

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Оцена научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Милана Станојевића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 920-30 од 14.05.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Милана Станојевића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, под насловом „Анализа и моделовање струјно-напонске карактеристике органских соларних ћелија“.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Милан Станојевић рођен је 07.08.1993. године у Шапцу. Основну школу завршио је у Дебрцу, а средњу у Београду. Електротехнички факултет уписао је 2012. године. Дипломирао је на одсеку за Физичку електронику 2017. године на смеру за Наноелектронику, оптоелектронику и ласерску технику са просечном оценом 7,87. Дипломски рад на тему "Моделовање ИЦ сигнатуре авиона" одбранио је у септембру 2017. године са оценом 10. Мастер академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на Модулу за Наноелектронику и фотонику уписао је у октобру 2017. године. Положио је све испите са просечном оценом 10. Мастер рад на тему "Утицај серијске отпорности и отпорности шанта на температурску зависност органских соларних ћелија" одбранио је у септембру 2018. године са оценом 10. Докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на Модулу за Наноелектронику и фотонику, уписао је у октобру 2018. године. Положио је све испите са просечном оценом 10.

Од децембра 2018. до јануара 2020. године био је запослен у предузећу Утва Авио Индустрија д.о.о., а од јануара 2020. године у Војнотехничком институту у Београду.

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Кандидат Милан Станојевић је уписао докторске студије на Електротехничком факултету у Београду школске 2018/2019. године на модулу Наноелектроника и фотоника. Током

докторских студија положио је све наставним планом и програмом предвиђене испите и испунио све обавезе и то:

Р.Бр.	Назив испита	Оцена	ЕСПБ
1	Модерне фотонске компоненте и системи	10	9
2	Електронска структура полупроводника	10	9
3	Нумеричка анализа	10	9
4	Ветроенергетика и соларна енергетика	10	9
5	Оптичке особине полупроводничких хетероструктура	10	9
6	Нелинеарна оптика	10	6
7	Моделовање хетероструктурних микроелектронских направа	10	9
8	Увод у научни рад	10	9
9	Математичко моделовање физичко-техничких процеса	10	9
10	Скенирајућа микроскопија у нанонауци и нанотехнологији	10	9
	Назив обавезе		
1	Студијски истраживачки рад I		15
2	Студијски истраживачки рад II		15
3	Научно стручни рад		3

Списак публикација кандидата Милана Станојевића, у складу са Правилником о стицању истраживачких и научних звања, је наведен у даљем тексту:

Радови објављени у научним часописима међународног значаја – М20

- M22.1. **М. Станојевић**, Ј. Гојановић, П. Матавуљ, С. Живановић, Organic solar cell physics analyzed by Shockley diode equation, Optical and Quantum Electronics, 52, pp. 345 (1-10), 2020. (I.F. 2.084, ISSN: 0306-8919)
- M22.2. **М. Станојевић**, Ј. Гојановић, С. Живановић, A cluster of bilayer diodes model for bulk heterojunction organic solar cells, Optical and Quantum Electronics, 55, pp. 508 (1-10), 2023. (I.F. 3.0, ISSN: 0306-8919)
- M21.1. Ј. Влаховић, **М. Станојевић**, Ј. Гојановић, J. Melancon, A. Sharma, С. Живановић, Thickness dependent photocurrent spectra and current-voltage characteristics of PЗНТ:PCBM photovoltaic devices, Optics Express, 29, pp. 8710-8724, 2021. (I.F. 3.833, ISSN: 1094-4087)

Радови објављени у зборницима међународних научних скупова – М30

- M34.1. **М. Станојевић**, Ј. Гојановић, П. Матавуљ, С. Живановић, Organic solar cell physics analyzed by Shockley diode equation, The Seventh International School and Conference on Photonics – Photonica2019, Belgrade, Serbia, 26-30. Август, 2019.
- M34.2. **М. Станојевић**, Ј. Гојановић, С. Живановић, A cluster of bilayer diodes model for bulk heterojunction organic solar cells, The Eight International School and Conference on Photonics – Photonica2021, Belgrade, Serbia, 23-27. Август, 2021.

Дана 29.05.2024. године на Електротехничком факултету у Београду Милан Станојевић је имао јавни усмени испит о подобности теме и кандидата пред трочланом комисијом у саставу:

1. др Петар Матавуљ, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
2. др Катарина Цветановић, научни сарадник, Универзитет у Београду – Институт за хемију, технологију и металургију – Центар за микроелектронске технологије,
3. др Наташа Ћириковић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

Комисија је закључила да кандидат испуњава услове за рад на предложеној теми докторске дисертације и оценила испит оценом **задовољно**.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу претходног приказа резултата досадашњег рада кандидата Милана Станојевића и узимајући у обзир све претходно наведене чињенице, Комисија је стекла увид у способности и научно-истраживачки рад кандидата те констатује да је кандидат:

- Положио све испите и извршио све обавезе предвиђене наставним планом и програмом и тиме остварио 120 ЕСПБ бодова,
- Јавно одбранио тему докторске дисертације 29.05.2024. године пред трочланом комисијом формираном од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду,
- Публиковао више радова у научним часописима и научним скуповима из области којој припада предложена тема докторске дисертације чиме је показао квалификације за научни рад и афинитет према теми докторске дисертације.

Стога је став Комисије да кандидат Милан Станојевић задовољава све услове за рад на предложеној теми.

2. Предмет и циљ истраживања

Извори енергије су једна од најбитнијих тема данашњице. Електрична енергија се данас превасходно производи на бази угља, нафте и природног гаса, а користи се и нуклеарна енергија. Постоје два проблема везана за поменуте изворе енергије. Први проблем је ограниченост ресурса. Предвиђања показују да резерве угља могу потрајати наредних 139 година, нафте 57 година, док је процењено да су резерве природног гаса довољне за 49 година [1]. Други проблем је загађење које потиче од употребе фосилних горива. Познато је да се приликом сагоревања ових извора енергије ослобађа CO_2 као и други гасови који доводе до ефекта стаклене баште и загађења ваздуха. Стопа загађења све више расте као и цене фосилних горива које се вртоглаво увећавају [1]. Алтернатива класичним изворима енергије су обновљиви извори енергије међу којима се соларне ћелије нарочито издвајају. Масовна примена соларних ћелија за производњу електричне енергије нуди решење за оба проблема који се јављају код фосилних горива. Као прво Сунце је неисцрпан извор енергије. Са друге стране фотоволтаична конверзија сунчеве светлости у електричну енергију је потпуно еколошка. Соларна енергија, упркос томе што има потенцијал да постане примарни извор обновљиве енергије, и даље није широко заступљена. Тренутно, фотоволтаични (ФВ) уређаји произведени од кристалног силицијума чине приближно 90% тржишта [2]. Ова технологија соларних ћелија има неколико недостатака као што су висока цена, велика тежина панела

(која захтева масивну конструкцију за монтажу), лоше перформансе при условима слабог осветљења, велики енергетски период отплате (период у току кога панел произведе ону количину енергије која је била потребна за његову производњу). Из овог разлога трага се за новим материјалима и технологијама за производњу соларних ћелија. Органске соларне ћелије (ОСћ) су јефтине, производе се у облику фолија које су лагане и флексибилне, а могу бити и транспарентне. За производњу ових соларних ћелија неопходно је утрошити значајно мању количину енергије (него у случају силицијумских) јер се користе једноставне и јефтине технике фабрикације (штампање, спин коатовање или блејдовање). Такође, ефикасне су при ниским интензитетима побуде. Због тога су ОСћ у последњих 20 година јако честа тема научних истраживања. Главна препрека на путу комерцијализације ових направа је њихова брза деградација и самим тим кратко време живота. До данас су остварене ефикасности од преко 19% [3] за једнослојне и 20% [4] за тандемске соларне ћелије.

Досадашњи развој ОСћ одвијао се превасходно кроз експериментална истраживања, унапређењем особина органских материјала који се користе за фотонапонску конверзију и побољшањем структуре ОСћ применом блокирајућих и транспортних слојева [5]. Оно што је неопходно да би се постигао даљи развој и побољшање ефикасности ових направа је развој адекватног физичког модела који је у стању да репродукује понашање соларних ћелија при различитим условима. Постојећи дрифт-дифузиони модел (ДДМ) [6] развијен по узору на неорганске соларне ћелије даје прихватљиве резултате али није у стању да објасни многе аспекте рада ОСћ као што су зависност струјно-напонске (I - V) криве од температуре и дебљине активног слоја, утицај различитих слојева у вишеслојној структури ОСћ као и спојева између њих на I - V криву. Бројна истраживања физичких особина органских материјала су спроведена и на бази њих описани су процеси фотогенерације, транспорта и рекомбинације носилаца наелектрисања на којима почива рад ОСћ [7, 8]. Међутим, још увек није установљено који су то физички механизми који имају доминантан утицај на изглед I - V криве ових направа.

