

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Душана Топаловића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 5008/13-1 од 19.12.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Душана Топаловића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Анализа и моделовање електронских стања у HgTe наноструктурама“.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Душан (Бранислав) Топаловић рођен је 28.03.1989. године у Прибоју. Основну школу и гимназију је завршио у Новој Вароши као носилац Вукове дипломе. Основне академске студије на Електротехничком факултету у Београду на студијском програму Електротехника и рачунарство уписао је 2008. године. Дипломирао је 29.06.2012. године на одсеку за Физичку електронику, смер Наноелектроника, оптоелектроника и ласерска техника, са просечном оценом 8,64 и одбрањеним завршним радом „Упоредна анализа методе коначних разлика и методе коначних елемената за решавање Шредингерове једначине у раванској геометрији“, чиме је стекао стручно звање дипломирани инжењер електротехнике и рачунарства. Мастер академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Електротехника и рачунарство, модул Наноелектроника и фотоника, уписао је 2013. године. Мастер академске студије је завршио 03.07.2013. године са просечном оценом 10, одбранивши завршни рад „Спин-орбитна интеракција у валентној зони полупроводничке квантне јаме“, чиме је стекао стручно звање мастер инжењер електротехнике и рачунарства. Докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, модул Наноелектроника и фотоника уписао је 2013. године. Од 01.10.2013. године запослен је у Лабораторији за заштиту од зрачења и заштиту животне средине, Института за нуклеарне науке „Винча“, Универзитета у Београду, где је ангажован на истраживању оптималних метода калибрације сензора за широку примену помоћу метода вештачке интелигенције. У звање истраживач сарадник је изабран 02.04.2015. године, а реизабран 26.04.2018. године. Додатна усавршавања је стекао као гостујући истраживач на Департману за физику, Универзитета у Антверпену, Антверпен, Белгија 2013. године и на Норвешком институту за истраживање ваздуха, Кјелер, Норвешка 2015. године. Од школске

2018/19. године ангажован је приликом извођења наставе на Машинском факултету, Универзитета у Београду, на предмету Електротехника, на катедри за Физику и електротехнику. Служи се енглеским језиком.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат Душан Топаловић, мастер инжењер електротехнике и рачунарства је уписао докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду школске 2013/14. године, студијски програм Електротехника и рачунарство, модул Наноелектроника и фотоника.

Преглед положених испита:

1. Моделовање хетероструктурних микроелектронских направа (Оцена: 10; ЕСПБ: 9),
2. Пројектовање интегрисаних кола (Оцена: 10; ЕСПБ: 9),
3. Оптичке особине полупроводничких хетероструктура (Оцена: 10; ЕСПБ: 9),
4. Моделовање саобраћаја у М2М комуникационим системима (Оцена: 10; ЕСПБ: 9),
5. Моделовање наноструктура (Оцена: 10; ЕСПБ: 9),
6. Квантна оптика (Оцена: 10; ЕСПБ: 9),
7. Неуралне мреже (Оцена: 10; ЕСПБ: 9),
8. Простирање оптичких таласа у комплексним срединама (Оцена: 10; ЕСПБ: 9),
9. Увод у научни рад (Оцена: 10; ЕСПБ: 9),
10. Оптимизација и инжењеринг наноструктурних параметара (Оцена: 10; ЕСПБ: 9).

Преглед завршених обавеза током студија:

1. Студијски истраживачки рад I (ЕСПБ: 15),
2. Студијски истраживачки рад II (ЕСПБ: 15),
3. Научно стручни рад (ЕСПБ: 3).

Кандидат је остварио укупно 120 ЕСПБ бодова са просечном оценом 10,00.

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду, члана 74. Статута Универзитета у Београду-Електротехничког факултета и захтева студента (кандидата), кандидату је одобрено продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма.

Кандидат је положио испит о подобности теме и кандидата (докторски испит) са оценом „задовољно“, при чему је јавно усмено излагање одржано 27.12.2019. године.

