno, u poglavlju 4.6 prikazani su rezultati proračuna pomoću adijabatske aproksimacije za nanodisk i nanoprsten i dobijene svojstvene energije su upoređene sa numeričkim vrednostima koje se dobijaju pomoću razvoja u bazis.

U petom poglavlju ("Zaključak") sumarno su prikazani glavni rezultati teze, ukratko su diskutovani istraženi fenomeni i formirani zaključci o mogućoj primeni rezultata ovog modelovanja.

### 4. Ocena i doprinos magistarskog rada

Po mišljenju Komisije, magistarski rad dipl. inž. Aleksandra Sremca predstavlja dobro i koncizno napisan rad u kome su, pored pregleda i sistematizacije poznatih rezultata, iskazani i samostalni naučni doprinosi kandidata. Najvažniji doprinosi teze su:

- utvrđeno je da se elektronske strukture nanotačaka i nanoprstenova razlikuju u magnetskom polju: nanoprstenovi pokazuju Aharonov-Bomov efekat, dok nanodiskovi ne pokazuju ovaj efekat;
- pokazano je postojanje apsorpcionih pikova unutarzonske apsorpcije na energijama fotona reda 10 meV, što može biti od značaja za primenu za detekciju zračenja u terahercnoj oblasti spektra;
- utvrđeno je da se magnetsko polje primenjeno na sisteme nanotačaka istih dimenzija (kada je malo nehomogeno širenje) može koristiti za podešavanje energije prelaza i povećanje maksimuma apsorpcije;
- ukazano je da se energije unutarzonskih prelaza u nanotačkama i nanoprstenovima sa povećanjem magnetskog polja pomeraju ka plavoj oblasti spektra;
- utvrđeno je da se tipično spektri međuzonske apsorpcije sastoje od većeg broja linija u odnosu na spektre unutarzonske apsorpcije;
- diskutovana je primena velikog broj apsorpcionih linija za detekciju svetlosti više talasnih dužina (višekolornu detekciju);
- pokazano je da je u prisustvu nehomogenog širenja uticaj magnetskog polja na spektre i međuzonske i unutarzonske apsorpcije mali;

- utvrđeno je da topološki fenomen Aharonov-Bomovog efekta ne zavisi od sprezanja elektronskih i šupljinskih stanja između vertikalno postavljenih nanoprstenova;
- zbog različite lokalizacije, nađene su razlike u uticaju sprezanja između nosilaca u nanodiskovima i nanoprstenovima na apsorpcione spektre;
- utvrđena je slaba zavisnost spektara unutarzonske i međuzonske apsorpcije u sistemima vertikalno spregnutih nanotačaka i nanoprstenova od magnetskog polja u prisustvu nehomogenog širenja;
- rezultati proračuna pomoću aksijalne aproksimacije ukazuju da se ovaj pristup može koristiti za modelovanje elektronske strukture nanoprstenova i nanodiskova, ali se bolji rezultati (manja greška svojstvenih energija) dobijaju za elektronska stanja u nanodiskovima, što je posledica bolje lokalizacije elektronskih stanja u njima u odnosu na nanoprstenove.

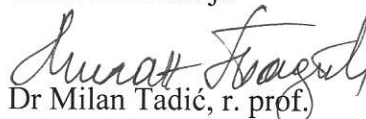
## 5. Zaključak i predlog komisije

Na osnovu pregleda i analize magistarske teze, Komisija je mišljenja da teza predstavlja samostalni rad kandidata uz korišćenje savremene literature. Komisija zaključuje da magistarski rad obuhvata značajno područje istraživanja, kako sa teorijskog, tako i sa aplikativnog aspekta. Ceneći doprinose koji su izradom magistarske teze postignuti, Komisija konstatuje da su ostvareni postavljeni ciljevi i rad pozitivno ocenjuje.

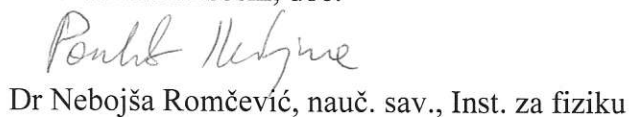
Na osnovu navedenog, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta da usvoji izveštaj i odobri Aleksandru Sremcu javnu odbranu magistarskog rada pod naslovom "Optički prelazi u aksijalno simetričnim nanotačkama u magnetskom polju".

Beograd, 26.5.2014.

Članovi Komisije

  
Dr Milan Tadić, r. prof.

  
Dr Vladimir Arsoski, doc.

  
Dr Nebojša Romčević, nauč. sav., Inst. za fiziku