

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Владимира Арсоског

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета донетом на 759. седници од 12.02.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Мр Владимира Арсоског под насловом

Екситонска структура и оптичка својства полупроводничких нанотачака и нанопрстенова.

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат је тему под насловом “*Екситонска структура и оптичка својства полупроводничких нанотачака и нанопрстенова*” пријавио 12.10.2010. Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду је на 723. Седници одржаној 02.11.2010. године именovalo Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу: проф. др Милан Тадић, проф. др Витомир Милановић и др Небојша Ромчевић, научни саветник. Извештај Комисије је усвојен на Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду 21.12.2010. године, а Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност за прихватање теме 07.03.2011. године, уз малу измену наслова (реч “особине” је замењена речју “својства”). Кандидат је урађену дисертацију поднео на преглед и оцену 31.01.2013. године, а Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду је 12.02.2013. године именovalo Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: проф. др Милан Тадић, проф. др Дејан Раковић, науч. сав. др Небојша Ромчевић, проф. др Јелена Радовановић и проф. др Петар Матавуљ. Кандидат је одбранио магистарски рад на Електротехничком факултету у Београду 19.06.2007.

1.2. Научна област дисертације

Дисертација припада научној области наноелектроника, а у ужем домену предмет дисертације су полупроводничке нанотачке. Ментор дисертације је проф. др Милан Тадић који се више од 20 година активно бави научноистраживачким и наставним радом у областима полупроводничких наноструктура и наноелектронике. До сада је објавио 40 радова у међународним часописима са СЦИ листе и више десетина радова у домаћим часописима, зборницима радова домаћих конференција и зборницима радова међународних конференција.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Мр Владимир Арсоски, дипл. инж., рођен је 1975. у Обреновцу. Године 1994/95. уписао се на Електротехнички факултет у Београду, остваривши максималан број поена из

физике на пријемном испиту. Дипломирао је из области ласерске технике на Смеру за оптоелектронику и ласерску технику Одсека за физичку електрону са темом “Интеракција високоенергетског ласерског зрачења са полумагнетским материјалима”. Постдипломске студије је уписао 2002. године, положио све испите и 2005. године пријавио магистарску тезу “Примена ласера у анализи система микрочестица”, коју је одбранио 2007. Служи се енглеским и руским језиком. До сада је објавио 29 радова: 8 радова у међународним часописима, 10 радова на међународним конференцијама, 1 рад у домаћем часопису и 12 радова на домаћим конференцијама.

Од 2003. године запослен је на Електротехничком факултету при Катедри за микроелектронику и техничку физику. До сада је сарађивао на предметима: Физика 1, Физика 2, Лабораторијске вежбе из Физике, Практикум из Физике 2, Квантна електроника, Микроелектроника, Микроелектроника и наноелектроника, Ласерска техника, Микроелектронска кола, Микроелектромеханички системи, Примена ласера у медицини, Анализа и моделовање полупроводничких направа, Моделовање микроелектронских направа и Полупроводничке квантне наноструктуре. Тренутно је ангажован на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја “Оптоелектронски нанодимензиони системи–пут ка примени”.

У ужој области тезе Владимир Арсоски је био аутор или коаутор седам радова у међународним часописима (са импакт фактором) и то три рада у категорији M21 (ИФ: 3,691), два рада у категорији M22 (ИФ: 1,204) и два рада у категорији M23 (ИФ: 0,467). Такође је аутор или коаутор пет радова презентованих на међународним конференцијама и аутор једног рада презентованог на домаћој конференцији.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Дисертација је написана на 175 страна куцаног текста и садржи 58 слика и 5 табела. Садржи насловну страну, изразе захвалности, кратак резиме рада на српском и енглеском језику, наслов на руском језику, садржај, 6 глава и списак коришћене литературе, који обухвата 119 библиографских референци. Поред тога, дисертација садржи и 3 додатка (прилога). Поглавља су насловљена: 1. Увод, 2. Теоријски модели механичког напрезања, електронске и ексцитонске структуре, 3. Ексцитони у концентричним латерално спрегнутим нанопрстеновима, 4. Ексцитони у напрегнутим нанотачкама сличним нанопрстеновима, 5. Утицај електричног поља на ексцитонске Ахаронов-Бомове осцилације и 6. Закључак.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У оквиру уводног поглавља дат је кратак преглед техника за формирање нанотачака и нанопрстенова. Описани су поступци производње ненапрегнутих GaAs/(Al,Ga)As нанотачака I типа техником модификоване капљичне епитаксије, уз осврт на морфологију ових нанотачака. Затим су дате технике и специфичности формирања напрегнутих самоасемблираних нанотачака и нанопрстенова, базираних на системима (In,Ga)As/GaAs, GaSb/GaAs, InAs/InP и (In,Ga)P/InP. Посебна пажња је посвећена (In,Ga)As/GaAs нанотачкама у форми нанопрстена. Такође је дат преглед особина III-V полупроводничких једињења и њихових легура које су релевантне за моделовање електронске структуре. Укратко су описани ексцитонски и оптички ексцитонски Ахаронов-Бомов (АБ) ефекат. На крају ове главе представљен је предмет рада, при чему су описани облици нанотачака анализираних у дисертацији.

У глави 2 детаљно су описани теоријски модели неопходни за анализу наноструктура са посебним освртом на аксијално симетричне структуре. За прорачун механичког напрезања

коришћени су механички модели. Анализиран је континуално-механички модел (КМ) за случај анизотропне еластичности, као и једноставан модел изотропне еластичности (ИЕ) базиран на теорији укључења, који је у пракси показао добре резултате за аксијално симетричне структуре. У случају идеализоване геометрије са стрмим ивицама на месту хетероспоја, налажењем аналитичких решења по једној координати дводимензионих (2Д) интеграла, постојећи ИЕ модел сведен је на нумеричко решавање 1Д интеграла.

У глави 2 је такође приказана теорија једночестичних стања у електричном и магнетском пољу према једнозонском моделу, као и вишезонски **k·p** модел шупљинских стања у полупроводничким нанотачкама. Аксијална апроксимација је примењена на 4-зонски Латинџер-Конов хамилтонијан. У овом новом приступу, вандијагонални елементи у делу хамилтонијана који зависи од напрезања су различити од нуле, што представља унапређење у односу на раније коришћене **k·p** моделе који су користили дијагоналну апроксимацију за овај део хамилтонијана.

На послетку, у глави 2 детаљно су приказани модели стања неутралног ексцитона у нанотачкама у оквиру приступа егзактне дијагонализације у реалном и инверзном простору. Детаљно је приказан поступак рачунања матричних елемената Кулоновог потенцијала помоћу Фуријеове трансформације. Такође је приказан и алтернативни метод којим се ови матрични елементи рачунају у реалном простору. Описан је модел међузонских оптичких својстава нанотачака: дати су изрази за јачину осцилатора и интензитет фотолуминисценције. Дискутована су селекциона правила за рекомбинацију ексцитона у анализираним нанотачкама. Дефинисани су карактеристични димензиони параметри неутралног ексцитона, као и методе за процену амплитуде осцилација енергије основног стања ексцитона. На крају поглавља су дати поједностављени модели за опис оптичких особина и ексцитонске структуре у магнетском пољу нанотачака мале висине засновани на адијабатској апроксимацији. Модели су постављени за случај латерално спрегнутих квантних прстенова квадратног попречног пресека. Једночестична стања у овом моделу су у овом случају описана помоћу једнозонског модела. Приказани су: (1) једноставан аналитички модел једночестичних и ексцитонских стања који се примењује када су потенцијали на граници тачка/матрица стрми, где се при прорачуну стања неутралног ексцитона занемарују Кулонова интеракција и ефекти напрезања; (2) нумерички модел за решавање ексцитонске Шредингерове једначине када су укључени Кулонова интеракција и ефекти напрезања, где је прелазом у погодан систем координата полазна 6Д диференцијална једначина сведена на 3Д облик.

У глави 3 представљени су резултати примене аналитичког и нумеричког модела за прорачун електронске структуре латерално спрегнутих ненапрегнутих GaAs/(Al,Ga)As нанопрстенова, који се производе помоћу технике капљичне епитаксије. Помоћу аналитичког модела добијене су значајне АБ осцилације ексцитонских својствених енергија, док је по укључењу Кулоновог потенцијала у нумеричком моделу добијена занемарљива вредност амплитуде осцилација енергије основног стања ексцитона, реда микроелектронволта. Као резултат ове анализе је формулисан закључак да је за веродостојан опис ексцитонске структуре и оптичких својстава нанопрстенова I типа великих латералних димензија неопходно урачунати Кулонову интеракцију.

У глави 4 су презентовани теоријски резултати за напрегнуте нанотачке I типа сличне нанопрстеновима. Размотрена су два облика ових нанотачака: (1) нанотачке облика шољице (наношољице), које представљају композитне структуре сачињене од нанодиска и нанопрстена и (2) нанотачке облика вулкана, које се експериментално реализују техникама епитаксијалног раста у Странски-Крастанов моду. Претпостављено је да су оба типа нанотачака формирана од (In,Ga)As у матрици од GaAs. Упореджени су резултати за ексцитонска стања добијени по једнозонским моделима електронских и шупљинских стања са оним који су базирани на вишезонском моделу шупљинских стања. И код наношољице и код вулканоликих нанотачака нађено је да непостојање номиналног отвора (као код прстена) битно утиче на зависност

ексцитонских стања од магнетског поља. Нађено је да повећање дебљине диска код наношоплице доводи до релокализације шупљине из прстена у диск, док је електрон локализован у области прстена. Различита локализација електрона и шупљине доводе до прелаза орбиталних момената у основном стању. Код вулкановитих нанотачака је установљено да присуство напрезања доводи до повећања амплитуде ексцитонских АБ осцилација. Ово је приписано специфичном утицају напрезања на локализацију шупљина. Уочене су разлике између шупљинских енергија према једнозонском и вишезонском моделу. Приказани су резултати прорачуна зависности јачине осцилатора за рекомбинацију ексцитона у анализираним нанотачкама сличним нанопрстеновима од магнетског поља. Уочене су осцилације јачине осцилатора око квазилинеарне зависности од магнетског поља. Сличне осцилације су уочене у зависности интензитета фотолуминисценције од магнетског поља. Дискутована је повезаност АБ осцилација ексцитонских енергија са поларизацијом ексцитона. Показано је да се резултати приказаног прорачуна добро слажу са резултатима претходно изведених експеримената.

У глави 5 је испитана могућност повећања амплитуде осцилација ексцитонских енергија у магнетском пољу помоћу електричног поља примењеног у правцу раста структуре. Установљено је да примењено електрично поље доводи до повећања поларизације ексцитона, што доводи до повољних услова за ексцитонски АБ ефекат. Користећи формиране моделе реалистичног ненапрегнутог нанопрстена на нанодиску нађено је да се помоћу електричног поља могу изазвати вишеструки пресеци оптички активног и оптички неактивних ексцитонских стања у основном стању ексцитона. Указано је да се на овај начин стварају повољни услови за појаву оптичког ексцитонског АБ ефекта.

На послетку, у глави 6 дат је сумарни преглед резултата дисертације и формиран су закључци у вези са резултатима добијеним у дисертацији. Укратко су представљене карактеристике и ограничења коришћених модела. Затим су упоређене амплитуде осцилација најнижег оптички активног стања ексцитона анализираних нанотачака. Формирани су закључци о утицају облика тачке, непотпуног отвора, напрезања, комбинације материјала који формирају анализирани нанотачке и електричног поља на амплитуду ексцитонских АБ осцилација. На послетку су дате смернице за побољшање коришћених модела и побројане су могуће теме за даљи рад у овој области.

У додатку А укратко је описан АБ ефекат, изведен је спектар електрона који је конфиниран на 1Д прстену и приказан је типични резултат експеримента у коме се појављује АБ ефекат. У додатку Б дат је преглед параметара зонске структуре градивних материјала нанотачака и нанопрстенова анализираних у дисертацији. Додатак Ц садржи упоредни преглед изотропног и анизотропног модела механичког напрезања у нанотачкама сличним нанопрстеновима. Утицај расподеле напрезања на електронску структуру дискутован је у оквиру дијагоналне апроксимације вишезонског хамилтонијана. При томе су упоређени ефективни потенцијали електрона и шупљине у структури експерименталног нанопрстена који нема аксијалну симетрију добијени помоћу анизотропног континуално-механичког модела механичког напрезања са ефективним потенцијалима електрона и шупљине у аксијално симетричној структури израчунатим помоћу изотропног модела напрезања у оквиру теорије укључења. Коментарисана је валидност примене концептуално и нумерички једноставнијег изотропног модела напрезања за аксијално симетричне нанотачке.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација припада модерној и атрактивној области наноелектронике, која се бави електронским, транспортним и оптичким особинама наноструктура. У ужем

смислу дисертација се бави полупроводничким нанотачкама, које имају потенцијално велику примену у развоју електронских и фотонских компонената нанодимензија. Очекује се да ће у будућности направе и системи на бази нанотачака у значајној мери заменити електронске и фотонске компоненте које се тренутно индустријски производе и користе. Велики број истраживачких лабораторија у свету се бави истраживањима у области физике нанотачака и њихових примена, посебно за израду једноелектронских транзистора, ласера и фотонских детектора. Може се очекивати да ће већа активност у области производње и примене нанотачака довести до постављања нових стандарда за перформансе и димензије електронских и фотонских система. У ширем смислу, нанотачке имају перспективну примену у медицини, посебно за лечење разних врста канцера.

Перспектива развоја система базираних на полупроводничким нанотачкама усмерена је ка конструкцији квантног рачунара на бази нанотачака. Овакве примене се базирају на особини електрона у квантним тачкама да слабо интерагују са околином, тако да су ефекти декохеренције мали. Предложене примене за квантно рачунање углавном користе спин и изменску интеракцију и у основу су повезане са нултодимензиним карактером електронског гаса у полупроводничким нанотачкама.

Посебан значај у области физике и примене нанотачака заузимају ефекти квантне интерференције. Један од ових ефеката је АБ ефекат, који се изводи са материјалним таласима у прстенастим структурама у присуству магнетског поља. У последње време изузетан интерес је показан за такозвани ексцитонски АБ ефекат, који се манифестује осцилацијама енергија ексцитона у функцији магнетског поља. Овај ефекат је теоријски предвиђен пре више од једне деценије за систем од два концентрична 1Д нанопрстена, док је тек пре три године ефекат експериментално верификован за 3Д нанопрстенове.

Експериментални нанопрстенови, међутим, нису потпуно отворени, тако да до дисертације Владимира Арсошког у светској литератури није приказана детаљна анализа утицаја слоја који покрива отвор на ексцитонске спектре. Такође, поред напрегнутих нанопрстенова, у последње време интензивна истраживачка активност је показана у области раста, карактеризације и моделовања нанопрстенова нараслих помоћу технике капљичне епитаксије. У приказаној дисертацији је по први пут урађена свеобухватна анализа утицаја недостајућег отвора у експерименталним нанотачкама сличним нанопрстеновима, облика ових нанотачака, механичког напрезања, мешања између зона и електричног поља на ексцитонски АБ ефекат. Супротно *a priori* закључцима да постојање отвора унутар експерименталних нанотачака сличних нанопрстеновима доводи до смањења или потпуног нестајања ексцитонских АБ осцилација, дефинитивно је установљено и потпуно аргументовано да су ексцитонске АБ осцилације у структурама са слојем унутар номиналног отвора веће у односу на случај потпуно формираног отвора у нанопрстеновима. Поред тога, по први пут је нађено да се помоћу електричног поља могу изазвати осцилације јачине осцилатора за рекомбинацију ексцитона, које представљају оптички ексцитонски АБ ефекат, који се карактерише периодичним укрштањима између светлих и тамних ексцитонских стања у основном стању ексцитона. Поред неоспорног доприноса знањима о феноменима у нанотачкама у магнетском пољу, у дисертацији је предложено и неколико нових или побољшаних модела: потпуни аксијално симетрични вишезонски модел са напрезањем, модел ексцитонских стања у реалном простору и отклањање дивергенције Кулоновог потенцијала помоћу аналитичке интеграције.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде дисертације кандидат је детаљно истражио постојећу релевантну литературу и коректно навео радове који су у вези са темом дисертације. Наведено је укупно 119 библиографских референци. Литература садржи најновије радове релевантне за проблематику истражену у дисертацији, као и радове чији је аутор или коаутор Владимир Арсошки.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру приложене докторске дисертације састојала се у следећем:

- детаљно је проучена литература која разматра технике производње квантних тачака (посебно нове технике) и ефекте истражене у дисертацији;
- релевантни резултати објављени у доступној литератури су сумирани и систематизовани, на основу чега је дефинисана проблематика којом ће се бавити дисертација;
- за дефинисану проблематику одабране су структуре одређеног састава и облика које су релевантне за дисертацију;
- усвојене су вредности параметара зонске структуре и одговарајући модели облика нанотачака;
- урађен је преглед постојећих модела механичког напрезања, електронских стања и екситонске структуре у нанотачкама;
- формиран су модели механичког напрезања (анизотропни и изотропни континуално механички), једночестичних стања (једнозонски и вишезонски) и екситонске структуре (приступ егзактне дијагонализације и апроксимативни модел заснован на адијабатској апроксимацији);
- на основу ових модела написан је програмски код у софтверским пакетима COMSOL и MATLAB, при чему су коришћене математичке функције реализоване као засебне процедуре, како би се написани кодови, уз извесне модификације, могли прилагодити коришћењу у оквиру других програмских језика или пакета;
- реализовани кодови су примењени на четири изабране случаја нанотачака и нанопрстенова: (1) латерално спрегнуте нанопрстенове, (2) наношољице, (3) вулканолике нанотачке и (4) нанопрстенове на нанотачкама;
- електронска структура свих анализираних форми нанотачака и нанопрстенова је анализирана за случај примењеног магнетског и/или електричног поља;
- добијени резултати су упоређени са експерименталним резултатима доступним у референтној литератури и публиковани у релевантним часописима са СЦИ листе;
- уочене су предности и недостаци предложених модела и изведени су закључци о валидности њихове примене, могућности примени за сличне структуре и дате су смернице за њихово побољшање у наставку рада у овој области.

Примењена методологија у потпуности одговара стандардима научноистраживачког рада и довела је до коректних решења проблема дефинисаних на почетку израде дисертације. Систематизована и свеобухватна дискусија ових решења презентована је у дисертацији.

3.4. Применљивост остварених резултата

Употребљени, модификовани и формиран модели механичког напрезања, електронских и екситонских стања примењени су за анализу реалних структура, које се производе савременим техникама епитаксијалног раста. Добијени резултати показују добро поклапање са скорашњим експерименталним мерењима од стране других аутора. Такође, реализовани програмски кодови се могу уз незнатне модификације применити и на друге аксијално симетричне нанотачке и организовати у софтверски пакет за моделовање екситона у нанотачкама. Уз извесне модификације, предложени модели се могу применити и на нанотачке које не поседују аксијалну симетрију, имају различити састав од анализираних у дисертацији и на полупроводничке наножице. Развијени модели су од значаја за истраживање ефеката квантне интерференције у једноелектронским транзисторима, ласерима и фотонским детекторима.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је у својој дисертацији показао систематичност, свеобухватност и зрелост. Посебно треба истаћи да је научна област наноелектронике, а нарочито тема наноструктура базираних на нанотачкама, којом се кандидат бави, веома актуелна. Добијени резултати дају извесно унапређење постојећих модела и баве се анализом нанотачака експериментално реализованих у протеклих неколико година, тако да су доприноси дисертације у овој области оригинални, савремени и потврђују способност кандидата за самосталан истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру докторске дисертације остварени су следећи научни доприноси:

- на основу опсежног и детаљног прегледа литературе, свеобухватно су приказани материјали, морфологије и технологије које се користе за израду полупроводничких нанотачака и нанопрстенова;
- у оквиру апроксимације изотропне еластичности формиран је модел расподеле напрезања у аксијално симетричним полупроводничким нанотачкама, за случај произвољног облика граница тачка/матрица, као и за случај стрмих граница, који се може свести на прорачун 1Д интеграла;
- формирана је потпуна аксијална апроксимација вишезонског хамилтонијана, која садржи и ненулте вандијагоналне елементе у хамилтонијану зависном од напрезања, што представља унапређење претходно постављених аксијално симетричних вишезонских модела за нанотачке;
- формиран је модел екситонских стања у 3Д наноструктурама у реалном простору и упоређен са моделом базираним на коришћењу Фуријеове трансформације;
- формиран је једноставан аналитички модел екситона у аксијално симетричним нанотачкама у адијабатској апроксимацији;
- предложен је нови метод за екстракцију екситонских АБ осцилација;
- нађено је да постојање слоја унутар прстена не умањује у значајној мери екситонске АБ осцилације;
- откривено је да присуство напрезања у нанотачки сличној нанопрстену доводи до повећања поларизације екситона;
- нађено је да електрично поље доводи до појаве оптичког екситонског АБ ефекта у ненапрегнутим нанотачкама сличним нанопрстеновима које се формирају помоћу технике модификоване капљичне епитаксије;
- нађено је да су резултати у сагласности са скорашњим мерењима, што је и верификовано објављивањем резултата приказаних у дисертацији у часописима са СЦИ листе и цитирањем неких од публикованих радова.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем постављених хипотеза, циљева истраживања и остварених резултата констатујемо да је кандидат успешно одговорио на сва битна питања која суштински произилазе из обрађиване проблематике. Систематичан и детаљан приказ примењених, модификованих и формираних модела за анализу напрезања, електронских и оптичких особина наноструктура и њихове примена на анализу недавно реализованих нанотачака базираних и на напрегнутим и на ненапрегнутим системима представља значајан научни допринос у области наноелектронике, што је верификовано објављивањем резултата истраживања у престижним часописима са СЦИ листе.

Предложени модели механичког nappezaња применљиви су на структуре произвољног облика и састава. Формирани модели електронске структуре се међутим односе само на аксијално симетричне нанотачке. Даље унапређење ових модела би могло узети у обзир одступања облика нанотачака од аксијално симетричног облика и утицај мешања између валентне и проводне зоне у сложенијим вишезонским моделима.

4.3. Верификација научних доприноса

У току истраживачког рада у ужој области теме докторске дисертације Владимир Арсошки је као аутор или коаутор објавио седам радова у међународним часописима са СЦИ листе и то три рада у врхунском часопису категорије M21, два рада у часописима категорије M22 и два рада у часописима категорије M23. Четири од ових седам радова претходно су приказани на међународним конференцијама. Од укупног броја радова у међународним часописима кандидат је првопотписани аутор на четири рада. Поред тога, један рад је презентован на домаћој конференцији и један рад на међународној конференцији.

Категорија M21:

1. **Arsoski V.**, Tadić M., and Peeters F. M., „Strain and band-mixing effects on the excitonic Aharonov-Bohm effect in In(Ga)As/GaAs ring-like quantum dots“, *Physical Review B*, 2013 (**IF=3,691**) (ISSN: 1098-0121), prihvaćen za publikovanje i u završnoj je fazi produkcije (<http://prb.aps.org/accepted/5f07f043Idf14222e0a4202340cc2191ffa7fe565>).
2. Čukarić N., **Arsoski V.**, Tadić M., and Peeters F. M., „Hole states in nanocups in a magnetic field“, *Physical Review B*, vol. 85, no. 23, 235425 1–11, 2012 (**IF=3,691**) (ISSN: 1098-0121).
3. Tadić M., Čukarić N., **Arsoski V.**, and Peeters F. M., „Excitonic Aharonov-Bohm effect: Unstrained versus strained type-I semiconductor nanorings“, *Physical Review B*, vol. 84, no. 12, pp. 125307 1–13, 2011 (**IF=3,691**) (ISSN: 1098-0121).

Категорија M22:

1. **Arsoski V.**, Tadić M., and Peeters F. M., „Electric field tuning of the optical excitonic Aharonov-Bohm effect in nanodots grown by droplet epitaxy“, *Physica Scripta*, 2013 (**IF=1,204**) (ISSN: 0031-8949) (prihvaćen za publikovanje).
2. **Arsoski V.**, Čukarić N., Tadić M., and Peeters F. M., „Exciton states in a nanocup in the presence of a perpendicular magnetic field“, *Physica Scripta*, vol. T149, 014054 1–5, 2012 (**IF=1,204**) (ISSN: 0031-8949)

Категорија M23:

1. **Arsoski V.**, Tadić M., and Peeters F.M., “Interband Optical Properties of Concentric Type-I Nanorings in a Normal Magnetic Field”, *Acta Physica Polonica A*, vol. 117, no.5, p.p. 733–737, 2010 (**IF=0,467**) (ISSN: 0587-4246).
2. Tadić M., **Arsoski V.**, Čukarić N., and Peeters F.M., “The Optical Excitonic Aharonov-Bohm Effect in a Few Nanometer Wide Type-I Nanorings”, *Acta Physica Polonica A*, vol. 117, no.6, p.p. 947–977, 2010 (**IF=0,467**) (ISSN: 0587-4246).

Категорија M33:

1. Tadić M., **Arsoski V.**, Čukarić N., and Peeters F. M., “The two-level model of the excitonic Aharonov-Bohm effect in strained self-assembled semiconductor nanorings”, *31st International Conference on the Physics of Semiconductors 2012*, Zurich, Switzerland, 2012.

Категорија M63:

1. **Arsoski V.** i Tadić M., „Model ekscitonskih stanja u koncentričnim lateralno spregnutim GaAs/(Al,Ga)As nanoprstenovima u magnetskom polju“, *Zbornik radova 55. Konferencije za ETRAN*, str. MO2.7 1-4), Banja Vrućica, 2011 (ISBN: 978-86-80509-66-2)

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

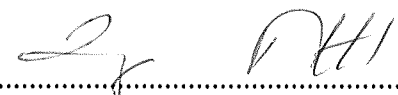
Докторска дисертација Мр Владимира Арсоког представља савремен, оригиналан и значајан научни допринос. Кандидат је током израде дисертације потпуно оспособљен за самостално бављење научним радом. Предложено је неколико нових и унапређених модела електронске структуре и ексцитонских стања у полупроводничким нанотачкама у магнетском пољу, док су постојећи модели детаљно анализирани. Показано је да се ексцитонски Ахаронов-Бомов ефекат уочава код већине актуелних експерименталних напетих полупроводничких нанотачака сличних нанопрстеновима, као и да се помоћу електричног поља може изазвати наизменична промена тамног и светлог ексцитонског стања са порастом магнетског поља, чак и у случају ненапетих нанотачака погодне геометрије. Адекватност примењених модела верификована је поређењем резултата са доступним мерењима која су објављена у референтној литератури. Поред тога, валидност приказане теорије и добијених резултата је потврђена објављивањем више радова који су предмет дисертације у релевантним часописима са СЦИ листе. Неколико радова кандидата је већ цитирано у позитивном контексту од стране других аутора.

На основу претходног, Комисија констатује да је Мр Владимир Арсоки испунио све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду, те са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета да се дисертација под насловом **“Ексцитонска структура и оптичка својства полупроводничких нанотачака и нанопрстенова”** кандидата Мр Владимира Арсоког, дипл. инж., прихвати, изложи на увид јавности и упути Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду на коначно усвајање и давање одобрења кандидату да приступи усменој одбрани.

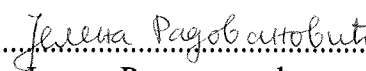
У Београду, 14.02.2013. године

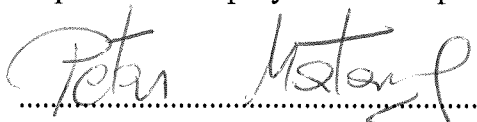
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


.....
Др Милан Тадић, редовни професор
Електротехнички факултет Универзитета у Београду


.....
Др Дејан Раковић, редовни професор
Електротехнички факултет Универзитета у Београду


.....
Др Небојша Ромчевић, научни саветник
Институт за физику Универзитета у Београду


.....
Др Јелена Радовановић, ванредни професор
Електротехнички факултет Универзитета у Београду


.....
Др Петар Матавуљ, ванредни професор
Електротехнички факултет Универзитета у Београду