Списак објављених научних радова кандидата:

М21-Рад у врхунском међународном часопису:

1. Topalović D. B., Arsoski V. V., Tadić M. Ž., Peeters F. M.: *Confined electron states in two-dimensional HgTe in magnetic field: Quantum dot versus quantum ring behavior*, -Physical Review B, Vol 100, No 12, 2019, pp. 125304. (IF=3.736), DOI: 10.1103/PhysRevB.100.125304.

M33-Саопштење са међународног скупа штампано у целини:

1. Topalović D. B., Čukarić N. A., Arsoski V. V., Tadić M. Ž.: *Detection of helical edge states in square shaped HgTe quantum dots*, -Proceedings of 4th International Conference on Electrical, Electronics and Computing Engineering, IcETRAN 2017, Kladovo, 2017, pp. MOI3.3-1-5, ISBN: 978-86-7466-692-0.

M34-Саопштење са међународног скупа штампано у изводу:

1. Topalović D. B., Arsoski V. V., Tadić M. Ž., Peeters F. M.: *Tunable quantum phase transitions in asymmetric HgTe/Cd_xHg_{1-x}Te double quantum wells*, -Abstracts of tutorial, keynote, invited lectures, progress reports and contributed papers of The Seventh International School and Conference on Photonics, Photonica 2019, Belgrade, 2019, pp. 109, ISBN: 978-86-7306-153-5.
2. Topalović D. B., Arsoski V. V., Tadić M. Ž., Peeters F. M.: *Magnetic-field dependence of the electronic and optical properties of hexagonal-shaped 2D HgTe quantum dots and quantum rings*, -The 20th Symposium on Condensed Matter Physics, SFKM 2019, Belgrade, 2019, pp. 94.
3. Topalović D. B., Arsoski V. V., Čukarić N. A., Tadić M. Ž.: *Electronic and optical properties of square HgTe quantum dots*, -Abstracts of tutorial, keynote, invited lectures, progress reports and contributed papers of The Sixth International School and Conference on Photonics, Photonica 2017, Belgrade, 2017, pp. OM19-98, ISBN: 978-86-82441-46-5.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу стеченог научно-истраживачког искуства и постигнутих научних резултата, Комисија сматра да кандидат Душан Топаловић, мастер инжењер електротехнике и рачунарства, суштински задовољава потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације „Анализа и моделовање електронских стања у HgTe наноструктурама“.

2. Предмет и циљ истраживања

У физици кондензованог стања су од посебног интереса структуре формиране од једног или више полупроводника које имају бар једну димензију мању од 100 nm. Оне су у литератури познате под називом *полупроводничке квантне наноструктуре* јер су у њима изражени квантно-механички ефекти. Наиме, када је димензија структуре упоредива са де Брољевом (франц. *de Broglie*) таласном дужином електрона, долази до квантизације енергетских стања. Када ови квантни ефекти одређују принцип функционисања направе чија се конструкција заснива на разматраној структури, реч је о квантној наноструктури. Наноструктуре могу бити различите димензионалности, а најчешће су анализиране структуре у форми јаме, жице и тачке [1-3]. У полупроводничким квантним јамама кретање електрона је ограничено у једном просторном правцу, а слободно у преостала два. Под одређеним условима може доћи до акумулације танког слоја електрона у одређеној области

наноструктуре, такозваног *двоструког електронског гаса*. Посебно интересантни су системи вишеструких квантних јама у којима су енергетски нивои организовани у подзоне које су настале „цепањем“ зона које су карактеристика електронске структуре појединачне квантне јаме [4,5]. За разлику од квантних јама, квантне тачке су системи у којима је кретање носилаца ограничено у сва три просторна правца. Услед тога су енергетска стања дискретна, слично као у атомима, те је уобичајено да се говори о формирању такозваног *нултодимензионог електронског гаса*. Посебно интересантна форма квантне тачке је квантни прстен, где је кретање електрона додатно ограничено услед постојања централног отвора, што у тополошком смислу структуру чини двоструко повезаном. Последица ове специфичне морфологије је постојање ефеката квантне интерференције попут Ахаронов-Бомовог (*Aharonov-Bohm*) ефекта који се манифестује у виду осцилација енергија дискретних стања са променом магнетског поља [6,7]. Предмет истраживања ове дисертације су полупроводничке наноструктуре у форми квантне јаме, тачке и прстена.