ДДМ који се данас користе за моделовање ОСћ треба на одговарајући начин додатно модификовати како би се укључиле специфичне особине органских материјала. Потребно је, извршити детаљну анализу утицаја различитих процеса на I - V криву применом ДДМ и систематизовати закључке. Од велике користи би било креирати једноставну феноменолошку слику која описује рад ОСћ и формирати одговарајући физички модел који би дао решење у аналитичкој форми. Ова теза садржи значајне кораке на путу ка испуњењу наведених циљева.

3. Полазне хипотезе

- Већ је поменуто да физички процеси који имају доминантан утицај на перформансе ОСћ нису још увек препознати, адекватно описани и укључени у постојеће ДДМ.

Да би било установљено какав утицај на I - V криву имају различити параметри и процеси у ОСћ биће спроведена опсежна анализа разматрањем различитих типова фотогенерације, транспорта и рекомбинације као и профила електричног поља у активном слоју (АС) у оквиру ДДМ. Биће анализиран рад направа у мраку као и осветљених направа. Када се установи који процеси имају занемарљив утицај на I - V криву ОСћ настојаће се да се нумерички модел поједностави како би се добило решење у аналитичком облику.

- Примећено је да перформансе ОСћ у великој мери зависе од дебљине АС.

Тако на пример струја кратког споја (I_{sc}) испољава осцилаторну зависност од дебљине АС која је приписана интерференционим ефектима у вишеслојној структури ОСћ [9]. Међутим, урачунавање ових ефеката није довољно да се у потпуности репродукују експериментални резултати [9]. У овој тези биће експериментално и теоријски размотрене ОСћ са 6 различитих дебљина АС у фотодетекторском режиму рада као и у режиму рада соларне ћелије. Посебна пажња биће посвећена испитивању зависности оптичких и електричних параметара танких органских филмова од њихове дебљине имајући у виду да они могу

имати битну улогу у објашњењу понашања ОСЋ са дебљином АС. Репродуковањем великог сета експерименталних резултата помоћу ДДМ понашање ОСЋ са дебљином АС биће детаљно истражено и биће понуђена одговарајућа објашњења.

- Као АС код ОСЋ се најчешће користи мешавина два материјала од којих се један понаша као донор (Д) а други као акцептор (А). Овакве мешавине познате су под називом балкхетероструктуре.

Ради једноставности, у текућим ДДМ АС се третира као хомоген [10]. У овој тези полази се од претпоставке да се мноштво Д/А спојева произвољне оријентације, од којих се АС састоји, мора узети у обзир у моделу ОСЋ. Интерна квантна ефикасност фотогенерације носилаца наелектрисања и ефективна брзина њихове рекомбинације биће прорачунате укључујући допринос великог броја произвољно распоређених Д/А спојева. На основу претходног биће одређене I_{sc} и инверзна струја сатурације (I_0) за балкхетероструктурне (енг. *bulkheterojunction* (БХЈ)) али и за двослојне (енг. *bilayer* (БЛ)) ОСЋ и добијени резултати ће бити упоређени са експериментално добијеним вредностима ради валидације примењене методе.

- ОСЋ се успешно могу моделовати идеалним једнодиодним моделом [11].

Међутим, вредности параметара модела попут фактора идеалности (n) и I_0 значајно се разликују од оних које се добијају за силицијумске соларне ћелије и соларне ћелије на бази III-V једињења. Такође, показано је да су параметри идеалног једнодиодног модела ОСЋ зависни од интензитета упадне светлости [12]. Да бисмо поменути параметрима дали физичко тумачење неопходно је установити њихове стварне вредности у ОСЋ. Са тим циљем биће прикупљен велики број I-V карактеристика ОСЋ из литературе које ће бити моделоване идеалним једнодиодним моделом. Параметри, фактор идеалности (n) и I_0 ће бити екстраховани и прикупљени подаци биће статистички обрађени. На основу добијених резултата биће предложен физички модел који описује n и I_0 код ОСЋ.

