

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Немање Чукарића за израду докторске дисертације.

Одлуком бр. **5030/09-1** од **08.10.2013.** године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Немање Чукарића, дипломираног инжењера-мастера електротехнике и рачунарства, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме дисертације: **„Моделовање електронских и шупљинских стања у полупроводничким наноструктурама помоћу вишезонске k.p теорије“.**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Немања Чукарић, дипл.инж.-мастер, рођен је 17.08.1985. године у Приштини. Завршио је IX гимназију у Београду. На Електротехнички факултет у Београду, Одсек физичка електроника уписао се 2004. године, а дипломирао је јула 2008. године на Смеру за наноелектронику, оптоелектронику и ласерску технику са просечном оценом 9,78. Октобра 2008. године уписао је мастер студије на Модулу за наноелектронику, оптоелектронику и ласерску технику Електротехничког факултета у Београду. Све предмете је положио са оценом 10, а јуна 2009. године одбранио је мастер рад “Вишезонски модели ефективних маса за аксијално симетричне наноструктуре у магнетском пољу”. У периоду од септембра до новембра 2008. године боравио је два месеца на Универзитету у Антверпену, Белгија, са истраживачком темом везаном за моделовање валентне зоне квантних жица у магнетском

пољу.

Од децембра 2009. године студент је докторских студија на Модулу за наноелектронику и фотонику Електротехничког факултета у Београду. Израда докторске дисертације кандидата се спроводи у оквиру споразума између Универзитета у Београду, Електротехничког факултета и Универзитета у Антверпену о изради заједничког доктората. Користећи летње паузе у настави, кандидат је у периоду 2010-2013. година више пута боравио на Универзитету у Антверпену. Тема досадашњег истраживачког рада кандидата су полупроводничке наноструктуре на бази силицијума и полупроводничке нанотачке на бази III-V једињења.

Немања Чукарић је запослен на Електротехничком факултету од марта 2009. године, најпре у звању сарадника у настави, а затим од априла 2010. године као асистент за ужу научну област Физичка електроника. Учествоје у настави из следећих предмета: Физика 1, Лабораторијске вежбе из физике 1, Квантна механика, Нанотехнологије и нанокомпоненте, Микроелектромеханички системи, Наномагнетизам и наноспинтроника и Моделовање микроелектронских направа.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је до сада положио све предвиђене испите планом студија Модула за наноелектронику и фотонику, Електротехничког факултета.

Преглед положених испита

1. Моделовање наноструктура (оцена: 10, ЕПС: 9)
2. Оптичке особине полупроводничких хетероструктура (оцена: 10, ЕПС: 9)
3. Квантна оптика (оцена: 10, ЕПС: 9)
4. Моделовање полупроводничких ласера (оцена: 10, ЕПС: 9)
5. Оптимизација и инжењеринг наноструктурних параметара (оцена: 10, ЕПС: 9)
6. Специјалне функције (оцена: 10, ЕПС: 9)
7. Електричне и оптичке карактеристике материјала у наноелектроници и фотоници (оцена: 10, ЕПС: 9)
8. Фотонски кристали и оптички метаматеријали (оцена: 10, ЕПС: 9)
9. Транспортни процеси у наноелектроници и фотоници (оцена: 10, ЕПС: 9)
10. Енглески језик (оцена: 10, ЕПС: 6)

Учешће на пројектима

- *Оптоелектронски нанодимензиони системи – пут ка примени* (III 45003), потпројект *Теорија оптичких особина наноструктура*, Министарство просвете, науке и технолошког развоја (2011.-2014.); руководилац пројекта др Небојша Ромчевић, научни саветник Института за физику; руководилац потпројекта др Милан Тадић, редовни професор.
- *Фотонске комуникације* (160001), Министарство просвете, науке и технолошког развоја (2009.-2011.), руководилац др Дејан Гвоздић, редовни професор.