Веома познато једињење, које има велике примене у оптичим детекторима, је живателурид (хемијска ознака HgTe). Скорашња теоријска и експериментална истраживања указују на низ потенцијалних примена у наноелектроници [8-10]. При производњи направа ово једињење се често нараста у форми кристала металорганском епитаксијом из парне фазе [11]. HgTe је бинарно хемијско једињење и припада групи II-VI тетраедрално координисаних полупроводника. У кристалној решетки сваки атом из II групе (Hg) је повезан са четири атома из VI групе (Te) јаким ковалентним везама које међусобно заклапају угао 109,5°. Кристална структура је сфалеритна и представљена је површински центрираном кубичном кристалном решетком ($F\bar{4}3m$ просторна група). Атомски пар (димер) на позицијама (0,0,0) и (1/4,1/4,1/4) у јединичној ћелији дефинише примитивну ћелију чијом се translацијом може репродуковати кристал [8]. Ковалентне везе у материјалу су формиране између 6s електрона Hg атома и 5p електрона Te атома. Пошто Hg и Te припадају групи тешких атома, релативистичке корекције позиције енергетских нивоа у HgTe су веома изражене што у масивном полупроводнику доводи до зонске инверзије која овај материјал чини тополошким полуметалом [12,13]. Стање са Γ_8 симетријом, које је дегенерисано у Γ тачки и састоји се од зоне тешких шупљина (скр. HH; енгл. *Heavy Hole*) и зоне лакших шупљина (скр. LH; енгл. *Light Hole*), је енергетски изнад стања са Γ_6 симетријом која формирају (једну) недегенерисану зону. Зона ниже енергије са Γ_6 симетријом је попуњена носиоцима који би у неинвертованом материјалу попуњавали једну од зона са Γ_8 симетријом. Услед ове „прерасподеле“ наелектрисања, HH зона је претежно заузета и представља валентну зону, док је LH зона претежно непопулисана и има улогу проводне зоне [12]. Услед квантног конфинирања наелектрисања у структурама коначних димензија, попут квантних јама и тачака, енергетска стања у околини центра зоне су померена у односу на вредности у масивном материјалу (балку). За довољно мале димензије наноструктуре може доћи до отварања процепа између Γ_8 зона што може бити праћено транзицијом структуре у стање *тополошког изолатора*.

За разлику од нормалног изолатора, тополошки изолатор поседује енергетски процеп у балку и стања локализована по ивицама (површини) која су заштићена временски инверзном симетријом. Од посебног интереса са становишта дисертације су HgTe наноструктуре која се под одређеним условима могу наћи у стању такозваног *двоструког (2D) тополошког изолатора*, који се још назива и квантни спински Хол (енгл. *Quantum Spin Hall*; скр. QSH) изолатор [14,15]. Поједностављени ефективни теоријски модели предвиђају постојање QSH стања у HgTe/Cd_xHg_{1-x}Te квантним јамама [14]. За релативно велике дебљине HgTe материјала јаме проводна и валентна зона су инвертоване, слично као у масивном материјалу. Када дебљина јаме достигне критичну вредност $d_c=6,3$ nm долази до тополошког прелаза [14], што је потврђено и у скорашњим експериментима [15]. Могућност прелаза у нетривијална тополошка стања карактеристика је и сложенијих структура попут симетричне двоструке квантне јаме засноване на HgTe/Cd_xHg_{1-x}Te хетероспоју. У симетричним структурама тополошка транзиција се може контролисати

помоћу спољашњег електричног поља. Амплитуда поља неопходна за прелаз у стање тополошког изолатора може довести до електричног пробоја материјала и трајног механичког оштећења. Алтернатива је увођење мале асиметрије у структуру која доводи до отварања процепа [16], што ефективно смањује амплитуду поља неопходну за тополошку транзицију. Циљ истраживања је да се спроведе детаљна анализа асиметричних двоструких $\text{HgTe}/\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ квантних јама и испита утицај асиметрије на зонску структуру. Иницијални резултати указују на псеудоспински базирану физику у асиметричним структурама, која је слична оној у двослојном графену без долињске дегенерације. Ово би отворило могућност за примену $\text{HgTe}/\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ хетероструктура у реализацији нових тополошких спинских транзистора са ефектом поља [17].

Прорачун фононске дисперзије монослоја HgTe указао је на динамичку стабилност овог материјала у 2Д форми, што отвара могућност реализације танкослојних HgTe направа. За разлику од најпознатијег 2Д материјала графена, монослој HgTe није савршено планаран. Атоми Hg и Te су померени у нормалном правцу у односу на раван у чијој се пројекцији формира структура облика пчелињег саћа, слична структури графена. За структуре нанометарских димензија процеп између валентне и проводне зоне је реда eV због ефекта јаког конфинирања у све три димензије. Скорашња теоријска истраживања указују на појаву дискретних стања око Фермијевог нивоа [18]. Ова стања су локализована дуж ивице структуре, па се често називају и *ивична стања*. Може се показати да постоји значајна вероватноћа прелаза између ивичних стања блиских по енергијама, што у оптичком смислу овакве структуре чини погодним за реализацију детектора у терахерцној области далеког инфрацрвеног дела спектра. Експериментално реализовани мезоскопски HgTe квантни прстенови указују на постојање АБ ефекта у квантним прстеновима. Нове технологије 2Д материјала указују на могућност фабрикације наноскопских квантних тачака и прстенова реда десетак нанометара. Теоријска истраживања указују на постојање неколико механизма за манифестацију АБ ефекта. Код одређених геометрија могућа је појава осцилација чак и у квантним тачкама, што је последица ефеката квантне интерференције везане за ивична стања [18]. Циљ истраживања је да се испитају електронска и оптичка својства 2Д квантних тачака и прстенова различите геометрије, као и могућности контроле њихових особина подешавањем облика, типа ивица и интензитета спољашњег магнетског поља. Овакве структуре би имале велику примену у савременим оптоелектронским уређајима у инфрацрвеном делу оптичког спектра, као и за модерне квантне интерферометре.

Релевантне референце у вези са темом:

1. Harrison P.: *Quantum Wells, Wires and Dots: Theoretical and Computational Physics of Semiconductor Nanostructures*, Chichester: Wiley (2005).
2. Woggon U.: *Optical Properties of Semiconductor Quantum Dots*, Berlin: Springer (1997).
3. Brus L. E.: *A simple model for the ionization potential, electron affinity, and aqueous redox potentials of small semiconductor crystallites*, -Journal of Chemical Physics, Vol 79, No 11, 1983, pp. 5566.
4. Michetti P., Budich J. C., Novik E. G., Recher P.: *Tunable quantum spin Hall effect in double quantum wells*, -Physical Review B, Vol 85, No 12, 2012, pp. 125309.
5. Liu C., Hughes T. L., Qi X., Wang K., Zhang S.: *Quantum Spin Hall Effect in Inverted Type-II Semiconductors*, -Physical Review Letters, Vol 100, No 23, 2008, pp. 236601.
6. Levy Yeyati A., Büttiker M.: *Aharonov-Bohm oscillations in a mesoscopic ring with a quantum dot*, -Physical Review B, Vol 52, No 20, 1995, pp. R14360-R14363.
7. Bruno-Alfonso A., Latgé A.: *Aharonov-Bohm oscillations in a quantum ring: Eccentricity and electric-field effects*, -Physical Review B, Vol 71, No 12, 2005, pp. 125312.
8. Zheng H., Li X. B., Chen N. K., Xie S. Y., Tian W. Q., Chen Y., Xia H., Zhang S. B., Sun H. B.: *Monolayer II-VI semiconductors: A first-principles prediction*, -Physical Review B, Vol 92, No 11, 2015, pp. 115307.

