

Универзитет у Београду
Електротехнички факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Марка Грујића за израду докторске дисертације

Одлуком бр. **5003/10-1** од **26.5.2014.** године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Марка Грујића, дипломираног инжењера-мастера електротехнике и рачунарства, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме дисертације: **„Испољавање сопствених и индукованих магнетских својстава графенских наноструктура“.**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Марко Грујић, дипл.инж.-мастера електротехнике и рачунарства, рођен је 25.01.1987. године у Београду. На Електротехнички факултет Универзитета у Београду, Одсек физичка електроника, уписао се 2005. године, а дипломирао је септембра 2009. године на Смеру за наноелектронику, оптоелектронику и ласерску технику са просечном оценом 9,70. На Универзитету у Антверпену је боравио од септембра до новембра 2009. године, где се бавио истраживањем у области моделовања графенских квантних тачака у нормалном магнетском пољу. За постигнути успех током основних студија добио је награду за најбољег студента Одсека за физичку електронику 2009. године. Октобра 2009. 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 октобра 2010. године одбранио је мастер рад под насловом “Електронска структура графенских квантних тачака у нормалном магнетском пољу”.

Марко Грујић је студент докторских студија на Модулу за наноелектронику и фотонику Електротехничког факултета у Београду од децембра 2010. године. Израда докторске дисертације кандидата се спроводи у оквиру споразума између Универзитета у Београду, Универзитета у Антверпену и Електротехничког факултета о изради заједничког доктората.

Марко Грујић је запослен на Електротехничком факултету у Београду од јануара 2011. као истраживач-сарадник на пројекту “Оптоелектронски нанодимензиони системи – пут ка примени” код Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. До сада је публиковао 3 рада у часописима са СЦИ листе и 1 рад у категорији М24. Поред тога, презентовао је 1 рад на конференцији националног значаја, за који је добио награду за најбољи рад младог аутора.

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

Списак радова

Радови објављени у међународним часописима са СЦИ листе:

M21

1. M. Grujić, M. Ž. Tadić, F. M. Peeters, “*Antiferromagnetism in hexagonal graphene structures: Rings versus dots*”, Physical Review B, Vol. 87, No. 8, Art. No. 085434 (6 p.), 2013 (ISSN 1098-0121, IF: 3,691).
2. M. Grujić, M. Zarenia, A. Chaves, M. Tadić, G. Farias, F. M. Peeters, “*Electronic and optical properties of a circular graphene quantum dot in a magnetic field: Influence of the boundary conditions*”, Physical Review B, Vol. 84, Art. No. 205441 (12 p.), 2011 (ISSN 1098-0121, IF: 3,691).

M22

1. M. Grujić, M. Zarenia, M. Tadić, F. M. Peeters, “*Interband optical absorption in a circular graphene quantum dot*”, Physica Scripta, Vol. T149, Art. No. 014056 (4 p.), 2012 (ISSN 0031-8949, IF: 1.204).

Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком – M24:

1. M. Grujić, M. Tadić, “*Electronic states and optical transitions in a graphene quantum dot in a normal magnetic field*”, Serbian Journal of Electrical Engineering, Vol. 8, pp. 53-62, 2011.

Рад саопштен на конференцији националног значаја штампан у целини – M63:

1. M. Grujić, M. Tadić, “*Elektronska stanja i optički prelazi u grafenskoj kvantnoj tački u normalnom magnetnom polju*”, Zbornik 54. Konferencije za ETRAN, Donji Milanovac, jun 2010, rad MO3.4 (4 str.).

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат Марко Грујић поседује одговарајући ниво знања и искуства из области наноелектронике, графенских наноструктура и нумеричких метода потребних за решавање проблема из области предложене теме докторске дисертације. Из области којом се бави докторска дисертација кандидат је до сада публикувао 3 рада у часописима са СЦИ листе, што указује на способност кандидата да ефикасно решава проблеме из области моделовања графенских наноструктура. Поред тога, кандидат поседује самосталност у истраживању и брзо и ефикасно усваја нова знања. До сада је кандидат положио све испите на докторским студијама Електротехничког факултета са највишом оценом 10. Поред тога, кандидат је пред Комисијом формираном од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета, на јавној усменој одбрани, успешно положио докторски испит, одржан 06.6.2014.

На основу наведених резултата кандидата, наша је процена да је кандидат Марко Грујић у стању да успешно реализује и заврши израду докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет предложене дисертације јесу прорачуни, моделовање и симулације магнетских особина графенских наноструктура. Циљ је истражити како спољашње магнетско поље и сопствено магнетско уређење утичу на електронске и транспортне особине графенских нанотачака и квантних баријера, као што су електронска структура и електрична проводност. У складу са последњим правцима у истраживањима у овој области, биће размотрене и графенске наноструктуре са вештачки изазваном масом носилаца и спин-орбитном интеракцијом (СОИ), које узрокују јединствене Паулијеве парамагнетске моменте.

Кристална решетка графена, која је састављена од атома угљеника у дводимензионом саћастом распореду, даје графену егзотична електронска својства. Најупечатљивије су линеарне дисперзионе релације (Диракове купе) носилаца наелектрисања у валентној и проводној зони у околини К долина у Брилуеновој зони. То значи да се, налик наелектрисаним неутринима, електрони у графену понашају као квазичестице без масе са константном брзином простирања. Њихов енергетски спектар је добро описан Дирак-Вејловом једначином из релативистичке квантне механике. У присуству магнетског поља електронска структура графена се састоји од Ландауових нивоа (ЛН), чији је спектар специфичан за графен, што доводи до целобројног квантног Холовог ефекта (КХЕ) посебног облика.

Први део предложеног истраживања ће се бавити кружним графенским нанотачкама, где се уочавају ефекти квантног конфинурања носилаца. Биће коришћена Дирак-Вејлова једначина. Услед саћастог распореда атома ивице нанотачака могу бити фотеластог и цик-цак облика. Биће анализиран утицај граничних услова на енергетски спектар графенских нанотачака у магнетском пољу. Поред овога, биће истражен утицај ивица и ефекта скакајућих орбита на постојање *дијамагнетизма* у оваквим структурама. Особине ЛН-а ће такође бити анализирани методом јаке везе (енгл.: tight binding method-TBM), помоћу кога је могуће експлицитно размотрити егзактну атомску конфигурацију у унутрашњости и на ивицама графенске наноструктуре. Континуални Дирак-Вејлов приступ је заправо нискоенергетски развој резултата добијених помоћу TBM-а.

Следећа тема истраживања биће сопствено магнетско уређење графенских наноструктура у одсуству спољашњих поља. Услед велике густине стања на цик-цак ивицама графен је склон спонтаном *антиферромагнетском* уређењу. За анализу овог проблема биће коришћен Хабардов модел. Приметимо да је Хабардов модел заправо проширени TBM који узима у обзир одбијање електрона супротних спинова који настајују p_z орбитале истог атома угљеника. Конкретно ће бити анализирана појава антиферромагнетског уређења графенских нанопрстенова, са посебним освртом на утицај унутрашњег полупречника на густину стања и локалну густину магнетских момената. Биће детаљно разматрани и утицаји различитих типова ивица спољњих и унутрашњих граница прстенова, као и утицај несавршености и дефеката на формирање магнетских момената.

Након овога дисертација ће се бавити графеном са вештачки индукованим магнетским својствима. Ово истраживање је недавно постало значајно због реализације структура вертикално наслаганих различитих дводимензионих материјала, које се називају ван Дер Валсове хетероструктуре. Циљ ових истраживачких активности је инжењеринг наноструктура у складу са жељеном применом. Велики број теоријских и растући број експерименталних радова указују да је овакав инжењеринг могућ. Посебно питање је како индукована маса и увећана СОИ утичу на транспортна својства. Најперспективнији начин за индуковање масе носилаца у графену је вероватно хетероструктура графена и бор нитрида. С друге стране, за увећање спин-орбитне интеракције, која постоји у графену, али је врло мала, предложен је раст на низу супстрата и допирање адатомима. Ова два параметра у графену доводе до појаве Паулијевих парамагнетских момената, повезаних са само-ротацијом Блохових таласа у близини две долине. Овде ће бити анализирана квантна баријера у којој су маса и/или СОИ индуковани и на коју је примењено магнетско поља. У оваквој структури је могућа појава Паулијевих *парамагнетских* момената. Они се могу експериментално верификовати помоћу магнетотранспортних експеримената, мерењем

уобичајених величина, као што је електрична проводност. Овај приступ ће бити упоређен са резултатима ТВМ прорачуна и методе неравнотежних Гринових функција (НЕГФ). НЕГФ је изузетно користан формализам квантног транспорта који је до сада примењен за моделовање разних наноелектронских направа. Добра особина НЕГФ метода је да се помоћу њега могу на једноставан и реалистичан начин моделовати утицаји несавршености као што су дефекти, хемијско допирање и индуковање локалних магнетских момената.

