

## ИЗВЕШТАЈО ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

<b>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</b>
<p>1. Датум и орган који је именовоао комисију Решењем бр. 012-72/43-2015 од 30.06.2016. год. на основу Одлуке Наставно Научног већа факултета, а у складу са Статутом Факултета техничких наука, Декан Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду именовоао је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације.</p> <p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Др Ласло Нађ, редовни професор, ужа област Електроника, изабран у звање 14.11.2013. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду,</li> <li>2. Др Миљко Сатарић, редовни професор, ужа област Физика, изабран у звање 12.06.1995. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду</li> <li>3. Др Мира Терзић, ред. проф, редовни професор, ужа област Физика, Физикамолекула, изабрана у звање 02.11.1999., ПМФ, Нови Сад,, 01.10.2000. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду,</li> <li>4. Др Драган Маркушев, научни саветник, ужа област Физика, Фотоакустика, изабран у звање 25.03.2015. године, Инст. за физику, Београд,</li> <li>5. Др Милош Живанов, редовни професор, ужа област Електроника, изабран у звање 12.07.2004. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду.</li> <li>6. Др Слободанка Галовић, научни саветник, Физика, Физика чврстога стања, изабран у звање 23.12.2015. године, Инст. нуклеарне науке "Винча" у Београду</li> </ol>
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Име, име једног родитеља, презиме: Марица, Никола, Поповић</li> <li>2. Датум рођења, општина, држава: 26.03.1975. године, Ужице, Република Србија</li> <li>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, одсек-Физичка електроника, смер-Оптоелектроника и ласерска техника, Дипломирани инжењер електротехнике</li> </ol>

<p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, Моделовање и анализа фототермалног одзива нехомогених структура са топлотном меморијом, електротехнички материјали и технологије, 30.06.2009.</p>
<p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: Електротехнички материјали и технологије</p>
<p><b>III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b> Фотоакустички одзив трансмисионе фотоакустичке конфигурације и анализа резонантних феномена за двослојне узорке са топлотном меморијом</p>
<p><b>IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b> Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.</p> <p>Докторска дисертација под насловом „Фотоакустички одзив трансмисионе фотоакустичке конфигурације и анализа резонантних феномена за двослојне узорке са топлотном меморијом“ састоји се из седам поглавља:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Увод</li> <li>2. Кратак преглед основних принципа и метода фототермалне науке</li> <li>3. Простирање топлотних таласа у двослојним запреминским апсорберима са топлотном меморијом</li> <li>4. Фотоакустички одзив двослојних запреминских апсорбера који укључује утицај топлотног меморије</li> <li>5. Резултати и дискусија</li> <li>6. Закључак</li> <li>7. Литература</li> </ol> <p>Дисертација је написана на 111 страна и садржи 72 слике, 3 табеле и 137 навода литературе. Кључна документација написана је на српском и на енглеском језику. Након насловне стране стоји захвалница, иза које следе садржај, списак коришћених скраћеница, списак слика, списак табела, резиме докторске дисертације на српском и енглеском језику и поменутих осам поглавља у којима су изложени резултати докторске дисертације.</p>
<p><b>V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b></p> <p>Циљ истраживања ове докторске дисертације јесте развој теоријског модела за трансмисиони фотоакустички одзив двослојних узорака са топлотном меморијом. Очекује се да се одреди граница применљивости претходних модела и предложи нови, тачнији опис доминантних процеса и карактеристика материјала са слабо уређеном структуром који се засада не могу са великим успехом карактерисати применом фотоакустике. Други циљ ових истраживања јесте да се анализом резонантних феномена раздвоје резонанце које су последица утицаја мерног ланца од топлотних резонанци. На тај начин би се омогућило одређивање брзине простирања топлоте кроз разноврсне материјале, која до сада није одређена ни за један материјал нити структуру и дао би се велики подстрек фундаменталним истраживањима из области транспортних процеса макромолекуларних наноструктура што је значајно не само за савремену наноелектронику већ и за биомедицинска истраживања.</p> <p>У првом поглављу су дата уводна разматрања, дефинисани предмет, проблем и циљ истраживања, као и хипотеза, концепција и методологија истраживања.</p> <p>У другом поглављу су укратко објашњени фототермални феномени, дат је кратак опис генерализоване теорије провођења топлоте и кратак преглед најраспрострањенијих фототермалних метода, са посебним нагласком на фотоакустику (ФА). Указано је на чврсту везу која постоји између просторно временске расподеле температуре у испитиваној структури и њеном окружењу и</p>

фототермалних сигнала.