Списак радова

Радови објављени у међународним часописима са СЦИ листе :

M21

1. N. Čukarić, V. Arsoski, M. Tadić, and F. M. Peeters, “*Hole states in nanocups in a magnetic field*”, PHYSICAL REVIEW B, Vol. 85, No. 23, Art. No. 235425 (11 p.), 2012 (ISSN 1098-0121, IF 3,691).
2. V. V. Ravi Kishore, N. Čukarić, B. Partoens, M. Tadić, and F. M. Peeters, “*Hole subbands in freestanding nanowires: Six-band versus eight-band k-p modelling*”, JOURNAL OF PHYSICS: CONDENSED MATTER, Vol. 24, No. 13, Art. No. 135302 (10 p.), 2012 (ISSN 0953-8984, IF: 2,546).
3. M. Tadić, N. Čukarić, V. Arsoski, and F. M. Peeters, “*Excitonic Aharonov-Bohm effect: Unstrained versus strained type-I semiconductor nanorings*”, PHYSICAL REVIEW B, Vol. 84, No. 12, Art. No. 125307 (13 p.), 2011 (ISSN 1098-0121, IF 3,691).

M22

1. V. Arsoski, N. Čukarić, M. Tadić, and F. M. Peeters, “*Exciton states in a nanocup in the presence of a perpendicular magnetic field*”, PHYSICA SCRIPTA, Vol. T149 (5 p.), 2012 (ISSN 0031-8949, IF 1.204).

M23

1. N. Čukarić, M. Tadić, and F. M. Peeters, “*Electron and hole states in a quantum ring grown by droplet epitaxy: Influence of the layer inside the ring opening*”, SUPERLATTICES AND MICROSTRUCTURES, Vol. 48, No. 5, pp. 491-501, 2010 (ISSN 0749-6063, IF 1.487).
2. M. Tadić, V. Arsoski, N. Čukarić, and F. M. Peeters, “*The optical excitonic Aharonov-Bohm effect in a few nanometer wide type-I nanorings*”, ACTA PHYSICA POLONICA A, Vol. 117, No. 6, pp. 974-977, 2010 (ISSN 0587-4246, IF 0.444).

3. N. Čukarić, M. Tadić, “*Višezonski model elektronske strukture valentne zone cilindričnih GaAs nanožica*”, HEMIJSKA INDUSTRIJA, Vol. 64, No. 3, pp. 165-170, 2010 (ISSN 0367-598X, IF 0.205).

Радови саопштени на домаћим конференцијама штампаним у целини – M63:

1. D. Topalović, S. Pavlović, N. Čukarić, M. Tadić, “*Optimalne dimenzije domena za rešavanje jednozonske Šredingerove jednačine pomoću metoda konačnih razlika i konačnih elemenata*”, Zbornik 57. konferencije ETRAN, MO2.7 (6 str.), Zlatibor, jun 2013.
2. N. Čukarić, V. Arsoski, M. Tadić, “*Višezonski modeli elektronske strukture provodne zone silicijuma*”, Zbornik radova XII Kongresa fizičara Srbije, str. 292-295, Vrnjačka Banja, april 2013.
3. V. Arsoski, N. Čukarić, M. Tadić, “*Ekscitonska stanja u poluprovodničkim nanotačkama sličnim nanoprstenovima*”, Zbornik radova XII Kongresa fizičara Srbije, str. 264-267, Vrnjačka Banja, april 2013.
4. N. Čukarić, M. Tadić, “*Šupljinska stanja u cilindričnim jezgro-omotač nanožicama*”, Zbornik radova LIV Konferencije ETRAN-a, MO3.3 (4 str.), Donji Milanovac, jun 2010.
5. N. Čukarić, M. Tadić, “*Elektronska struktura nanoprstena na nanotački u magnetskom polju*”, Zbornik radova LIV Konferencije ETRAN-a, MO3.4 (4 str.), Vrnjačka Banja, jun 2009.
6. Z. Jakšić, N. Čukarić, “*Tunable photonic crystal-based 90 degree band guides with circular, rectangular or cruciform rod cross-section for chemical sensing*”, Zbornik radova LIV Konferencije ETRAN-a, MO2.4 (4 str.), Vrnjačka Banja, jun 2009.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат поседује одговарајући ниво знања и искуства из области наноелектронике, полупроводничких наноструктура и нумеричких метода потребних за реализацију задатака и решавање проблема везаних за израду докторске дисертације. До сада је кандидат положио све испите на докторским студијама Електротехничког факултета са највишом оценом 10. Поред тога, кандидат поседује самосталност у истраживању и брзо и ефикасно усваја нова знања. Успешност кандидата у решавању проблема из области моделовања полупроводничких наноструктура огледа се у објављених 7 радова у међународним часописима са СЦИ листе и 6 радова публикованих у зборницима домаћих конференција. На основу наведених резултата кандидата, наша је процена да је кандидат у стању да успешно реализује и заврши израду докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет предложене докторске дисертације представља моделовање електронске структуре валентне и проводне зоне полупроводничких квантних јама и квантних тачака. Циљ истраживања је одређивање електронске структуре и оптичких особина квантних јама и моделовање електронских и шупљинских стања у квантним тачкама у магнетском пољу. Разматрани су системи базирани на Si и III-V једињењима.