4. Научне методе истраживања

За анализу утицаја различитих процеса који се одвијају у ОСЋ на I-V карактеристику биће коришћен ДДМ. Овај модел чини систем једначина, Поасонова једначина и једначине континуитета за електроне и шупљине. При томе, струје електрона и шупљина у АС ОСЋ укључују дрефт и дифузију одговарајућих носилаца наелектрисања. Овакав модел примењује се и код класичних, неорганских направа, с тим што су процеси фотогенерације транспорта и рекомбинације носилаца наелектрисања у органским материјалима у потпуности другачији у односу на класичне полупроводнике. Анализа ће бити спроведена тако што се у ДДМ мењају:

- 1) облици генерације,
- 2) параметри транспорта,
- 3) типови рекомбинације,
- 4) профил електричног поља.

1) Биће размотрена три облика генерације: константна генерација, Бер-Ламберова генерација и генерација добијена применом трансфер матричне методе ТММ [9]. У првом кораку анализе укупна количина фотона апсорбованих у АС ће бити иста за сва три облика генерације. На тај начин биће издвојен утицај профила генерације у АС на I-V криву ОСЋ. У наредном кораку биће мењана и количина апсорбованих фотона у АС да би се сагледало како се I-V крива мења са овом величином.

2) Биће упоређена I-V крива ОСЋ када се узме да је покретљивост шупљина зависна од јачине електричног поља и описана Пол-Френкеловим изразом [8], а покретљивост електрона константна, са кривом када се обе покретљивости (и шупљина и електрона) сматрају константним. Такође, у случају да су обе покретљивости константне биће размотрен утицај њихових вредности на I-V криву ОСЋ.

3) Два типа рекомбинације, директна мономолекуларна рекомбинација и бимолекуларна рекомбинација Ланжевеновог типа [8] биће размотрене. Такође, додатно ће бити размотрена редукована Ланжевенова рекомбинација [8] при чему ће бити анализиран утицај фактора редуције на I-V криву ОСћ.

4) Профил електричног поља у ДДМ дефинисан је Поасоновом једначином. Биће размотрена могућност да се електрично поље сматра константним у прорачунима како би се они учинили једноставнијим.

Приликом решавања ДДМ биће примењени гранични услови Дирихлеовог типа [10]. Систем једначина који чини ДДМ биће решен применом методе централних разлика и Њутнове методе. На основу резултата спроведене анализе биће изведени закључци везани за то које апроксимације могу бити оправдане приликом моделовања рада ОСћ и настојаће се да се дође до једноставне феноменолошке слике која даје аналитички израз за I-V карактеристику ОСћ.

На Техничком Универзитету у Луизијани, Институту за Микропроизводњу, Рустон, ЛА, САД (енг. *Louisiana Tech University, Institute for Micromanufacturing, Ruston, LA, USA*) биће реализоване ИТО/PEDOT:PSS/PЗНТ:PCBM/Al направе са различитим дебљинама РЗНТ:PCBM активног слоја. У фотодетекторском режиму рада биће снимљени спектри фотострује при различитим вредностима инверзног напона поларизације. Са друге стране, у режиму соларне ћелије биће снимљене I-V криве ОСћ. Такође, биће извршено мерење оптичких константи (индекса преламања и коефицијента екстинкције) за танке филмове РЗНТ:PCBM различитих дебљина на кварцном супстрату. Најпре ће помоћу ДДМ бити моделовани спектри фотострује уз примену ТММ методе и поређењем експеримента и теорије биће установљено да ли су у направи интерференциони ефекти значајни. Ако се установи да нису, спектри фотострује биће симулирани помоћу ДДМ који користи Бер-Ламберов профил генерације. У режиму соларне ћелије биће моделоване I-V карактеристике ОСћ са различитим дебљинама АС. Приликом прорачуна биће примењене измерене вредности оптичких константи док ће електричне константе бити вариране тако да се добије најбоље слагање између експеримента и теорије. На крају, биће сагледана зависност оптичких и електричних параметара од дебљине РЗНТ:PCBM филма. Добијени резултати биће доведени у везу са променом морфологије танких органских филмова са њиховом дебљином.