9. Fu H., Gao J. H., Yao K. L.: *Topological field-effect quantum transistors in HgTe nanoribbons*, -Nanotechnology, Vol 25, No 22, 2014, pp. 225201.
10. Hafiz S. B., Scimeca M., Sahu A., Ko D. K.: *Colloidal quantum dots for thermal infrared sensing and imaging*, -Nano Convergence, Vol 6, No 7, 2019, pp. 1-22.
11. Irvine S. J. C., Mullin J. B., Royle A.: *Epitaxial growth of HgTe by a MOVPE process*, - Journal of Crystal Growth, Vol 57, No 1, 1982, pp. 15-20.
12. Yan B., Zhang S. C.: *Topological materials*, -Reports on Progress in Physics, Vol 75, No 9, 2012, pp. 096501.
13. Sengupta P., Kubis T., Tan Y., Povolotskyi M., Klimeck G.: *Design principles for HgTe based topological insulator devices*, -Journal of Applied Physics, Vol 114, No 4, 2013, pp. 043702.
14. Bernevig B. A., Hughes T. L., Zhang S. C.: *Quantum Spin Hall Effect and Topological Phase Transition in HgTe Quantum Wells*, Science, Vol 314, No 5806, 2006, pp. 1757-1761.
15. König M., Wiedmann S., Brüne C., Roth A., Buhmann H., Molenkamp L. W., Qi X. L., Zhang S. C.: *Quantum Spin Hall Insulator State in HgTe Quantum Wells*, Science, Vol 318, No 5852, 2007, pp. 766-770.
16. Topalović D. B., Arsoski V. V., Tadić M. Ž., Peeters F. M.: *Tunable quantum phase transitions in asymmetric HgTe/Cd_xHg_{1-x}Te double quantum wells*, -Abstracts of tutorial, keynote, invited lectures, progress reports and contributed papers of The Seventh International School and Conference on Photonics, Photonica 2019, Belgrade, 2019, pp. 109, ISBN: 978-86-7306-153-5.
17. Michetti P., Trauzettel B., *Devices with electrically tunable topological insulating phases*, - Applied Physics Letters, Vol 102, No 6, 2013, pp. 063503.
18. Topalović D. B., Arsoski V. V., Tadić M. Ž., Peeters F. M.: *Confined electron states in two-dimensional HgTe in magnetic field: Quantum dot versus quantum ring behavior*, -Physical Review B, Vol 100, No 12, 2019, pp. 125304.

3. Полазне хипотезе

- У асиметричним двоструким HgTe/Cd_xHg_{1-x}Te квантним јамама, енергетски процеп између стања са укупним моментом $j=3/2$ се може подешавати варирањем односа дебљина HgTe јама, као и варијацијом молског удела (x) CdTe у Cd_xHg_{1-x}Te баријерама;
- При одређеној вредности фактора асиметрије могуће је присуство полуметалне фазе која је слична двослојном графену;
- Увођење асиметрије код двоструким HgTe/Cd_xHg_{1-x}Te квантних јама може довести до просторне раздвојености стања у проводној и валентној зони;
- У електронском спектру једнослојних HgTe наноструктура већина стања, која су у суштини дискретна, су претежно организована у густо популисане подзоне, које су раздвојене енергетским процепима;
- Стања организована у подзоне имају особине сличне стањима у структурама мезоскопских димензија;
- У појединим енергетским процепима 2Д HgTe наноструктура ће се појавити јасно издвојена дискретна стања, која су просторно локализована на ивичним атомима наноструктуре;
- Постоји могућност прелаза између енергетски блиских ивичних стања, што доводи до појаве оштрих пикова у инфрацрвеном делу спектра апсорпције;
- Положај и интензитет пикова у терахерцној области спектра се може фино подешавати применом спољашњег магнетског поља;

- Сва стања 2Д HgTe нанотачака и нанопрстенова, било да су ивична или да су стања у подзонама, су осетљива на промену спољашњег магнетског поља;
- Енергије стања на ивицама подзона 2Д HgTe квантних прстенова испољавају изражене АБ осцилације, чија правилност и фреквенција зависе од облика и димензија наноструктуре;
- Поједина ивична стања у квантним прстеновима, али и у квантним тачкама, указују на појаву АБ осцилација у магнетском пољу, што је последица њихове специфичне локализације дуж читаве ивице наноструктуре.

4. Научне методе истраживања

Електронска зонска структура асиметричних двоструких HgTe/Cd_xHg_{1-x}Te квантних јама ће бити одређена помоћу вишезонске **k-p** теорије. У оквиру ове теорије укупна таласна функција је приказана као линеарна комбинација Блохових (швед. *Bloch*) таласних функција у центру Брилуенове (франц. *Brillouin*) зоне. Овај метод је иницијално био коришћен за приближни опис зонске структуре масивних полупроводника, али се уз извесне апроксимације, показао као ефикасан модел за анализу полупроводничких наноструктура. За разлику од сложених метода прорачуна електронске структуре на основу првих принципа, **k-p** теорија не захтева значајне рачунарске ресурсе, а притом омогућава задовољавајући опис дисперзионих релација електронских стања у околини Γ тачке. Предност метода је релативно једноставно укључивање спин-орбитне интеракције, интерних и екстерних ефеката, као што су механичко напрезање, парамагнетске интеракције или спољашње електрично и магнетско поље. Овај метод зависи од малог броја параметара, тако да се може ефикасно користити за моделовање транспортних и оптичких особина наноструктура. У докторској дисертацији ће бити коришћен 8×8 Кејнов (енгл. *Kane*) **k-p** модел у којем је сваки слој HgTe/Cd_xHg_{1-x}Te асиметричне двоструке јаме описан скупом од осам спрегнутих диференцијалних једначина. Претпоставља се да су зонски параметри за HgTe и Cd_xHg_{1-x}Te легуру степенасте функције координате. Проблеми који се могу јавити на стрмим границама хетероспојева ће бити решени применом Бартових (енгл. *Burt*) симетризационих правила. Утицај електричног поља ће бити урачунат кроз модификацију дијагоналних чланова хамилтонијана система.

Вишезонски **k-p** метод може веродостојно да опише зонску структуру само у околини Γ тачке, што није задовољавајуће за разматрање наноструктура код којих постоји јако конфинирање у све три димензије. Да би се извршио прорачун електронских и оптичких својстава 2Д HgTe наноструктура користиће се метод јаке везе који добро описује зонску структуру у целој Брилуеновој зони за стања у процепу и стања у подзонама најближим Фермијевом нивоу. Параметри који су најчешће коришћени у методи јаке везе су добијени „фитовањем“ на две референтне зонске структуре: 1) у Γ тачки, на зонску структуру добијену **k-p** методом, 2) у остатку Брилуенове зоне, на зонску структуру добијену у GW апроксимацији. У дисертацији ће бити коришћен базис $sp^3d^5s^*$ орбитала у Слејтер-Костеровој (енгл. *Slater-Koster*) нотацији где су скокови ограничени на најближе суседне атоме. У модел ће бити укључена и спин-орбитна интеракција, што у имплементацији подразумева удвостручење базисног скупа. Утицај магнетског поља ће бити укључен преко Пајерлсове (нем. *Peierls*) замене која модификује чланове хамилтонијана за скокове електрона између атомских стања увођењем фазног помераја зависног од магнетског вектор потенцијала. Оптичка апсорпција зависи од диполних матричних елемената који ће бити одређени укључивањем интраорбиталних чланова, што представља довољно добру апроксимацију за опис оптичког спектра.

5. Очекивани научни допринос

- На систематичан и детаљан начин ће бити представљена својства и технике израде наноструктура од HgTe једињења које поседује тополошка својства;
- Формираће се модел електронских стања у HgTe/Cd_xHg_{1-x}Te асиметричним двоструким квантним јамама;
- Демонстрираће се да се прелаз из полуметалног у нетривијално изолаторско стање код вишеструких асиметричних квантих јама може ефикасно контролисати подешавањем односа дебљина јамског материјала;
- Показаће се да у двоструким јамама постоји просторна раздвојеност између стања са дна проводне и врха валентне зоне и да промена моларног утицаја у баријерама, која утиче на спрезање јама, може имати значајан утицај на зонску структуру и услове за тополошку транзицију;
- Формираће се вишезонски модел електронских стања у 2Д HgTe квантним тачкама и квантним прстеновима заснован на методи јаке везе;
- Биће анализирана електронска структура и оптичке особине у једнослојним квантним тачкама и прстеновима различитог облика и димензија у присуству спољашњег магнетског и електричног поља.
- Показаће се да у нанотачкама и нанопрстеновима постоји велики утицај ивичних стања на оптичку апсорпцију у терахерцној области, која се може фино подешавати применом магнетског поља;
- Показаће се да постоје интензивне АБ осцилације стања у проводној и валентној зони код нанопрстенова;
- Установиће се да постоје специфична ивична стања локализована дуж читавих ивица структуре која доводе до манифестације АБ осцилација чак и у једнострукно повезаној структури попут квантне тачке.

6. План истраживања и структура рада

- У првој фази ће биће извршен детаљан преглед и систематизација релевантне литературе у вези са начином производње, електронским и оптичким својствима у полупроводничким наноструктурама које су предмет истраживања докторске дисертације;
- На основу анализе постојећих резултата, у другој фази ће бити дефинисани интересантни облици и састави наноструктура за истраживање. Формираће се модели једночестичних стања на основу вишезонске **k-p** теорије за структуре типа квантне јаме, док ће се за анализу нанотачака и нанопрстенова оформити модели засновани на методи јаке везе. За дефинисану проблематику ће бити усвојени одговарајући параметри зонске структуре;
- У циљу нумеричке имплементације одабраних модела зонске структуре биће формиран програмски кодови у PYTHON програмском језику и MATLAB софтверском пакету у трећој фази истраживања;
- У четвртој фази ће бити анализирани резултати електронских и оптичких својстава одабраних наноструктура у присуству спољашњег електричног и магнетског поља. Резултати ће бити упоређени са доступним експерименталним резултатима из релевантних референци.

7. Закључак и предлог

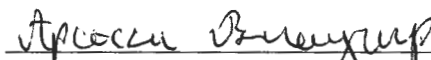
На основу изложеног Комисија констатује да Душан Топаловић, мастер инжењер електротехнике и рачунарства, испуњава све потребне услове за израду докторске дисертације под насловом „Анализа и моделовање електронских стања у HgTe наноструктурама“. Поред испуњености формалних услова, кандидат је показао способност за тимски рад, али и да самостално решава проблеме теоријске анализе и нумеричке симулације сложених наноструктура, као и да критички анализира добијене резултате.

Предложена тема дисертације је научно заснована и припада ужој научној области Физичке електронике. Разматрана тема је од великог значаја за конструисање концептуално нових наноелектронских направа, као и за израду модерних инфрацрвених фотодетектора велике ефикасности са могућношћу подешавања апсорпционог опсега.

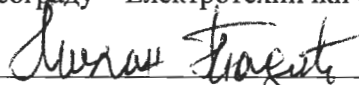
Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да одобри Душану Топаловићу, мастер инжењеру електротехнике и рачунарства израду докторске дисертације под насловом „Анализа и моделовање електронских стања у HgTe наноструктурама“ под руководством др Владимира Арсоског, ванредног професора на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

У Београду, 27.01.2020. године.

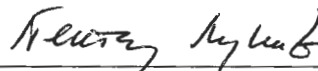
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



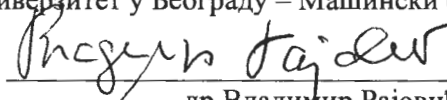
др Владимир Арсоски, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



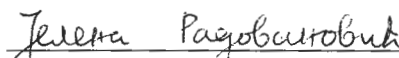
др Милан Тадић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



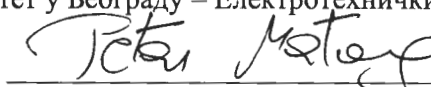
др Петар Лукић, редовни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет



др Владимир Рајовић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Јелена Радовановић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Петар Матавуљ, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет