

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Марка Младеновића**

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 5021/12-3 од 5. октобра 2016. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Марка Младеновића** под насловом

### **Electronic Properties of Interfaces between Domains in Organic Semiconductors**

#### **Електронска својства органских полупроводника на границама домена**

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

Марко Младеновић је 13. новембра 2012. године уписао докторске академске студије Електротехнике и рачунарства, модул за Наноелектронику и фотонику, на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Испите на докторским студијама је положио са просечном оценом 10.

Кандидат је 6. октобра 2015. године пријавио тему за израду докторске дисертације под радним насловом “Electronic Properties of Interfaces between Domains in Organic Semiconductors” (“Електронска својства органских полупроводника на границама домена”).

Комисија за студије III степена је 13. октобра 2015. године разматрала предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије о оцени подобности теме и кандидата упутила Наставно-научном већу на усвајање.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета је на својој седници бр. 792 одржаној 27. октобра 2015. године (бр. одлуке 5021/12-1 од 3. новембра 2015. године) именовало Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу:

- др Витомир Милановић, професор емеритус, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
- др Ненад Вукмировић, виши научни сарадник, Универзитет у Београду – Институт за физику у Београду и

- др Сениша Јешић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

За ментора је предложена:

- др Јелена Радовановић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

Јавна усмена одбрана предложене теме докторске дисертације обављена је 3. новембра 2015. године на Електротехничком факултету, пред именованом комисијом. Комисија је закључила да је кандидат на јавној усменој одбрани предложене теме докторске дисертације добио оцену “задовољно”.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета усвојило је извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације на седници одржаној 1. децембра 2015. године (бр. одлуке 5021/12-2 од 8. децембра 2015. године).

На седници одржаној 21. децембра 2015. године, Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације Марка Младеновића, под насловом “Electronic Properties of Interfaces between Domains in Organic Semiconductors” (“Електронска својства органских полупроводника на границама домена”) (бр. одлуке 61206-5560/2-15).

Кандидат је 1. септембра 2016. године предао на преглед и оцену докторску дисертацију под насловом “Electronic Properties of Interfaces between Domains in Organic Semiconductors” (“Електронска својства органских полупроводника на границама домена”).

Комисија за студије III степена потврдила је 6. септембра 2016. године испуњеност свих потребних услова и Наставно-научном већу Електротехничког факултета поднела предлог за именовање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације. На својој седници бр. 803 од 27. септембра 2016. године, Наставно-научно веће Електротехничког факултета именovalo је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације (бр. одлуке 5021/12-3 од 5. октобра 2016. године) у саставу:

- др Јелена Радовановић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
- др Ненад Вукмировић, научни саветник, Универзитет у Београду – Институт за физику у Београду,
- др Витомир Милановић, професор емеритус, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
- др Антун Балаж, научни саветник, Универзитет у Београду – Институт за физику у Београду.
- др Петар Матавуљ, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,

## 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада области физичке електронике за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду. Именовани ментор дисертације др Јелена Радовановић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду активно се бави истраживањем из наведене научне области. До сада је објавила 85 радова у међународним часописима са SCI листе и више десетина радова у зборницима радова међународних конференција.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Марко Младеновић је рођен 2. септембра 1988. године у Зајечару. Завршио је Математичку гимназију у Београду као носилац Вукове дипломе. Потом уписује Електротехнички факултет Универзитета у Београду, одсек Физичка електроника, смер Наноелектроника, оптоелектроника и ласерска техника. Факултет је завршио са просечном оценом 9,78 као најбољи студент генерације на одсеку. Затим уписује мастер студије на истом факултету на модулу Наноелектроника и фотоника. Мастер рад под називом “Атомска и електронска структура граница између кристалних домена у нафталену” је одбранио 17. септембра 2012. године. Докторске студије на истом факултету и модулу уписује 13. новембра 2012. године.