Да би био проучен утицај Д/А спојева унутар активне области ОСћ на њене перформансе биће разматране БЛ и БХЈ структуре. Биће прорачунате I_{sc} и I_0 за оба типа ОСћ и упоређене са измереним вредностима преузетим из литературе. I_{sc} ће бити прорачунато под претпоставком да сви фотогенерисани парови електрон-шупљина доприносе струји у спољњем колу. При томе, само апсорпција фотона у РЗНТ доводи до креирања фотоносилаца, док апсорпција у PCBM не доприноси фотоструји. Бер-Ламберов профил апсорпције у АС ће бити претпостављен. Када је реч о БЛ соларним ћелијама интерна квантна ефикасност генерације носилаца наелектрисања у чистом РЗНТ ће бити рачуната моделом датим у реф. [13]. У околини Д/А споја у области чија ширина је једнака дифузионој дужини екситона интерна квантна ефикасност биће одређена Пол-Френкеловим изразом [14]. За БХЈ направе интерна квантна ефикасност [14] биће интегралена по углу који заклапа нормала на Д/А спој са правцем примењеног електричног поља у ОСћ (θ). Приликом одређивања I_0 биће претпостављено да је доминантан механизам рекомбинације у ОСћ рекомбинација на трап стањима формираним на Д/А спојевима. Коришћени модел за прорачун I_0 изложен је у реф. [15]. За БХЈ направе поново ће бити извршена интеграција по углу θ .

Да би идеални једнодиодни модел био прилагођен за описивање рада ОСћ биће прикупљен јако велики број измерених I-V карактеристика ОСћ из литературе. Прикупљене

криве укључиваће направе карактерисане у мраку и при осветљености а биће узете у обзир БЛ и БХЈ ОСћ. Разматране ОСћ ће бити базиране на РЗНТ као донору и РСВМ као акцептору и биће фабриковане при сличним условима. Све криве мерене у мраку биће фитоване Шоклијевом једначином, док ће I-V карактеристике осветљених ОСћ бити фитоване идеалним једнодиодним моделом. Биће екстраховани параметри Шоклијево једначине и уједно једнодиодног модела, n и I_0 . Добијени резултати ће бити статистички обрађени и биће утврђене очекиване вредности фактора идеалности и инверзне струје засићења ОСћ и њихова стандардна одступања. Добијене вредности ће бити теоријски објашњене и протумачене. На овај начин биће могуће створити феноменолошку слику рада ОСћ која се може описати модификованим једнодиодним моделом [16].

5. Очекивани научни допринос

Очекивани научни доприноси су:

- 1) Анализа утицаја различитих процеса у ОСћ (облика фотогенерације, параметара транспорта, типа рекомбинације и профила електричног поља) на изглед I-V криве ОСћ коришћењем ДДМ. Систематизација резултата и дефинисање могућих апроксимација које би довеле до поједностављења модела.
- 2) Експериментална и теоријска анализа утицаја дебљине активне области ОСћ на спектар фотострује и I-V карактеристику ФВ уређаја базираних на РЗНТ:РСВМ мешавини. Одређивање зависности оптичких и електричних константи РЗНТ:РСВМ танких филмова од њихове дебљине и тумачење добијених резултата.
- 3) Предложени модел којим се урачунава утицај јединственог Д/А споја у БЛ ОСћ и мноштва произвољно орјентисаних Д/А спојева унутар БХЈ ОСћ на I_{sc} и I_0 ових соларних ћелија уз валидацију модела поређењем теоријских предвиђања са експерименталним резултатима преузетим из литературе.
- 4) Утврђивање параметара идеалног једнодиодног модела (n и I_0) ОСћ базирано на статистичкој обради великог броја I-V кривих преузетих из литературе и физичко објашњење добијених резултата.

6. План истраживања и структура рада

Најпре ће бити извршено унапређење постојећег ДДМ модела [17] имплементацијом ТММ методе. Овакав ДДМ биће искоришћен за анализу утицаја процеса фотогенерације, транспорта, рекомбинације, профила електричног поља на I-V карактеристику ОСћ. Уследиће анализа и систематизација добијених резултата као и извлачење адекватних закључака.

У следећем кораку планирано је проширење ДДМ како би поред I-V криве било могуће моделовати спектар фотострује ITO/PEDOT:PSS/РЗНТ:РСВМ/А1 ФВ направа фабрикованих и карактерисаних на Институту за Микропроизводњу Техничког Универзитета у Луизијани. Направе различитих дебљина АС биће моделоване у режиму рада фотодетектора и режиму рада соларне ћелије. У симулацијама ће бити коришћени оптички параметри материјала измерени на Институту за Микропроизводњу Техничког Универзитета у Луизијани док ће електрични параметри бити варирани како би се постигло најбоље слагање експеримента и теорије. На овај начин биће установљена зависност оптичких и електричних параметара од дебљине танког РЗНТ:РСВМ филма. На бази доступне литературе биће предложена објашњења уочених појава.

Наредни корак подразумева проучавање улоге јединственог Д/А споја у БЛ ОСћ и мноштва произвољно распоређених Д/А спојева у БХЈ ОСћ на процесе фотогенерације и рекомбинације носилаца наелектрисања. Биће преложен модел који урачунава постојеће утицаје. Струје I_{sc} и I_0 прорачунате помоћу предложеног модела ће бити упоређене са одговарајућим вредностима из литературе ради валидације модела.

На крају ће се приступити прикупљању из литературе што је могуће већег броја I-V карактеристика ОСТ базираних на РЗНТ материјалу као донору и РСВМ материјалу као акцептору. Биће узете у обзир I-V криве за осветљене направе и направе у мраку произведене при јако сличним условима и то БЛ и БХЈ структуре. Након прикупљања експерименталних података I-V карактеристике за ОСТ у мраку биће моделоване Шоклијевом једначином, а за осветљене ОСТ идеалним једнодиодним моделом. Вредности параметара (n , I_0) биће екстраховане, статистички обрађене и протумачене.

Литература

- [1] BP Statistical Review of World Energy (2023)
- [2] T. Sagiura, N. Nakano, "Review: Numerical simulation approaches of crystalline-Si photovoltaics", *Energy Science & Engineering*, vol. 11, no. 10, pp. 3888-3906, 2023, DOI: 10.1002/ese3.1523.
- [3] L. Zhu, M. Zhang, J. Xu, C. Li, J. Yan, G. Zhou, W. Zhong, T. Hao, J. Song, X. Xue, Z. Zhou, R. Zeng, H. Zhu, C. Chen, R. MacKenzie, Y. Zou, J. Nelson, Y. Zhang, Y. Sun, F. Liu, "Single-junction organic solar cells with over 19% efficiency enabled by a refined double-fibril network morphology", *Nature materials*, vol. 21, no. 6, pp. 656-663, 2022, DOI: 10.1038/s41563-022-01244-y.
- [4] Z. Zheng, J. Wang, P. Bi, J. Ren, Y. Wang, Y. Yang, X. Liu, S. Zhang, J. Hou, "Tandem Organic Solar Cell with 20.2% Efficiency", *Joule*, vol. 6, no. 1, pp. 171-184, 2022, DOI: 10.1016/j.joule.2021.12.017.
- [5] A. Jain, R. Kothari, V. Tyagi, R. Rajamony, M. Ahmad, H. Singh, S. Raina, A. Pandey, "Advances in organic solar cells: Materials, progress, challenges and amelioration for sustainable future", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 63, pp. 103632, 2024, DOI: 10.1016/j.seta.2024.103632.
- [6] D. Li, L. Song, Y. Chen, W. Huang, "Modeling Thin Film Solar Cells: From Organic to Perovskite", *Advanced Science*, vol. 7, no. 1, pp. 1901397 (1-28), 2020, DOI: 10.1002/advs.201901397.
- [7] D. Liraz, N. Tessler, "Charge dissociation in organic solar cells—from Onsager and Frenkel to modern models", *Chemical Physics Reviews*, vol. 3, no. 3, pp. 031305 (1-22), 2022, DOI: 10.1063/5.0099986.
- [8] F. Laquai, D. Andrienko, R. Mauer, P. Blom, "Charge Carrier Transport and Photogeneration in P3HT:PCBM Photovoltaic Blends", *Macromolecular Rapid Communications*, vol. 36, no. 11, pp. 1001-1025, 2015, DOI: 10.1002/marc.201500047.
- [9] D. Sievers, V. Shrotriya, Y. Yang, "Modeling optical effects and thickness dependent current in polymer bulk-heterojunction solar cells", *Journal of Applied Physics*, vol. 100, no. 11, pp. 114509 (1-7), 2006, DOI: 10.1063/1.2388854.
- [10] L. Koster, E. Smits, V. Mihailetschi, P. Blom, "Device model for the operation of polymer/fullerene bulk heterojunction solar cells", *Phys. Rev. B*, vol. 72, no. 8, pp. 085205 (1-9), 2005, DOI: 10.1103/PhysRevB.72.085205.
- [11] V. Chin, Z. Salam, K. Ishaque, "Cell modelling and model parameters estimation techniques for photovoltaic simulator application: A review", *Applied Energy*, vol. 154, pp. 500-519, 2015, DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.05.035.
- [12] S. Yoo, B. Domercq, B. Kippelen, "Intensity-dependent equivalent circuit parameters of organic solar cells based on pentacene and C60", *Journal of Applied Physics*, vol. 97, no. 10, pp. 103706 (1-9), 2005, DOI: 10.1063/1.1895473.
- [13] Z. Popovic, "A study of carrier generation in β -metal-free phthalocyanine", *Chemical Physics*, vol. 86, no. 3, pp. 311-321, 1984, DOI: 10.1016/0301-0104(84)80019-1.
- [14] V. Gulbinas, Y. Zaushitsyn, V. Sundström, D. Hertel, H. Bässler, A. Yartsev, "Dynamics of the Electric Field-Assisted Charge Carrier Photogeneration in Ladder-Type Poly(Para-Phenylene) at a Low Excitation Intensity", *Phys. Rev. Lett.*, vol. 89, no. 10, pp. 107401 (1-4), 2002, DOI: 10.1103/PhysRevLett.89.107401.

- [15] R. Street, M. Schoendorf, "Interface state recombination in organic solar cells", Phys. Rev. B, vol. 81, no. 20, pp. 205307 (1-12), 2010, DOI: 10.1103/PhysRevB.81.205307.
- [16] D. Neher, J. Kniepert, A. Elimelech, L. Koster, "A New Figure of Merit for Organic Solar Cells with Transport-limited Photocurrents", Scientific Reports, vol. 6, no. 1, pp. 24861 (1-9), 2016, DOI: 10.1038/srep24861.
- [17] Ž. Jelić, J. Petrović, P. Matavulj, J. Melancon, A. Sharma, C. Zellhofer, S. Živanović, "Modeling of the polymer solar cell with a P3HT:PCBM active layer", Physica Scripta, vol. 2014, no. T162, pp. 014035, 2014, DOI: 10.1088/0031-8949/2014/T162/014035.

7. Закључак и предлог

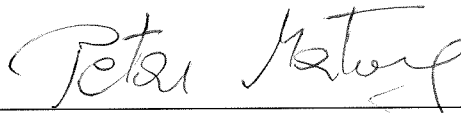
Након свих претходно наведених чињеница и стечене слике о теми докторске дисертације и кандидату Комисија закључује да кандидат Милан Станојевић испуњава све услове да спроведе истраживање и да је способан да реализује докторску дисертацију на предложеној тему **„Анализа и моделовање струјно-напонске карактеристике органских соларних ћелија“**.

С обзиром да представљени садржаји и планирана истраживања припадају областима актуелних научних истраживања, а очекивани научни доприноси су значајни у домену развоја нове генерације органских ћелија, Комисија је сагласна да је предложена тема подобна за докторску дисертацију. Комисија констатује да предложена тема припада ужој научној области Физичка електроника и да је Електротехнички факултет у Београду матичан за ову научну област, те за ментора израде докторске дисертације предлаже др Јовану Гојановић, ванредног професора Електротехничког факултета у Београду. Уз извештај се прилаже списак радова проф. др Јоване Гојановић који је квалификују за ментора.

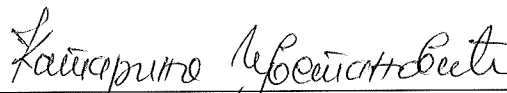
У закључку овог извештаја, имајући у виду све раније наведено, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да кандидату Милану Станојевићу одобри израду докторске дисертације под насловом **„Анализа и моделовање струјно-напонске карактеристике органских соларних ћелија“**.

У Београду, 30.05.2024. год.

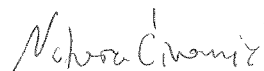
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



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



др Катарина Цветановић, научни сарадник,
Универзитет у Београду – Институт за хемију, технологију и металургију



др Наташа Тијровић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет