

Универзитет у Београду
Електротехнички факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат оурађеној докторској дисертацији кандидата Александра Даничића

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр.5052/8/3 од 11.06.2013.године, именовани смо за чланове комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата маг. инж. електр. и рачунар. Александра Даничића под насловом

Оптимизација квантних каскадних ласера у средњој инфрацрвеној и терахерцној области спектра у јаком магнетном пољу.

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 „**Оптимизација квантних каскадних ласера у средњој инфрацрвеној и терахерцној области спектра у јаком магнетном пољу**” пријавио 10.11.2011. Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду је на седници одржаној 15.11.2011.године именовало Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу: др Јелена Радовановић, ванр. проф. (Универзитет у Београду - Електротехнички факултет), др Љупчо Хациевски, научни саветник (Институт за нуклеарне науке Винча), др Витомир Милановић, ред. проф. (Универзитет у Београду - Електротехнички факултет) и др Јована Петровић, научни сарадник (Институт за нуклеарне науке “Винча”). Извештај Комисије је усвојен на Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду 27.12.2011.године, а 27.02.2012.године од стране Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду. На седници Комисије за трећи степен студија одржаној 04.06.2013.године констатовано је да је кандидат Александар Даничић, маг. инж. електр. и рачунар. предао урађену дисертацију, па је на основу увида у дисертацију и пратећих докумената, а у складу с Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета, Комисија за трећи степен студија потврдила испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену дисертације. Комисија за трећи степен студија је предложила Наставно-научном већу Електротехничког факултета Комисију за преглед и оцену у саставу: др Јелена Радовановић, ванр. проф. (Универзитет у Београду - Електротехнички факултет), др Витомир Милановић, ред. проф. у пензији (Универзитет у Београду - Електротехнички факултет), др Милан Тадић, ред. проф. (Универзитет у Београду - Електротехнички факултет) и др Јована Петровић, виши научни сарадник (Институт за Нуклеарне Науке

Винча). На 763. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета, одржаној 11.06.2013. године, прихваћен је предлог Комисије за трећи степен студија.

1.2. Научна област дисертације

Дисертација припада научној области наноелектронике, а у ужем домену предмет дисертације су полупроводничке наноструктуре на бази квантних јама. Ментор дисертације је др Јелена Радовановић, ванредни професор.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат Александар Даничић је рођен 07.04.1984. године у Београду. Основну и средњу школу завршио је у Београду. Након завршене средње школе уписао је Електротехнички факултет Универзитета у Београду 2003. године, где је дипломирао 2007. године на Одсеку за Физичку електронику са просечном оценом 8,60 одбраном дипломског рада са темом "Напредни модулациони формати за транспортне оптичке мреже високих капацитета". Исте године уписао је дипломске академске (мастер) студије на Групи за наноелектронику, оптоелектронику и ласерску технику, које је завршио 2009. године са просечном оценом 9,60 одбраном мастер рада са темом "Оптимизација квантног каскадног ласера на карактеристичним таласним дужинама у инфрацрвеној области спектра". Од 2009. године запослен је као истраживач приправник у Институту за нуклеарне науке "Винча", у Лабораторији за атомску физику, при чему је 2010. године унапређен у звање истраживач сарадник.

У ужој области тезе Александар Даничић је био аутор или коаутор четири рада у међународним часописима (са импакт фактором) и то једног рада у категорији M21, два рада у категорији M22 и једног рада у категорији M23. Такође је аутор или коаутор једног рада презентованог на међународној конференцији и аутор једног рада презентованог на домаћој конференцији. У току досадашње каријере аутор је објавио још радова који нису директно везани за тему дисертације: три рада у категорији M21, један рад у категорији M22, као и један рад на међународној конференцији.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Дисертација је написана на 106 страна куцаног текста латиничним писмом и садржи 37 слика и 95 библиографских референци. Садржи насловну страну, захвалницу, кратак резиме рада на српском и енглеском језику, садржај, 8 глава, закључак и списак коришћене литературе. Поглавља су насловљена: 1. Увод, 2. Принципи рада квантних каскадних ласера, 3. Оптимизација појачања квантних каскадних ласера, 4. Унутарзонски прелази у активној области у присуству магнетног поља, 5. Теорија расејања електрона, 6.

Квантни каскадни ласери за средњу инфрацрвену област, 7. Терахерцни квантни каскадни ласери и 8. Закључак.

2.2. Кратак приказ појединих поглавља

У оквиру уводног поглавља дат је преглед основних појмова везаних за квантне каскадне ласере и укратко је описан принцип функционисања ових направа. Дата је мотивација за њихову анализу и објашњена улога ових полупроводничких наноструктура као представника технологије која има потенцијал за реализацију извора кохерентног зрачења велике снаге, који свеукупно покривају средњи инфрацрвени и терахерцни део оптичког спектра. Поред тога дат је преглед најчешће примењиваних материјала за израду квантних каскадних ласера. Истакнуте су специфичности рада ових направа у присуству спољашњег магнетног поља и описане су потенцијалне примене. У овом поглављу су такође изнети предмет дисертације, циљ истраживања, као и структура дисертације.

У другом поглављу дат је детаљан увид у физичке механизме на којима се заснива рад квантних каскадних ласера и изнет је хронолошки преглед досадашњих резултата постигнутих у области практичне реализације. Посебан акценат је стављен на разумевање основних електронских и оптичких особина ових полупроводничких ласера, што захтева релативно темељан увид у различите механизме релаксације носилаца између подзона активне области. Ту спада и утврђивање ефикасног механизма селекције доминантних типова расејања у зависности од удаљености енергетских нивоа. У овом поглављу наведени су и основни типови губитака који се сусрећу код ових ласера.

Треће поглавље посвећено је оптимизацији излазних карактеристика квантних каскадних ласера, са акцентом на оптичком појачању, с обзиром да је једна од основних предности овог типа ласера и њихова велика излазна снага. Само појачање зависи од више величина, као што су матрични елементи оптичких прелаза и брзина расејања носилаца, које пак зависе од електронске структуре активне области. Изложено је како се променом параметара структуре може утицати на степен просторног преклапања таласних функција, а самим тим и на величину релевантних диполних матричних елемената. Такође је указано на то да неадекватан избор димензија слојева може довести до редукције степена инверзне популације, односно скраћења времена живота носилаца на горњем ласерском нивоу и смањења вредности појачања. Због тога је неопходно је применити одговарајуће оптимизационе технике приликом дизајнирања активне области ласера, како би се добила оптимална структура. У оквиру дисертације прво се посматра динамика носилаца у оквиру репрезентативне активне области преко поједностављеног тронивовског модела, и након решавања система брзинских једначина, на основу израчунате инверзне популације, одређује се оптичко појачање квантног каскадног ласера у стандардном режиму рада (тј. у одсуству магнетног поља).

У четвртом поглављу обрађена је проблематика унутарзонских прелаза у активној области када је присутно спољашње магнетно поље. У овом случају се посматра ситуација када је магнетно поље усмерено дуж правца нарастања слојева структуре, што доводи до цепања дводимензионалних (континуалних) енергетских подзона на серије дискретних Ландауових нивоа, чиме се ефикасно квантизује раванско кретање носилаца. Овај

механизам омогућава редуковање нерадијативних процеса расејања, што даље води ка повећаном времену живота носилаца на горњем ласерском нивоу, чиме је обезбеђена инверзна популација. У дисертацији је изведен израз за укупну апсорпцију, односно појачање у активној области ласера, сумирањем доприноса који потичу од прелаза између свих релевантних Ландауових нивоа. Инверзна популација је одређена на основу модела који обухвата решавање пуног система брзинских једначина, под претпоставком да се инјекција електрона врши у горњи ласерски ниво активне области (тј. у ограничени број Ландауових нивоа који настају његовом дискретизацијом), помоћу струје константне површинске густине.

У петом поглављу изведени су комплетни теоријски прорачуни везани за различите механизме расејања носилаца. Најпре су представљена извођења везана за расејање електрона на лонгитудиналним оптичким фононима, након чега је пажња посвећена расејању носилаца на акустичним фононима и неравнинама површина. Посебно су разматране брзине прелаза без и у присуству магнетног поља. С обзиром да се дизајн активне области битно разликује у зависности од дела спектра у коме посматрана структура емитује зрачење, различити механизми релаксације се додају приликом прорачуна појачања (поред расејања на лонгитудиналним оптичким фононима које се увек мора узети у обзир и које је пресудно за успешно функционисање ласера).

Шесто поглавље бави се квантним каскадним ласерима предвиђеним за рад у средњој инфрацрвеној области спектра. Најпре је објашњен оптимизациони поступак који је коришћен за прорачунавање параметара структуре у овој дисертацији, а то је генетски алгоритам. Генетски алгоритам представља рачунски модел за претрагу параметарског простора, који тражи потенцијално решење специфичног математичког проблема посматрајући једноставну "хромозомску структуру" и примењујући рекомбинационе операторе на посматране кандидате за решење. У овом раду, поменути алгоритам примењује се као алат за оптимизацију одабраних циљних функција, формулисаних у односу на излазне параметре ласера. Функције од интереса (или фитнес функције) у случају квантног каскадног ласера обухватају оптичко појачање структуре у регуларном режиму рада (без примене магнетног поља), и специфицирану електронску структуру (међусобно растојање електронских поднивоа) како би се остварила максимална вредност појачања на жељеној радној таласној дужини. Параметри од интереса, чија се вредност може варирати у физички и технолошки реалним границама су дебљине слојева и висина баријере активне области. С обзиром да се ради о нумерички прилично захтевном проблему, ради убрзавања прорачуна у иницијалним разматрањима енергије и таласне функције у структури одређене су уз занемаривање ефеката зонске непараболичности, коришћењем методе коначних разлика. На тај начин се ефикасно долази до приближних вредности енергија које се даље користе за прецизан прорачун путем методе погађања (shooting) која омогућава урачунавање ефекта непараболичности проводне зоне. Развијени оптимизациони поступак примењен је на дизајн две структуре, које емитују зрачење на карактеристичним таласним дужинама, релевантним за детекцију штетних материја присутних у атмосфери. Прва структура је оптимизирана за таласну дужину која одговара линији у спектру сумпор диоксида ($\lambda \approx 7.3 \mu m$), а друга амонијака ($\lambda \approx 10.3 \mu m$).

Седмо поглавље посвећено је квантним каскадним ласерима предвиђеним за емитовање зрачења у терахерцном (далеком инфрацрвеном) опсегу фреквенција. Терахерцни део електромагнетног спектра је веома значајан за примене, посебно у области биохемијске детекције, у астрофизици за испитивање свемира, за даљинско праћење промена у атмосфери, као и за широкопојасне комуникације и војне примене. Међутим, ове могућности су углавном слабије искоришћене услед непостојања извора зрачења са адекватним перформансама. Овде долази до изражаја потенцијала квантних каскадних ласера, од којих се очекује да обезбеде превазилажење наведеног проблема. У овом поглављу је представљен историјат развоја квантних каскадних ласера за рад на терахерцним фреквенцијама, а након тога су анализирани различити примери реализације активне области. Детаљно су теоријски разматране две специфичне реалне структуре, чији параметри су преузети из литературе и које су експериментално реализоване. Као и код квантних каскадних ласера за средњу инфрацрвену област, обављен је детаљан прорачун електронске структуре у присуству спољашњег магнетног поља, на основу чега су одређене одговарајуће укупне брзине расејања носилаца са релевантних нивоа и израчунато оптичко појачање. Треба напоменути да се у случају одабране реализације терахерцних ласера не може изоловано посматрати једна активна област у структури већ је неопходно урачунавање утицаја неколико суседних периода што драстично усложњава систем брзинских једначина. Нумерички прорачун показује да се код ових структура допринос расејања на акустичним фононима може занемарити, али је зато утицај расејања на неравнинама површина веома значајан.

У осмом поглављу дат је закључак, у коме су наведени главни доприноси дисертације, анализирани могућности за евентуалну примену резултата и изложене потенцијалне модификације прорачуна за друге структуре од интереса.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација припада модерној и атрактивној области наноелектронике, која се бави електронским, транспортним и оптичким особинама квантних полупроводничких наноструктура. У ужем смислу дисертација се бави квантним каскадним ласерима, односно оптимизацијом њихових излазних карактеристика и потенцијалном применом у детекцији штетних једињења у атмосфери, са посебним нагласком на њихов рад у присуству спољашњег магнетног поља. Основна идеја дисертације је да се променом дизајна активне области квантног каскадног ласера (у средњој инфрацрвеној области) или променом дизајна целе периоде (у терахерцној области) може значајно утицати на излазне перформансе ласера, прецизније, на оптичко појачање на жељеној таласној дужини. Варирањем параметара структуре и систематском оптимизацијом, мења се положај релевантних електронских стања и облик таласних функција, чиме се утиче на вероватноће прелаза путем нерадијативних механизма релаксације и степен инверзне насељености носилаца. Применом спољашњег магнетног поља у правцу нарастања слојева, постиже се цепање енергетских подзона на строго

дискретне Ландауове нивое, чиме се значајно мењају услови за нерадијативне прелазе у структури што омогућава додатну модулацију излазних карактеристика оптимизованог ласера. Ово је нарочито значајно за рад у терахерцној спектралној области где процеси расејања битно ограничавају радну температуру ласера. С обзиром на детаљност теоријске анализе и оригиналност при интерпретацији комплексног проблема прорачунавања и оптимизације релевантних брзина расејања и оптичког појачања квантних каскадних ласера, као и значај истраживања који проистиче из савремености и актуелности третиране проблематике, сматрамо да дисертација кандидата Александра Даничића задовољава све прописане стандарде за израду докторске дисертације. Добијени резултати приказани су на високом научном нивоу и представљају вредан допринос и отварају простор за даља истраживања у разматраној области.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Литература коришћена у раду је пажљиво одабрана. Она садржи најновије радове релевантне за проблематику дисертације, али садржи и класичне референце, тако да на сасвим адекватан начин покрива посматрану област. У наведеним референцама се налазе и научни радови чији је коаутор Александар Даничић.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У дисертацији под насловом „**Оптимизација квантних каскадних ласера у средњој инфрацрвеној и терахерцној области спектра у јаком магнетном пољу**” унапређени су постојећи и развијени нови математички модели и примењене одговарајуће нумеричке методе за добијање потребних резултата.

Аналитички приступ се састоји од извођења израза за времена релаксације носилаца услед расејања на лонгитудиналним оптичким и акустичним фононима, као и расејања на неравнинама спојева, са посебним нагласком на случај када је примењено спољашње магнетно поље. Такође, формиран је детаљни теоријски модел за одређивање оптичког појачања квантног каскадног ласера који се заснива на пуном систему нелинеарних брзинских једначина које описују расподелу електрона по нивоима структуре.

Нумерички део истраживања обухвата развој алгоритма и писање одговарајућег програмског кода који имплементира претходно формиран теоријски модел и омогућава израчунавање свих потребних брзина релаксације, а затим и решавање система брзинских једначина. Као резултат, овај код даје зависност појачања квантног каскадног ласера, укупно време релаксације носилаца са горњег ласерског нивоа и однос површинских густина електрона на горњем и доњем ласерском нивоу у функцији примењеног магнетног поља. За одређивање електронске структуре активне области коришћена је метода коначних разлика, примењена на једнодимензионалну Шредингерову једначину. Ради добијања прецизнијих вредности енергија у околини ових почетних решења, урачунавајући зонску непараболичност, коришћена је метода погађања. За оптимизацију параметара структуре коришћен је генетски алгоритам, где је у циљну (фитнес) функцију

инкорпорирана максимална вредност појачања у случају када ласерска структура емитује у регуларном режиму, узимајући у обзир захтеве за енергетским спектром тј. радном таласном дужином. Код свих анализираних структура нумерички је одређивана зависност оптичког појачања од примењеног магнетног поља, а у ту сврху решаван је потпун систем нелинеарних брзинских једначина. Програмски пакет коришћен за све прорачуне је MATLAB.

3.4. Применљивост остварених резултата

Развијени теоријски модел за одређивање брзине расејања електрона услед интеракције са лонгитудиналним оптичким и акустичким фононима, као и при расејању на неравнинама спојева, у случају када на структуру делује спољашње магнетно поље нормално на правац слојева, примењен је на анализу реалних структура које су већ експериментално реализоване и описане у литератури. Формирани оптимизациони поступак је употребљен за генерисање оригиналних структура које емитују зрачење на задатим таласним дужинама у средњој инфрацрвеној области, одабраним према карактеристичним линијама у спектру једињења значајних за детекцију, уз максимално појачање. Ови резултати су значајни за праћење присуства непожељних хемијских агенаса у атмосфери, као и за безбедносне примене. Када су у питању резултати остварени код квантних каскадних ласера који припадају терахерцном опсегу, боље разумевање и анализа транспортних особина носилаца може помоћи да се премосте проблеми рада на собним температурама, ефикаснијим остваривањем инверзне популације при малим енергијама прелаза.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу прегледане дисертације Комисија процењује да је кандидат Александар Даничић, маг. инж. електр. и рачун., у потпуности способан за самостални научни рад, што је доказано и чињеницом да је објавио низ научних радова у којима се појављује као први аутор. Кандидат је приликом израде дисертације показао систематичност у раду, истрајност у решавању насталих проблема и иницијативу за овладавање новим научним сазнањима и методама.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Основни научни доприноси који су остварени у оквиру докторске дисертације су следећи:

- на основу детаљног проучавања литературе дат је преглед развоја квантних каскадних ласера, основних материјала за израду и начина реализације, осврт на најважније типове дизајна у зависности од спектралне области, потенцијалне

примене у стандардном режиму рада као и под дејством спољашњег магнетног поља.

- изведени су одговарајући изрази за брзине релаксације електрона при прелазу између подзона активне области, услед интеракција са лонгитудиналним оптичким и акустичним фононима као у услед расејања на неравнинама спојева, а затим је извођење спроведено у случају дискретизације подзона на Ландауове нивое до кога долази у присуству магнетног поља.
- формиран је комплетан теоријски модел за одређивање оптичког појачања квантног каскадног ласера који се заснива на пуном систему нелинеарних брзинских једначина које описују расподелу електрона по нивоима структуре.
- развијен је оптимизациони поступак на бази генетског алгоритма за генерисање оптималних параметара структуре, који обезбеђују максимално оптичко појачање на задатој таласној дужини.
- развијен је одговарајући алгоритам и програмски код за решавање комплетног система брзинских једначина у случају када је присутно магнетно поље. Димензије система брзинских једначина (које су нелинеарне у односу на површинске концентрације електрона на Ландауовим нивоима) зависе од јачине магнетног поља, и при малим вредностима поља систем једначина постаје врло захтеван за решавање.
- проширен је теоријски модел и нумерички алгоритам за случај терахерцних квантних каскадних ласера код којих се систем једначина мора формирати на посебан начин јер се код изабраног дизајна морају урачунати интеракције између суседних периода. Број брзинских једначина неопходних за анализу се из тог разлога значајно повећава.

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 прорачуна спроведених за укупну брзину расејања носилаца (која укључује расејање на лонгитудиналним оптичким фононима, расејање на неравнинама површина и акустичним фононима), анализа њихове зависности од јачине примењеног магнетног поља, као и свеукупног оптичког појачања анализираних структура, представља значајан научни допринос у области наноелектронике, што је вериковано објављивањем резултата истраживања у престижним часописима са SCI листе.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Александар Даничић је до сада објавио четири рада у врхунским међународним научним часописима са SCI листе [M21], три у водећим међународним часописима [M22], три у међународним часописима [M23] и три у зборницима апстраката и радова са међународних конференција [M33], а објавио је и три рада на домаћим конференцијама [M63].

Ужој области проблематике дисертације припадају следећи радови:

Категорија M21:

1. **Daničić A.**, Radovanović J., Milanović V., Ikonić D., Indjin Z.: Optimization and magnetic-field tunability of quantum cascade laser for applications in trace gas detection and monitoring, - *Journal of Physics D – Applied Physics*, vol. 43, no. 4, pp. 045101 (1-8), 2010 (IF=2,109) (ISSN=0022-3727).