Кандидат је започео свој истраживачки рад на Институту за физику у Београду у Лабораторији за примену рачунара у науци почетком августа 2011. године, а запослен је од 1. новембра 2012. године. У звање истраживач сарадник је изабран 24. септембра 2013. године. Ангажован је на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије ОН171017 “Моделирање и нумеричке симулације сложених вишечестичних система”. Од 2011-2015. године био је ангажован и на пројекту из Седмог оквирног програма Европске комисије “Електронски транспорт у органским материјалима”. До сада је учествовао на већем броју међународних конференција и школа. На конференцији European Materials Research Society Spring Meeting 2014 у Лилу награђен је за најбољег младог истраживача у оквиру секције “Компјутерско моделовање органских полупроводника”.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Дисертација под насловом “Electronic Properties of Interfaces between Domains in Organic Semiconductors” (“Електронска својства органских полупроводника на границама домена”) написана је на 112 страна куцаног текста на енглеском језику, са 51 сликом и 147 нумерисаних једначина. По форми и структури одговара Упутству за обликовање докторске дисертације и Упутству за формирање репозиторијума докторских дисертација Универзитета у Београду од 14. децембра 2011. године. Садржи насловну страну на енглеском и српском језику, захвалнице, апстракт рада на енглеском и српском језику, садржај, седам глава, списак коришћене литературе који обухвата 117 библиографских референци, страну са списком публикација кандидата и страну са кратком биографијом кандидата. Поглавља дисертације су насловљена као:

1. Introduction to organic semiconductors (12 страна)
2. Methods for atomic and electronic structure calculations (35 страна)
3. Electronic states at low-angle grain boundaries in polycrystalline small-molecule organic semiconductors (21 страна)
4. Effects of thermal disorder on electronic properties of ordered polymers (19 страна)
5. Electronic states at the interfaces between crystalline and amorphous domains in conjugated polymers (11 страна)
6. Spontaneous polarization in ordered poly(3-hexylthiophene) induced by side chains (10 страна)
7. Summary (4 стране)

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом, уводном поглављу је најпре дат кратак преглед основних својстава органских полупроводника, њиховог значаја и примена. Затим су описане границе између домена у овим материјалима и тренутно разумевање њиховог утицаја на ове материјале и електронске направе на бази њих. Дат је и преглед механизма транспорта носилаца наелектрисања у

уређеним и неуређеним органским полупроводницима. Описан је и значај електронске спреге између молекула или полимера за електронске особине материјала. Уводно поглавље се завршава прегледом структуре остатка дисертације.

У другом поглављу су представљене методе које је кандидат користио за опис атомске и електронске структуре органских полупроводника и граница између домена у овим материјалима. Најпре је описано како је атомска структура материјала генерисана коришћењем Монте Карло симулација у којима су интеракције између атома моделоване класичним потенцијалима. Затим је приказана теорија функционала густине која представља основу свих прорачуна електронске структуре приказаних у тези. С обзиром да су директни прорачуни на бази ове теорије сувише рачунски захтевни за физичке системе разматране у овој дисертацији, описани су методи који су коришћени да се изврше ови прорачуни – метод склапања наелектрисања, метод преклопљених фрагмената и метод јаке везе у оквиру теорије функционала густине. Приказана је и модерна теорија поларизације базирана на приступу са Беријевом фазом, која је коришћена за прорачун спонтане поларизације у материјалу.

У трећем поглављу су приказани резултати које је кандидат добио кад су у питању својства граница између домена у органским полупроводнику на бази малих молекула. Приказани су прорачуни атомске структуре и електронске структуре граница између домена у нафталину. Показано је да се стања замке јављају на граници између домена на местима где су два молекула са различитих страна границе на мањем растојању него што би били у идеалном кристалу. На основу тих прорачуна развијен је модел који је омогућио и да се процени електронска густина стања замки које се јављају на границама између домена у овом материјалу. Затим су приказани и прорачуни за други тип молекула који су указали да се густина стања замки може смањити додавањем бочних ланаца на молекулу чиме се повећава растојање између молекула са различитих страна границе.

У четвртм поглављу су приказани резултати кандидата који разјашњавају ефекте термалне неуређености на електронске особине материјала на бази конјугованих полимера. Дата је упоредна анализа структура у којима су главни ланци прави, а бочни ланци неуређени, структура где је главни ланац неуређен у одсуству бочних ланаца и структура где су неуређени како главни, тако и бочни ланци. Приказани су прорачуни густине електронских стања и локализације таласних функција за све наведене структуре. На основу ових прорачуна је показано да неуређеност главних ланаца доводи до значајне локализације таласних функција која може да доведе до термално активiranог транспорта у овим материјалима.

У петом поглављу су приказани резултати анализе границе између кристалних и аморфних домена у материјалима на бази конјугованих полимера. Разматрана су два типа границе – оштра граница између аморфног и кристалног домена и граница на којој се крајеви ланаца из два кристална домена преплићу и формирају аморфни домен. Приказани су прорачуни густине електронских стања и таласних функција на разматраним границама. На основу ових прорачуна је закључено да се највиша попуњена стања налазе у кристалном домену, па зато аморфни домен представља баријеру за транспорт носилаца. Поред тога, показано је и да се на границама између домена не јављају стања замке.

У шестом поглављу су дати резултати анализе ефеката спонтане поларизације у поли(3-хексилтиофен) полимеру и границама између домена у том материјалу. Најпре је приказан прорачун поларизације у идеално кристалном материјалу коришћењем теорије функционала густине и модерне теорије поларизације. Затим је показано да се и коришћењем метода јаке везе у оквиру теорије функционала густине може поуздано одредити спонтану поларизација овог материјала. Тај приступ је затим коришћен да се процени спонтану поларизација на собној температури кад су ефекти термалне неуређености значајни. На крају су разматрани

ефекти спонтане поларизације на стања на граници између кристалног и аморфног домена у случају кад је правац поларизације нормалан на границу.

У седмом поглављу су сумирани закључци дисертације и наведени могући правци даљег истраживања.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Органски полупроводници су материјали од великог значаја за примене у оптоелектронским направама као што су соларне ћелије, диоде које емитују светлост и транзистори. И поред тога што имају слабије карактеристике од конвенционалних неорганских полупроводника, због могућности њихове јефтине производње ови материјали су већ нашли примену у комерцијалним производима – поједини модели телевизора и екрана мобилних телефона управо користе диоде које емитују светлост направљене од ових материјала. Због комплексне структуре ових материјала, за њихов даљи развој и примене неопходно је боље разумевање њихових електронских особина.

Органски полупроводници у реалности имају сложену структуру. Материјали на бази малих органских молекула су поликристални, тј. састоје се из кристалних домена различите оријентације. Са друге стране, материјали на бази конјугованих полимера садрже кристалне и аморфне домене. Значај испитивања граница између домена у органским полупроводницима је истакнут у литератури, али детаљнија истраживања нису спроведена. Као један од узрока појаве стања замки у енергијском процепу материјала на бази малих органских молекула је наведено постојање кристалних домена различите оријентације, али без доказа и конкретног објашњења. Граница између кристалног и аморфног домена у конјугованим полимерима није до сада испитивана експлицитно, већ кроз поређење кристалних и аморфних домена.

Због свега наведеног, резултати дисертације кандидата представљају оригиналан и изузетно значајан допринос разумевању електронских особина органских полупроводника јер представљају први систематичан опис граница између домена у органским полупроводницима.

#### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде дисертације кандидат је детаљно истражио релевантну литературу и коректно навео радове који су у вези са темом дисертације. Наведено је укупно 117 библиографских референци. Литература садржи најновије радове из високо-реномираних часописа, релевантне за проблематику истражену у дисертацији, што говори о актуелности и значају приказаних истраживања. Поред радова других аутора, у листи референци се налазе и радови самог кандидата.

#### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Сви резултати током израде дисертације су добијени помоћу симулација и нумеричких прорачуна. Алгоритам прорачуна електронске структуре се може грубо поделити у два дела: генерисање атомске структуре и рачунање електронске структуре за добијену атомску структуру.

За генерисање атомске структуре је коришћен Монте Карло алгоритам. За ту потребу је развијен код у програмском језику С. Монте Карло алгоритам минимизује енергију система и као резултат даје равнотежну конфигурацију на задатој температури. За рачунање енергије су коришћени класични потенцијали.

Прорачун електронске структуре је извршен помоћу метода склапања наелектрисања. Овај метод директно одређује густину електронског наелектрисања. Улазни подаци су, поред финалне атомске структуре, доприноси сваког атома укупној густини наелектрисања добијени помоћу прорачуна базираних на теорији функционала густине за мали систем у коме атоми имају исто окружење као у систему који се разматра. Након одређивања густине наелектрисања, једночестични потенцијал система је одређен решавањем Пуасонове једначине и коришћењем апроксимације локалне густине за изменско - корелациони члан. У случају прорачуна електронске структуре конјугованих полимера је коришћен метод преклапајућих фрагмената за дијагонализацију Хамилтонијана. Овај метод користи својствена стања малих подсистема (фрагмената) као скуп базисних функција.

Коначни резултати прорачуна електронске структуре су енергије и таласне функције у жељеном енергијском опсегу (најчешће на врху валентне зоне). За обраду резултата и рачунање густине електронских стања и дужине локализације носилаца развијени су кодови у програмском пакету MATLAB.

За прорачун спонтане поларизације у идеално кристалним конјугованим полимерима су коришћени програмски пакети ABINIT и Quantum Espresso који имплементирају једначине теорије функционала густине. За одређивање спонтане поларизације на собној температури коришћен је метод јаке везе у оквиру теорије функционала густине.

Све коришћене методе представљају најсавременије методе за рачунање електронске структуре материјала. Теорија функционала густине представља основ свих тих метода, а тамо где је није било могуће директно применити због превелике рачунске захтевности, коришћене су апроксимативне методе које омогућавају прорачун система са великим бројем атома. Притом је применљивост тих апроксимација пажљиво проверена.

#### 3.4. Применљивост остварених резултата

Дисертација се бавила питањима електронских стања на границама између домена у органским полупроводницима. С обзиром да се о овим стањима јако мало знало, дисертација је била фокусирана на фундаментална својства ових стања. И поред тога, резултати дисертације имају и практичан значај. С обзиром да су границе између домена присутне у сваком реалном органском полупроводнику, резултати тезе су од значаја за електронске направе на бази тих материјала. Конкретно, у тези је идентификовано порекло стања замки на границама између домена у материјалима на бази малих молекула и показано је да се та стања у великој мери могу елиминисати додавањем бочних ланаца на молекул, што би водило направама са побољшаним карактеристикама. Поред тога, развијени модели за одређивање густине стања на границама између домена се могу даље применити унутар модела за струјно-напонске карактеристике направе и користити приликом развоја одговарајућих направа.

#### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је кроз рад на дисертацији овладао научно-истраживачком методологијом и показао изузетну способност за самосталан истраживачки рад, као и за рад у истраживачком тиму. Током рада на докторату је учествовао на више међународних конференција где је показао да је научио да јасно изложи и дискутује своје резултате. Приликом израде дисертације овладао је коришћењем неколико постојећих рачунарских кодова за електронску структуру материјала на рачунарима високих перформанси, али је и самостално развио свој код за Монте Карло симулације атомске структуре и проширивао је постојеће кодове за електронску структуру. Приликом припреме резултата истраживања за публикације у водећим међународним часописима, највећи део текста је самостално написао из чега се види да је овладао способношћу представљања научно-истраживачких резултата. У самој дисертацији су предмет и циљеви истраживања јасно дефинисани, јасно су представљене

методе које су коришћене, а добијени резултати су на одговарајући начин представљени, анализирани и дискутовани.

## 4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

У дисертацији се јасно могу издвојити следећи научни доприноси:

- Показано је да се у органским полупроводницима на бази малих молекула стања замке јављају на местима где су два молекула са различитих страна границе на мањем растојању него што би били у идеалном кристалу. Притом се енергија тих стања може директно одредити на основу растојања између молекула. Утврђено је и да се граница између домена понаша истовремено и као замка (на местима где су молекули са различитих страна границе близу) и као баријера (на местима где су ти молекули далеко).
- Утврђено је да термална неуређеност главних ланаца доводи до локализације носилаца у конјугованим полимерима на собној температури и да је таква локализација један од могућих узрока термално активiranог транспорта у овим материјалима.
- Показано је да се у реалном материјалу на бази конјугованих полимера који се састоји од кристалних и аморфних домена највиша стања у валетној зони налазе у кристалном домену и да тиме аморфни домен представља баријеру за носиоце. Такође је утврђено да се на граници кристалног и аморфног домена не јављају стања замке унутар енергетског процепца материјала.
- Утврђено је да се у поли(3-хексилтиофен) полимеру јавља спонтана поларизација због асиметрије у положају бочних ланаца. Ефекти спонтане поларизације доводе до локализације стања на граници између кристалног и аморфног домена у случају кад је граница нормална на правац поларизације.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

У литератури из органских полупроводника није постојала јасна слика о томе какав утицај имају границе између домена на електричне особине самог материјала, а тиме и на карактеристике електронских и оптоелектронских направа на бази тих материјала. Са експерименталне тачке гледишта, разлог за то су тешкоће да се директно карактеришу електронска стања на самим границама између домена, а са теоријске чињеница да је за прорачун стања на границама домена потребно симулирати системе са великим бројем атома. Научни доприноси наведени у делу 4.1 су дали веома важан допринос разјашњавању многих отворених питања.

Значај испитивања граница између домена у органским полупроводницима је истакнут у литератури, али детаљнија истраживања нису спроведена. Као један од узрока појаве стања замки у енергијском процепу материјала на бази малих органских молекула је наведено постојање кристалних домена различите оријентације, али без доказа и конкретног објашњења. У дисертацији је, с друге стране, спроведена прва детаљна студија електронских стања на граници домена и узрока њиховог настанка. Ефекти термалног неуређења су досад испитивани у литератури, али без раздвајања ефеката неуређења бочних и главних ланаца. Резултати ове дисертације су разјаснили да је доминантан ефекат главних ланаца. Граница између кристалног и аморфног домена у конјугованим полимерима није до сада испитивана експлицитно, већ кроз поређење кристалних и аморфних домена. У дисертацији су први пут директно анализирана стања на граници између ових домена. Такође, у литератури досад

није примећена могућност појаве спонтане поларизације у једном од најпознатијих полимера, поли(3-хексилтиофену), на електронске особине конјугованих полимера.

Због свега наведеног, истраживања у оквиру дисертације кандидата су довела до веома значајног унапређења постојећих знања у области електронских особина органских полупроводника.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Током своје досадашње научне каријере Марко Младеновић је постигао изузетне резултате објавивши 4 рада у врхунским међународним часописима (M21) и један рад у међународном часопису изузетних вредности (M21a). Истраживања објављена у радовима у часописима M21 категорије на којима је кандидат први аутор чине основ за дисертацију кандидата, док је рад у M21a часопису прегледни рад у коме су такође приказани делови истраживања из дисертације кандидата. Поред тога, кандидат је аутор или коаутор и на већем броју конференцијских презентација које су штампане у целини или у изводу.

#### **Радови у међународним часописима изузетних вредности (M21a):**

1. **Mladenović, M.** and Vukmirović, N.: Charge Carrier Localization and Transport in Organic Semiconductors: Insights from Atomistic Multiscale Simulations, *Advanced Functional Materials*, vol. 25, no. 13, pp. 1915-1932, 2015 (**IF2015=11.382**) (doi: 10.1002/adfm.201402435, ISSN: 1616-301X).

#### **Радови у врхунским међународним часописима (M21):**

1. **Mladenović, M.**, Vukmirović, N. and Stanković, I. E.: Electronic States at Low-Angle Grain Boundaries in Polycrystalline Naphthalene, *Journal of Physical Chemistry C*, vol. 117, no. 30, pp. 15741-15748, 2013 (**IF2013=4.835**) (doi: 10.1021/jp404825h, ISSN: 1932-7447).
2. **Mladenović, M.** and Vukmirović, N.: Effects of Thermal Disorder on the Electronic Properties of Ordered Polymers, *Physical Chemistry Chemical Physics*, vol. 16, no. 47, pp. 25950-25958, 2014 (**IF2014=4.493**) (doi: 10.1039/c4cp04425h, ISSN: 1463-9076).
3. **Mladenović, M.** and Vukmirović, N.: Electronic States at the Interface Between Crystalline and Amorphous Domains in Conjugated Polymers, *Journal of Physical Chemistry C*, vol. 119, no. 41, pp. 23329-23333, 2015 (**IF2015=4.509**) (doi: 10.1021/acs.jpcc.5b06673, ISSN: 1932-7447).
4. **Mladenović, M.** and Vukmirović, N.: Spontaneous Polarization Induced by Side Chains in Ordered Poly(3-hexylthiophene), *Journal of Physical Chemistry C*, vol. 120, no. 33, pp. 18895-18900, 2016 (**IF2015=4.509**) (doi: 10.1021/acs.jpcc.6b05551, ISSN: 1932-7447).

#### **Радови у међународним часописима (M23):**

1. **Mladenović, M.**, Vukmirović, N. and Stanković, I. E., Atomic and Electronic Structure of Grain Boundaries in Crystalline Organic Semiconductors, *Physica Scripta*, vol. 2013, no. T157, pp. 014061/1-014061/3, 2013 (**IF2013=1.296**) (doi: 10.1088/0031-8949/2013/T157/014061, ISSN: 0031-8949).

#### **Радови у часописима међународног значаја верификованих посебним одлукама (M24):**

1. **Mladenović, M.** and Stanković, I. E.: Monte Carlo Simulations of Crystalline Organic Semiconductors, *Serbian Journal of Electrical Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 125-134 (2013) (doi: 10.2298/SJEE1301125M, ISSN 1451-4869).



**Предавање по позиву са међународног скупа штампано у изводу (M32):**

1. Vukmirović, N. and **Mladenović, M.**: “Simulation Insights into Electronic Properties of Disordered Organic Semiconductors”, Book of Abstracts, p. 69, The 26<sup>th</sup> International Conference on Amorphous and Nanocrystalline Semiconductors, Aachen, Germany, 13-18 September 2015.

**Саопштења са међународног скупа штампана у изводу (M34):**

1. **Mladenović, M.**, Stanković, I. E. and Vukmirović, N.: “Atomic and Electronic Structure of Grain Boundaries in Crystalline Organic Semiconductors”, Book of Abstracts, p. 90, 3rd International Conference on Optical Materials, Belgrade, Serbia, 3-6 September 2012.
2. **Mladenović, M.**, Vukmirović, N. and Stanković, I. E.: "Simulations of Electronic States at Grain Boundaries in Poly-crystalline Naphthalene", Abstract HL69.12, DPG Spring Meeting, Regensburg, Germany, 10-15 March 2013.
3. **Mladenović, M.**, Vukmirović, N. and Stanković, I. E.: "Electronic Properties of Grain Boundaries in Polycrystalline Naphthalene", Abstract PII-15, European Materials Research Society Spring Meeting, Strasbourg, France, 27-31 May 2013.
4. **Mladenović, M.**, Vukmirović, N., and Stanković, I. E.: "Electronic States at Grain Boundaries in Polycrystalline Naphthalene", Book of Abstracts, p.14, The 6<sup>th</sup> International Symposium on Flexible and Organic Electronics, Thessaloniki, Greece, 8-11 July 2013.
5. **Mladenović, M.** and Vukmirović, N.: “Effects of Dynamic Disorder on the Electronic Structure of Crystalline Poly-3-hexylthiophene”, Abstract O-13-5, European Materials Research Society Spring Meeting, Lille, France, 25-30 May 2014.
6. **Mladenović, M.** and Vukmirović, N.: “Electronic States at the Interface Between Crystalline and Amorphous Domains in Conjugated Polymers”, Book of Abstracts, p. 72, The 19<sup>th</sup> Symposium on Condensed Matter Physics, Belgrade, Serbia, 7-11 September 2015.

**Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (M63):**

1. **Mladenović, M.** and Stanković, I. E., “Monte Karlo simulacije kristalnih organskih poluprovodnika”, Zbornik radova, pp. 48-51, 56. ETRAN, Zlatibor, Srbija, 11-14 jun 2012.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

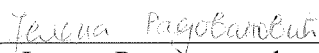
На основу свега наведеног, Комисија констатује да докторска дисертација Марка Младеновића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, под насловом “Electronic Properties of Interfaces between Domains in Organic Semiconductors” (“Електронска својства органских полупроводника на границама домена”), испуњава све формалне и суштинске услове предвиђене Законом о високом образовању, као и прописима Универзитета у Београду и Електротехничког факултета.

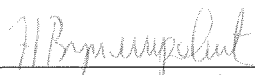
Докторска дисертација кандидата Марка Младеновића се бави електронским својствима граница између домена у органским полупроводницима. У дисертацији је показано да у органским полупроводницима на бази малих молекула долази до формирања стања замки на граници између домена. С друге стране, на граници између кристалног и аморфног домена у материјалима на бази конјугованих полимера не долази до овог ефекта, а електронска стања релевантна за транспорт носилаца се налазе у кристалном домену. У дисертацији је утврђено и да спонтана поларизација материјала на бази конјугованих полимера може довести до локализације носилаца на граници између домена. Резултате проистекле из истраживања спроведеног у оквиру докторске дисертације кандидат је објавио у врхунским међународним часописима и представио стручној јавности на међународним конференцијама. На основу увида у докторску дисертацију и радове кандидата, Комисија констатује да дисертација представља изузетно оригиналан и савремен научни допринос, а да је кандидат током израде дисертације показао изражену способност за самосталан научно-истраживачки рад.

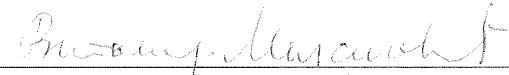
Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета да се докторска дисертација под називом “Electronic Properties of Interfaces between Domains in Organic Semiconductors” (“Електронска својства органских полупроводника на границама домена”) кандидата Марка Младеновића прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Београд, 6. октобар 2016. године

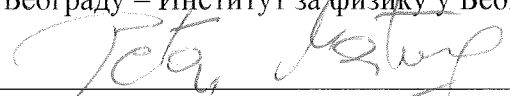
### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

  
др Ненад Вукмировић, научни саветник  
Универзитет у Београду – Институт за физику у Београду

  
др Витомир Милановић, професор емеритус  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

  
др Антун Балаж, научни саветник  
Универзитет у Београду – Институт за физику у Београду

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