Познато је да је силицијум полупроводник са индиректним енергетским процепом. Међутим, услед квантног конфинирања, наноструктуре на бази силицијума могу имати директан енергетски процеп. Постојање директног процепа у силицијумској наноструктури зависи од величине наноструктуре. Стања шупљина могу се одредити помоћу 6-зонског Латинџер-Коновог **k.p** модела, који експлицитно узима у обзир мешање између зона тешких шупљина, лаких шупљина и отцепљене зоне. Разлог узимања отцепљене зоне у обзир је мала вредност енергије цепања услед спин-орбитне интеракције у силицијуму ($\Delta=44$ meV). Због чињенице да је силицијум полупроводник са индиректним енергетским процепом, теорија електронских стања захтева коришћење сложеног 30-зонског модела. Овај модел је погодан за опис дисперзионих релација енергетских зона у целој првој Брилуеновој зони. Међутим, установљено је да вишезонски **k.p** модели реда већег од 6 показују појаву лажних решења када се примене на наноструктуре. Ова решења су последица некомплетног описа зонске структуре масивних материјала од којих је наноструктура начињена помоћу **k.p** теорије. У литератури су предложена разна решења за њихово уклањање, али не постоји општи приступ. Она се такође појављују у прорачунима базираним на 30-зонском моделу, али њихово порекло у силицијумским квантним јамама до сада није анализирано. Коректан теоријски опис енергетског спектра је предуслов за коректно моделовање оптичких особина наноструктура.

На основу израчунатих електронских и шупљинских стања, биће моделовани спектри међузонске апсорпције у Si/SiO₂ квантним јамама. Циљ је да се одреди како ширина квантне јаме утиче на постојање и вредност директног енергетског процепа. Такође, биће одређена зависност матричних елемената међузонских оптичких прелаза од ширине квантне јаме. Коришћени 30-зонски модел ће такође бити примењен на GaAs/AlGaAs квантне јаме. Биће одређена зависност подзонских дисперзионих релација у проводној и валентној зони од ширине квантне јаме. Ове дисперзионе релације ће затим бити упоређене са оним који се добијају помоћу једнозонског модела стања у проводној зони и 4-зонског Латинџер-Коновог модела стања у валентној зони, респективно. Значајан аспект овог истраживања је утврђивање постојања директног

енергетског процепа. Моделовање међузонске апсорпције је од значаја за примене силицијумских наноструктура у фотоници, као што су соларне ћелије и ласери.

Предмет другог дела дисертације биће моделовање електронске структуре квантних тачака у магнетском пољу. Облик анализираних квантних тачака је сличан облику експерименталних нанопрстенова, које су несавршени прстенови са танким слојем који испуњава номинални отвор прстена. Ове квантне тачке се могу схватити као композитне структуре сачињене од квантног диска окруженог квантним прстеном и сличне су експерименталним нанопрстеновима који се реализују техником епитаксије у Странски-Крастанов моду и техником модификоване капљичне епитаксије. Разматране су ненапрегнуте квантне тачке на бази хетероспоја GaAs/AlGaAs и напрегнуте квантне тачке на бази хетероспојева InGaAs/GaAs . За оба анализирана система примерен модел електронских стања у проводној зони је једнозонска Шредингера једначина по теорији ефективних маса. Примерени модел шупљинских стања је 4-зонски Латинцер-Конов модел, који је у напрегнутој структури допуњен члановима који представљају утицај механичког напрезања на електронску структуру (Пикус-Биров модел). Структуре са двоструко повезаном топологијом (прстенасте структуре), показују појаву Ахаронов-Бомовог (АБ) ефекта, који се манифестује осцилацијама енергије основног стања електрона и шупљине са порастом магнетског поља. Ове осцилације су последица пресека угаоног момента. Квантни дискови имају једноструко повезану топологију, па пресеци угаоног момента једночестичних стања са порастом магнетског поља не постоје. Постојање слоја унутар номиналног отвора нанопрстена доводи до промене облика и периода АБ осцилација. Циљ предложеног истраживања је испитивање утицаја дебљине слоја унутар прстена на АБ осцилације, како у проводној тако и у валентној зони. Уз то, посебно ће бити размотрен утицај мешања зона тешких и лаких шупљина на АБ ефекат у валентној зони. Поред сложеног облика анализираних InGaAs/GaAs квантних тачака сличних прстеновима, биће размотрен утицај напрезања на облик и период АБ осцилација електрона и шупљина. Напоследку, биће размотрено мешање зоне тешких шупљина, зоне лаких шупљина и отцепљене зоне у Si/SiGe квантним тачкама сличним прстеновима формираним у Странски-Крастанов моду епитаксијалног раста. Добијени резултати за електронску структуру валентне зоне Si/SiGe квантних тачака сличних прстеновима биће упоређени са резултатима добијеним за сличне GaAs/AlGaAs и InGaAs/GaAs квантне тачке. Ово истраживање је значајно за разумевање утицаја несавршености облика експерименталних нанопрстенова на енергетске спектре електрона и шупљина и може послужити за моделовање ексцитона и фотолуминисцентних спектра квантних тачака у магнетском пољу.

Релевантни библиографски подаци

Кандидат ће у раду на тези користити библиографске изворе који се баве: (1) заснивањем и применом вишезонских **k.p** модела, (2) електронском структуром и оптичким особинама силицијумских квантних јама и (3) рачунањем електронских и шупљинских стања у квантним тачкама у магнетском пољу. Најважније коришћене референце су:

1. W. W. Chow, “*Model for direct-transition gain in a Ge-on-Si laser*”, Applied Physics Letters, Vol. 100, Art. No. 191113 (3 p.), 2012.
2. R. Jansen, “*Silicon spintronics*”, Nature Materials, Vol. 11, pp. 400-408, 2012.
3. F. Michelini and I. Ouerghi, “*Interband optical properties of silicon [001] quantum wells using a two-conduction-band model*”, Applied Physics Letters, Vol. 99, Art. No. 221912 (3 p.), 2011.
4. C. Somaschini, S. Bietti, S. Sanguinetti, N. Koguchi, and A. Fedorov, “*Self-assembled GaAs/AlGaAs coupled quantum ring-disk structures by droplet epitaxy*”, Nanotechnology, Vol. 21, pp. 125601-125606, 2010.
5. I. Saidi, S. Ben Radhia, and K. Boujdaria, “*Band parameters of GaAs, InAs, InP, and InSb in the 40-band k.p model*”, Journal of Applied Physics, Vol. 107, Art. No. 043701 (8 p.), 2010.
6. J. Xiang, W. Lu, Y. Hu, Y. Wu, H. Yan, and C.M. Lieber, “*Ge/Si nanowire heterostructures as high-performance field-effect transistors*”, Nature, Vol. 441, pp. 489-493, 2006.
7. H. Peelaers, B. Partoens, and F. M. Peeters, “*Formation and segregation energies of B and P doped, and BP codoped silicon nanowires*”, Nano Letters, Vol. 6, pp. 2781-2784, 2006.
8. D. Rideau, M. Feraille, L. Ciampolini, M. Minondo, C. Tavernier, H. Jaouen, and A. Ghetti, “*Strained Si, Ge, and Si_{1-x}Ge_x alloys modelled with a first-principle-optimized full-zone k.p method*”, Physical Review B, Vol. 74, Art. No. 195208 (20 p.), 2006.
9. M. El Kurdi, S. Sauvage, G. Fishman, and P. Boucaud, “*Band-edge alignment of SiGe/Si quantum wells and SiGe/Si self-assembled islands*”, Physical Review B, Vol. 73, Art. No. 195327 (8 p.), 2006.
10. S. Richard, F. Aniel, and G. Fishman, “*Band diagrams of Si and Ge quantum wells via the 30-band k.p method*”, Physical Review B, Vol. 72, Art. No. 245316 (7 p.) (2005).
11. S. Viefers, P. Koskinen, P. S. Deo, and M. Manninen, “*Quantum rings for beginners: energy spectra and persistent currents*”, Physica E (Amsterdam), Vol. 21, pp. 1-35, 2004.
12. J. I. Climente, J. Planelles, and J. L. Movilla, “*Magnetization of nanoscopic quantum rings and dots*”, Physical Review B, Vol. 70, Art. No. 081301 (4 p.), 2004.

13. M. Tadić, F. M. Peeters, and K. L. Janssens, “*Effect of isotropic versus anisotropic elasticity on the electronic structure of cylindrical InP/In_{0.49}Ga_{0.51}P self-assembled quantum dot*”, Physical Review B, Vol. 65, Art. No. 165333 (13 p.), 2002.
14. R. J. Warburton, C. Schaflein, D. Haft, F. Bickel, A. Lorke, K. Karrai, J. M. Garcia, W. Schoenfeld, and P. M. Petroff, “*Optical emission from a charge-tunable ring*”, Nature, Vol. 405, pp. 926-929, 2000.
15. F. B. Pedersen and Y.C. Chang, “*Energy levels of one and two holes in parabolic quantum dots*”, Physical Review B, Vol. 53, pp. 1507-1516, 1996.
16. T. Ando, A. B. Fowler, and F. Stern, “*Electronic properties of two-dimensional systems*”, Reviews of Modern Physics, Vol. 54, pp. 437-672, 1982.
17. M. Cardona and F. H. Pollak, “*Energy-band structure of germanium and silicon: the k.p method*”, Physical Review, Vol. 142, pp. 530-543, 1966.

3. Полазне хипотезе

Масивни силицијум има индиректни енергетски процеп, са минимум проводне зоне у околини Х тачке у Брилуеновој зони. Оптимизовани базис за моделовање стања у проводној зони силицијумске квантне јаме састоји се од стојећих таласа чији су таласни вектори симетрично распоређени у односу на таласни вектор минимума проводне зоне. У уским силицијумским квантним јамама, међутим, само неколико вредности таласног вектора стања која чине базис може се налазити у првој Брилуеновој зони. И овде се очекује појава лажних решења, али се очекује и да их је могуће ефикасно контролисати. Поред тога, специфични гранични услови у случају бесконачно дубоке правоугаоне дубоке квантне јаме захтевају посебан третман. С друге стране, за коначан зонски офсет експоненцијално опадање анвелопних функција у областима баријера би требало да значајно поједностави нумеричко решавање.

Због преклапања електронске структуре масивног силицијума услед квантног конфинирања у наноструктури, најмања енергија међузонских оптичких прелаза може потицати од прелаза између стања у Г тачки. Очекује се да промене спектра електронских и шупљинских стања са смањењем ширине квантне јаме доводе до промене матричних елемената међузонских оптичких прелаза.

Код разматраних квантних тачака сличних прстеновима, очекује се да се локализација електрона и шупљине мења из прстена у диск са порастом дебљине диска. Слична промена се може очекивати са променом ширине прстена за дату вредност унутрашњег полупречника прстена или са променом унутрашњег полупречника прстена за дату ширину прстена. Поред тога, релокализација електронских и шупљинских стања из диска у прстен са повећањем дебљине диска у оваквој квантној тачки доводи до

промене облика и периода Ахаронов-Бомових осцилација електронских и шупљинских стања у магнетском пољу.

Напоследку, напрезање има значајан утицај на ефективне потенцијале који конфинирају шупљине у квантним тачкама сличним прстеновима. Претпостављамо да напрезање фаворизује конфинирање шупљине у диску, што доводи до значајније промене облика и периода АБ осцилација основног стања шупљина у односу на ненапрегнуте квантне тачке истог облика.

4. Научне методе истраживања

- За моделовање електронске структуре силицијумских квантних јама биће коришћен 30-зонски **k.p** модел. Ова теорија моделује и електронска и шупљинска стања и може се применити на наноструктуре базиране на индиректним полупроводницима.
- Биће формиран оригинални алгоритам за уклањање лажних решења, који ће затим бити искоришћен за селекцију стања која учествују у међузонским оптичким прелазима.
- Међузонска апсорпција ће бити израчуната под претпоставком диполне апроксимације и користећи временски зависну теорију пертурбација.
- Шупљинска стања у GaAs/(Al,Ga)As квантним тачкама ће бити израчуната помоћу 4-зонског Латинцер-Коновог модела.
- Шупљинска стања у напрегнутим (In,Ga)As/GaAs квантним тачкама ће бити израчуната помоћу 4-зонског Пикус-Бировог формализма.
- Шупљинска стања у напрегнутим Si/SiGe квантним тачкама ће бити израчуната помоћу 6-зонског Пикус-Бировог формализма.
- Расподела напрезања биће израчуната користећи апроксимацију изотропне еластичности у оквиру континуално механичког модела.
- У 4-зонским и 6-зонским моделима шупљинских стања биће коришћена аксијална апроксимација.
- За рачунање електронских стања у проводној зони свих истражених квантних тачака биће коришћена једнозонска Шредингера једначина.

За нумерички прорачун биће коришћени следећи методи:

- развој анвелопних функција у полупроводничким квантним јамама у погодно формиран базис $\sin/\cos$ стојећих таласа;

- метод коначних елемената за илустрацију појаве лажних решења у полупроводничким квантним јамама;

- развој анвелопних функција у квантним тачкама у базис формиран од производа $\sin/\cos$ стојећих таласа у правцу нормалном на основу квантне тачке и Беселових функција прве врсте у радијалном правцу цилиндричног координатног система.

Развијени програми су написани у програмским језицима C#, Fortran, Matlab и Comsol Multiphysics.

5. Очекивани научни доприноси

У оквиру ове дисертације очекују се следећи резултати:

- Увид у порекло лажних решења у 30-зонском **k.p** моделу примењеном на силицијумске квантне јаме.
- Формирање ефикасног алгоритма за уклањање лажних решења из енергетског спектра силицијумске квантне јаме.
- Разумевање утицаја ефеката квантног конфинирања и преклапања зона у Γ тачку на спектар међузонске апсорпције у силицијумским квантним јамама.
- Оцена тачности једнозонског и 4-зонског **k.p** модела у функцији дебљине GaAs/AlGaAs квантне јаме, при чему ће референтни резултати бити добијени помоћу 30-зонског модела.
- Разумевање утицаја слоја унутар номиналног отвора квантних прстенова и мешања зона на АБ осцилације шупљинских стања у реалистичним GaAs/(Al,Ga)As нанопрстеновима у магнетском пољу.
- Процена утицаја напрезања на електронску структуру (In,Ga)As/GaAs квантних тачака у магнетском пољу.
- Прорачун шупљинских АБ осцилација у Si/SiGe квантним тачкама сличним прстеновима и увид у утицај отцепљене зоне на период и облик ових осцилација.

Ови резултати могли би да се примене за развој нових фотонских направа, као што су ласери, инфрацрвени детектори и соларне ћелије.

6. План истраживања и структура рада

Истраживање ће се одвијати у неколико фаза. У почетној фази ће бити начињен преглед **k.p** теорије и различитих **k.p** модела, са посебним освртом на моделе наноструктура сачињених од материјала са индиректним енергетским процепом. Такође

ће бити начињен преглед Ахаронов-Бомовог ефекта. У другој фази биће испитан утицај специфичних граничних услова на тачност решавања и појаву лажних решења у 30-зонском **k.p** моделу примењеном на силицијумску квантну јаму са бесконачним скоком потенцијала на местима хетероспојева. Биће формиран алгоритам за уклањање ових решења из енергетског спектра. Затим ће развијени програм за 30-зонско моделовање бити примењен на полупроводничке квантне јаме сачињене од материјала са директним енергетским процепом. У трећој фази ће бити формиран модел оптичких прелаза у силицијумским квантним јамама. У завршној фази биће моделована електронска структура квантних тачака сличних прстеновима у магнетском пољу. За ову намену биће развијени 4-зонски модели шупљинских стања у квантним тачкама, који узима у обзир напрезање у оквиру Пикус-Бировог формализма. Биће испитан утицај дебљине слоја који покрива номинални отвор прстена и механичког напрезања на облик и период Ахаронов-Бомових осцилација. Такође ће бити одређена зависност магнетизације од магнетске индукције.

Дисертација ће имати следећу структуру. У уводу ће бити направљен преглед основа производње силицијумских квантних јама и квантних тачака. Такође ће бити дискутоване специфичне особине ових наноструктура које су последица индиректног енергетског процепа у силицијуму. Потом ће бити приказане технике производње и основне особине квантних тачака. У теоријском делу дисертације биће приказане основе **k.p** теорије, Латинџер-Конов, Пикус-Биров и 30-зонски хамилтонијан. Модел електронске структуре у магнетском пољу и Ахаронов-Бомов ефекат биће такође описани у овом делу. Поред тога, у овом делу ће бити приказан нумерички поступак за решавање својственог проблема. Нумерички резултати за квантне јаме базиране на Si и III-V једињењима ће бити презентовани и дискутовани у трећем делу дисертације. Резултати прорачуна електронске структуре квантних тачака у нормалном магнетском пољу и дискусија ових резултата биће дата у четвртном делу дисертације. У закључку ће бити дат збирни преглед дисертације, посебно оних који се односе на разматрање утицаја мешања зона, напрезања и магнетског поља на електронску структуру и оптичке особине полупроводничких квантних јама и квантних тачака.

7. Закључак и предлог

На основу приложене документације, као и непосредног увида у досадашњи научни рад кандидата Немање Чукарића, дипломираног инжењера-мастера електротехнике и рачунарства, Комисија је закључила да:

1. кандидат испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду за одобрење теме за израду докторске дисертације;

2. предложена тема **„Моделовање електронских и шупљинских стања у полупроводничким наноструктурама помоћу вишезонске к.р теорије“** је научно заснована, а резултати до којих ће се доћи израдом ове дисертације биће значајан и оригиналан допринос областима моделовања наноструктура и наноелектроници.

Због тога Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да кандидату Немањи Чукарићу одобри израду докторске дисертације под наведеним називом, а под менторством др Милана Тадића, редовног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду и др François M. Peetersa, редовног професора Универзитета у Антверпену (Департман за физику), Белгија.

Студент докторских студија спроводи истраживања у вези са предложеном темом на Универзитету у Београду и Универзитету у Антверпену, према споразуму склопљеном између два универзитета и Електротехничког факултета.

Докторска дисертација ће бити написана на енглеском језику.

У Београду и Антверпену, 24. 10. 2013.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Милан Тадић, редовни професор

Универзитет у Београду - Електротехнички
факултет, Београд, Србија

Dr. François M. Peeters, full professor

Department of Physics, University of Antwerp,
Antwerpen, Belgium

Др Дејан Гвоздић, редовни професор

Универзитет у Београду-Електротехнички
факултет, Београд, Србија