Категорија M22:

1. **Daničić A.**, Radovanović J., Indjin D., Ikonić Z.: Modeling of electron relaxation processes and the optical gain in a magnetic-field assisted THz quantum cascade laser, - *Physica Scripta*, T149, pp. 014017 (1-5), 2012 (IF=1,024) (ISSN=0031-8949).

2. Radovanović J., Ramović S., **Daničić A.**, Milanović V.: Negative refraction in semiconductor metamaterials based on quantum cascade laser design for the mid-IR and THz spectral range, - *Applied Physics A*, vol. 109, pp. 763-768, 2012 (IF=1,728) (ISSN=0947-8396).

Категорија M23:

1. **Daničić A.**, Radovanović J., Milanović V., Ikonić D., Indjin Z.: Quantum Cascade Laser Design for Tunable Output at Characteristic Wavelengths in the Mid-Infrared Spectral Range, *Acta Physica Polonica A*, vol. 117, no. 5, pp. 772-776, 2010 (IF=0,467) (ISSN= 0587-4246).

2. Radovanović, **A. Daničić**, V. Milanović, D. Ikonić and Z. Indjin, *Inter-Landau Level Scattering Processes in Magnetic Field Assisted THz Quantum Cascade Lased*, *Acta Physica Polonica A*, vol. 120, no. 2, pp. 227-230, 2011 (IF=0,444) (ISSN=0587-4246).

Категорија M33:

1. **Daničić A.**, Radovanović J., Milanović V., Indjin D., Ikonić Z.: "Electron confinement engineering in THz Quantum Cascade Laser by external magnetic field", - *zbornik apstrakata, International Quantum Cascade Lasers School & Workshop*, Baden, Austria 2012., p. 163.

Категорија M63:


1. **Daničić A.**, Radovanović J., Milanović V., Spagnolo V., Scamarcio G., "Optimizacija kvantnog kaskadnog lasera za primene u atmosferskom monitoringu u infracrvenoj oblasti spektra", - *zbornik radova, 53. konferencija ETRAN*, Vrnjačka Banja, 2009., rad MO2.5, pp. 53-54.

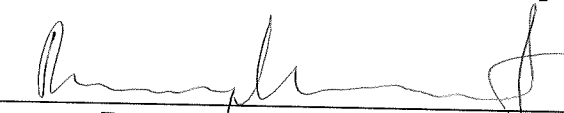
5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

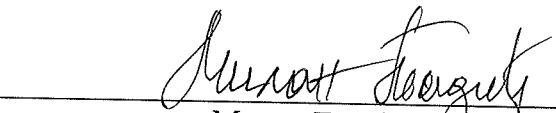
Дисертација кандидата Александра Даничића, под насловом „Оптимизација квантних каскадних ласера у средњој инфрацрвеној и терахерцној области спектра у јаком магнетном пољу” представља савремен и оригиналан научни допринос кроз свеобухватно сагледавање проблема побољшавања излазних карактеристика ових направа, а пре свега оптичког појачања и могућности његове модулације путем спољашњег магнетног поља. Оцењујући докторску дисертацију, као и чињеницу да је анализирана проблематика веома актуелна и савремена с аспекта научног и стручног доприноса, верификована објављивањем у више релевантних часописа са SCI листе, а и податак да су најважнији резултати добијени самосталним радом, Комисија констатује да је кандидат Александар Даничић 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 овај Реферат прихвати и, у складу са законском процедуром, упути Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду на коначно усвајање и давање одобрења кандидату да приступи усменој одбрани.

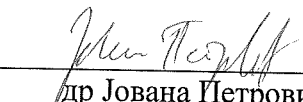
У Београду,
12.08.2013. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:


др Јелена Радовановић, ванредни професор
(Универзитет у Београду - Електротехнички факултет)


др Витомир Милановић, професор емеритус
(Универзитет у Београду - Електротехнички факултет)


др Милан Тадић, редовни професор
(Универзитет у Београду - Електротехнички факултет)


др Јована Петровић, виши научни сарадник
(Универзитет у Београду - Институт за нуклеарне науке “Винча”)