Коначна фаза предвиђеног истраживања је моделовање напрегнуте графенске баријере са вештачки изазваном масом електрона и вештачки појачаном СОИ. Напрезање се у графену манифестује као псеудомангнетско поље, које је слично реалном магнетском пољу са обрнутим знаком у супротним долинама и стога је инваријантно у односу на инверзију времена. С друге стране, познато је да је истраживање графена довело до теоријског предвиђања постојања тополошких изолатора. Графен заиста постаје тополошки изолатор при довољно јакој СОИ и показује појаву тополошког енергетског процепа, различитог од процепа изазваног масивним електронима. Ако се индукују и маса и СОИ, појављују се оба процепа, са међусобно супростављеним ефектима. Због специфичне графенске кристалне решетке и спин и долински квантни број тада имају значајну улогу. Биће истражена трансмисија електрона кроз напрегнуту графенску баријеру у функцији упадне енергије и угла електрона. У ово разматрање биће укључени утицаји спина и долиноског степена слободе кретања електрона.

Један од главних прокламованих циљева истраживања графена је да он послужи као основни материјал у пост-силицијумској електроници. Са становишта електронике, ово не значи да ће силицијумски транзистори са ефектом поља у блиској будућности бити замењени графенским. Штавише у графену не постоји енергетски процеп, што отежава контролу покретљивости електрона. Такође, потребно је да се графенска електроника усаврши до нивоа да се транспортне особине графенских транзистора могу лако контролисати, како би ови транзистори били конкурентни силицијумским МОСФЕТ-овима. Да би се овакав циљ остварио, мора се у потпуности овладати техникама обликовања ивица графенских нанотрака које се користе као канали у ГФЕТ-овима (енгл.: graphene field effect transistor – графенски транзистор са ефектом поља). Поред коришћења за израду транзистора, предложен је велики број разноврсних примена графена, од дисплеја до квантних рачунара. Предложена теза има за циљ да следи тренутни напредак у истраживању графена и његових примена и да размотри како се својстава графена битна за примену у наноелектроници, наномагнетизму и наноспинтроници могу унапредити и искористити за реализацију нових функционалности. Поред овога, резултати предложеног истраживања би могли бити од користи за нову област долинотроники (енгл.: valleytronics).

Релевантни библиографски подаци

Кандидат ће у раду на тези користити библиографске изворе који се баве: (1) електронском структуром и транспортним особинама графенских наноструктура, (2) магнетским особинама графенских наноструктура и (3) заснивањем континуалног метода и метода јаке везе и њиховим применама за истраживање графена. Најважније коришћене референце су:

1. A. H. Castro Neto, F. Guinea, N. M. R. Peres, K. S. Novoselov, and A. K. Geim, “*The electronic properties of graphene*”, Reviews of Modern Physics, Vol. 81, Art. No. 109 (54 p.), 2009.
2. K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva, and A. A. Firsov, “*Electrical Field Effect in Atomically Thin Carbon Films*”, Science, Vol. 306, Art. No. 5696 (4 p.), 2004.
3. O. V. Yazuev, “*Emergence of magnetism in graphene materials and nanostructures*”, Reports on Progress in Physics, Vol. 73, Art. No. 056501 (p. 16), 2009.
4. Y.-W. Son, M. L. Cohen, and S. G. Louie, “*Half-metallic graphene nanoribbons*”, Nature, Vol. 444, pp. 347-349, 2006.
5. J. Fernandez-Rossier and J. J. Palacios, “*Magnetism in Graphene Nano Islands*”, Physical Review Letters, Vol. 99, Art. No. 177204 (4 p.), 2007.
6. O. Yazyev and M. Katsnelson, “*Magnetic Correlations at Graphene Edges: Basis for Novel Spintronic Devices*”, Physical Review Letters, Vol. 100, Art. No. 047209 (4 p.), 2008.
7. P. E. Allain and J. N. Fuchs, “*Klein tunneling in graphene: optics with massless electrons*”, European Physical Journal B, Vol. 83, pp. 301-317, 2011.
8. B. Hunt, J. D. Sanchez-Yamagishi, A. F. Young, M. Yankowitz, B. J. LeRoy, K. Watanabe, T. Taniguchi, P. Moon, M. Koshino, P. Jarillo-Herrero and R. C. Ashoori, “*Massive Dirac Fermions and Hofstadter Butterfly in a van der Waals heterostructure*”, Science, Vol. 340, Art. No. 6139 (4 p.), 2013.
9. A. K. Geim and I. V. Grigorieva, “*Van der Waals heterostructures*”, Nature, Vol. 499, pp. 419-425, 2013.
10. C. R. Woods, L. Britnell, A. Eckmann, R. S. Ma, J. C. Lu, H. M. Guo, X. Lin, G. L. Yu, Y. Cao, R. V. Gorbachev, A. V. Kretinin, J. Park, L. A. Ponomarenko, M. I. Katsnelson, Yu. N. Gornostyrev, K. Watanabe, T. Taniguchi, C. Casiraghi, H.-J. Gao, A. K. Geim and K. S. Novoselov, “*Commensurate-incommensurate transition in graphene on hexagonal boron nitride*”, Nature Physics, Vol. 10, pp. 451-456, 2014.
11. J. Balakrishnan, G. K. Koon, M. Jaiswal, A. H. Castro Neto and B. Ozyilmaz, “*Collosal enhancement of spin-orbit coupling weakly hydrogenated graphene*”, Nature Physics, Vol. 9, pp. 284-287, 2013.

12. Di Xiao, Wang Yao and Qian Niu, "*Valley Contrasting Physics in Graphene: Magnetic Moment and Topological Transport*", Physical Review Letters, Vol. 99, Art. No. 236809 (4 p.), 2007.

3. Полазне хипотезе

Прва хипотеза је да енергетски спектар у кружним графенским нанотачкама у магнетском пољу зависи од облика њихових ивица. Са растом магнетског поља ивице, међутим, постају мање битне и спектар постаје диктиран првенствено магнетским пољем. Енергетски спектар у ствари зависи од односа магнетске дужине и димензија тачке и за довољно јака поља очекује се појава Ландауових нивоа, као у масивном графену. Такође се очекује да гранични услови играју важну улогу само у слабијим пољима, али и да су значајни за појаву нултог Ландауовог нивоа. Очекује се да се помоћу прорачуна по методу јаке везе може добити оцена који су гранични услови за таласну функцију адекватни за коришћење у оваквој структури.

Друга хипотеза се односи на спонтано магнетско уређење у графенским нанопрстеновима. У графену се ово уређење појављује због велике густине стања код цик-цак ивица у близини Фермијевог нивоа. За итинерантне електроне ово узрокује нестабилност која се отклања након преласка у *антиферромагнетску* фазу. Очекује се да ће бити установљени услови под којима хибридизација стања доводи до појаве антиферромагнетизма. Зависност хибридизације стања од растојања између ивица прстенова и типа ивице ће бити посебно истражена.

Трећа хипотеза се односи на испољавање индукованих Паулијевих магнетских момената услед коначне масе или спин-орбитне интеракције у квантним баријерама у графену у присуству магнетског поља. Очекује се да су у случају велике спин-орбитне интеракције индуковани моменти спрегнути са спином електрона, слично као што су моменти спрегнути са долињским степеном слободе електрона у случају масивних електрона. Штавише, очекује се да се ови моменти манифестују у потпуно истој функционалној форми у оба случаја. Поред тога, очекује се да ови моменти имају велики утицај на спектар ЛН-а и да се могу испољити у транспортним својствима графена, као што је мерење КХЕ-а. Може се предвидети да ће овај рад дати смернице како да се магнетски моменти експериментално уоче, као и да ће уочена својства бити релативно стабилна у односу на постојање несавршености.

Четврта хипотеза се односи на анализу утицаја коначне масе електрона и СОИ на транспортне особине напрегнутих графенских баријера. У овом случају очекује се да међусобна спрега тополошки различитих енергетских процепа, који настају због коначне масе и СОИ, доминантно одређује транспортне особине, док је Паулијев парамагнетизам

од мањег значаја. Очекује се да је могуће затворити процеп за једну комбинацију квантних бројева спин-долина, а да је за другу комбинацију ових бројева процеп отворен. Осим тога, псеудомагнетско поље услед напрезања може довести до различитих циклотронских путања електрона у различитим долинама, што би довело до додатног просторног раздвајања електрона са различитим квантним бројевима. Како је спин спрегнут са долином у филтрираним стањима, то би довело и до просторног раздвајања спинова. Дакле очекује се појава ефекта *спин-долинског филтрирања*.

4. Научне методе истраживања

- Већина споменутих проблема биће решена помоћу Дирак-Вејлове диференцијалне једначине. Предност ове методе је што пружа увид у важне детаље решења ТВМ-а. Она пружа опис на квалитативном нивоу, али и прилично тачне резултате на квантитативном нивоу.
- Поред континуалног приступа биће коришћен и дискретни метод јаке везе. Овај метод узима у обзир детаљну атомску конфигурацију графенске наноструктуре или нанонаправе. Због комплексности, овај приступ је ограничен на релативно мале системе, што је његов главни недостатак у практичним применама. У примени овог метода на системе сачињене од великог броја атома намећу се велики захтеви на рачунарске ресурсе.
- Електрон-електрон интеракција биће описана помоћу Хабардовог модела. Овај модел је надградња метода јаке везе и узима у обзир одбијање електрона на датом атомском месту. Оригинални Хабардов модел садржи четири оператора анихилације-креације. Због овога је он рачунарски захтеван и врло непрактичан за практичну употребу. Стога ће у раду бити коришћена апроксимација средњег поља, која подразумева интеракцију електрона једног спина само са електронима другог спина средње вредности концентрације на датом атомском месту. Због овог поједностављења потребно је међутим решити проблем самосагласно. Пошавши од неког претпостављеног магнетског уређења, спроводи се итеративни прорачун све док промена добијених концентрација електрона у две сукцесивне итерације постане безначајна.
- За транспортне карактеристике биће коришћен формализам неравнотежних Гринових функција. Слично Хабардовом методу, НЕГФ формализам се такође ослања на метод јаке везе. Ово је изузетно јак и робустан формализам, са врло једноставном имплементацијом. Као и метод јаке везе омогућава детаљну анализу на атомском нивоу. Објашњење резултата добијених овим методом често међутим

није једноставно. Штавише, теоријске резултате није могуће прецизно и јасно разумети. Међутим, ако се овакав прорачун комбинује са неким другим методом, транспортне карактеристике се могу изузетно детаљно објаснити. У овој дисертацији ће за ту сврху бити коришћен континуални метод.

Сви наведени методи су имплементирани помоћу програма Matlab и Mathematica.

5. Очекивани научни доприноси

У оквиру ове дисертације очекују се следећи резултати:

- Извођење спектра ЛН-а, као и нумеричко одређивање валидности различитих граничних услова уз које се решава Дирак-Вејлова једначина за електроне у кружним графенским квантним тачкама.
- Одређивање типа антиферомагнетског уређења у графенским нанопрстеновима.
- Опис дуалности између подрешеткиног псеудоспина и магнетских момената изазваних масом или СОИ у нормалним магнетским пољима.
- Опис манифестације индукованих Паулијевих парамагнетских момената у магнетотранспортним мерењима.
- Биће предложена и анализирана наноаправа под називом *спинско-долински филтар* заснована на напрегнутим графенским баријерама са масом и СОИ.

Очекује се да се добијени резултати могу користити за дизајнирање графенских наноелектронских направа и структура. На пример графенске квантне тачке и прстенови би могли бити градивни елементи једноелектронских транзистора и сензора. С друге стране могућност манипулације спином и долином електрона у графенским баријерама би омогућила значајан допринос наноспинтроници и новој области долинотроники.

6. План истраживања и структура рада

Истраживање ће се одвијати постепено, почевши од решавања Дирак-Вејлове диференцијалне једначине са векторским потенцијалима, примене граничних услова и нумеричког решавања добијених трансценденталних једначина. Након тога потребно је развити алгоритме самосагласног поступка и применити их за анализу магнетског уређења у прстеновима. Даље је потребно утврдити транспортна својства графенских баријера са вештачки индукованим својствима. Ово значи да је потребно аналитички извести

коэффициент трансмисије, као и утврдити његову зависност од спина и долине електрона. Потребно је добијене резултате објаснити и извести закључке, који ће затим бити доведени у везу са полазним хипотезама. Биће анализирана зависност проводности од енергије електрона и индукованих магнетских момената. На крају је потребно решити Дирак-Вејлову једначину у присуству псеудомангнетског поља. Добијени резултати ће затим бити анализирани за скуп параметара који су експериментално оствариви, са циљем предвиђања мерљивих ефеката.

Докторска дисертација ће бити сачињена од следећих поглавља. Увод ће садржати преглед основних података о графену. Дирак-Вејлова једначина ће бити изведена из метода јаке везе примењеног на бесконачни периодични кристал. Биће дат осврт на значајне експерименталне радове о графену. Имајући у виду јединствену електронску структуру графена, биће дискутована транспортна, термална и механичка својства, као што су покретљивост електрона, топлотна проводност, еластичност и колективни магнетизам. У следећем поглављу ће детаљно бити изложен Хабардов модел, са посебним освртом на апроксимацију средњег поља. НЕГФ метод и одговарајући алгоритми ће такође бити обрађени у овом поглављу. Треће поглавље ће садржати резултате прорачуна електронског и шупљинског спектра кружних графенских квантних тачака у нормално примењеном магнетском пољу. Детаљна анализа магнетског уређења у графенским нанопрстеновима ће бити дата у четвртном поглављу. Утицај величине и облика ивица на магнетизам у овим прстеновима ће бити темељно испитан и упоређен са једноструко повезаним графенским нанотачкама. У петом поглављу ће бити приказани резултати испољавања индукованих парамагнетских момената у транспортним својствима графенске квантне баријере. Нумерички резултати за случај присутног псеудомангнетског поља изазваног напрезањем биће приказани и дискутовани у шестом поглављу. Главни резултата дисертације биће сумарно приказани у закључном поглављу.

7. Закључак и предлог

На основу приложене документације, као и непосредног увида у досадашњи научни рад кандидата Марка Грујића, 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 „Испољавање сопствених и индукованих магнетских својстава графенских наноструктура“ је научно заснована, а резултати до којих ће се доћи израдом ове дисертације биће значајан и оригиналан допринос областима моделовања графенских наноструктура и наноелектроници.

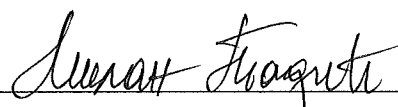
Због тога Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да кандидату Марку Грујићу одобри израду докторске дисертације под наведеним називом, а под менторством др Милана Тадића, редовног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду и др François M. Peetersa,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

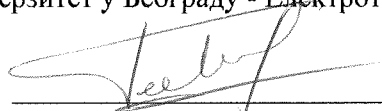
Студент докторских студија спроводи истраживања у вези са предложеном темом на Универзитету у Београду и Универзитету у Антверпену, према споразуму склопљеном између два универзитета и Електротехничког факултета.

Докторска дисертација ће бити написана на енглеском језику.

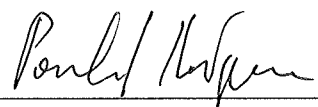
У Београду
и Антверпену, 09. 6. 2014.

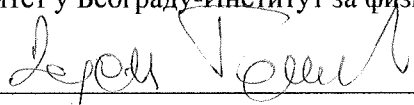
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


Др Милан Тадић, редовни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет


Dr. François M. Peeters, full professor
Department of Physics, University of Antwerp, Belgium


Др Јелена Радовановић, ванредни професор
Универзитет у Београду-Електротехнички факултет


Др Небојша Ромчевић, научни саветник
Универзитет у Београду-Институт за физику


Др Дејан Тошић, редовни професор
Универзитет у Београду-Електротехнички факултет