У трећем поглављу формиран су модели фототермалног одзива који описују простирање температуре кроз двослојне структуре које су наслоњене на полубесконачну позадину и површинске температурске варијације на предњој и задњој површини. Испитани су посебни случајеви и дати теоријски модели за површинске температурске варијације када је двослојни узорак окружен ваздухом, затим када је са једне стране ослоњен на идеално топлотно проводну позадину и када се и са једне и друге стране налази идеални топлотни проводник. За моделовање фототермалног одзива коришћен је Бер-Ламберов закон апсорпције и генерализована теорија провођења топлоте која узима у обзир топлотну меморију супстанцијалних средина. Одговарајући систем нехомогених парцијалних диференцијалних једначина се применом Фуријеове трансформације своди на систем обичних диференцијалних једначина у комплексном домену. Овако трансформисани нехомогени систем једначина, заједно са нултим граничним условима и условима континуитета на хетеромеђуповршинама, решен је методом варијације константи.

Ослањајући се на моделе добијене у трећем поглављу, у четвртном поглављу развијени су математички модели који описују фотоакустички одзив за рефлексиону и трансмисиону конфигурацију. Добијени теоријски модел за рефлексиону конфигурацију представља генерализацију Розенцвајг-Гершоовог модела за двослојне запреминске апсорбере када је укључен утицај топлотно меморијских својстава испитиваних средина. Приликом одређивања фотоакустичког одзива за трансмисиону конфигурацију посебно су развијени модели за термопроводну и термоеластичну компоненту, као и модел који описује понашање ћелије минималне запремине као Хелмхолцов резонатор. Развој модела ФА одзива у коме се ћелија посматра као Хелмхолцов резонатор објашњава експериментално уочене резонантне пикове и даје допринос развоју ФА метода у два домена: у чишћењу одзива од резонанци које нису последица процеса у самом узорку и развоју модела који би омогућило коришћење појаве акустичких резонанци у додатној карактеризацији узорка. На крају четвртог поглавља описана је нискобуџетна, лако преносива експериментална поставка на којој су извршена фотоакустичка мерења. На основу извршених мерења добијени су резултати за различите материјале (полиамид, полиетилен и алуминијум).

Петом поглавље се бави анализом и дискусијом резултата. Извршена је анализа утицаја апсорпционих и антирефлексионих слојева, који се наносе ради заштите микрофона у трансмисионој ФА конфигурацији и смањења рефлексије оптичке побуде у рефлексионој фотоакустичкој конфигурацији, који је у досадашњој литератури занемариван, због велике разлике у дебљини ових помоћних слојева и узорака. Међутим, савремени материјали и направе су све мањих димензија, тако да је неопходно испитати могуће утицаје помоћних слојева. Поред тога извршена је анализа зависности површинских температурских варијација у фотоакустичких одзива на предњој и задњој површини узорка у зависности од дебљине првог слоја. Приказани су добијени експериментални подаци за полиетилен, полиамид и алуминијум и спроведена је дискусија поређењем експерименталних резултата са добијеним теоријским моделима.

У поглављу шест изнети су најважнији закључци добијени на основу детаљне анализе добијених модела и поређења добијених модела са експериментално добијеним подацима. Добијени резултати дају допринос теоријском моделовању фототермалних и фотоакустичких сигнала двослојних површинских апсорбера са укљученим утицајима меморијских својстава слојева и окружења, као и укљученим утицајем ћелије минималне запремине, омогућавајући њихову детаљнију анализу и боље разумевање у циљу боље карактеризације материјала из примењених мерења.

У седмом поглављу је наведена целокупна литература. Коришћеналитературајесавремена и правилноодабранапремазахтевиматемекојасеразматра.

Највећу вредност докторске дисертације свакако представља оригинални научни допринос истраживања проведеног у оквиру исте, који је представљен у поглављима три, четири и пет.

## **VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ**

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад

објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

Рад у истакнутом међународном часопису (M22):

1. M. N. Popovic, M.V. Nestic, S. Ćirić-Kostić, M. Zivanov, D.D. Markushev, M.D. Rabasovic, S.P. Galovic, *Helmholtz Resonances in Photoacoustic Experiment with Laser-Sintered Polyamide Including Thermal Memory of Samples*, Int J Thermophys, in press

Рад у водећем међународном часопису (M21):

2. S. Galović, Z. Šoškić, M. Popović, D. Ćevizović and Z. Stojanović, *Theory of photoacoustic in the media with thermal memory*, J. Appl. Phys. 2014; 116: 02491. ISSN 1089-7550

Рад у истакнутом међународном часопису (M22):

3. M. Nestic, S. Galovic, Z. Soskic, M. Popovic, D. M. Todorovic, *Photothermal thermoelastic bending for media with thermal memory*, Int. J. Thermophys. 2012; 33:2203-2209. ISSN 1572-9567
4. D. D. Markushev, M. D. Rabasovic, M. Nestic, M. Popovic, S. Galovic, *Influence of thermal memory on thermal piston model of photoacoustic response*, Int J Thermophys 33, Int. J. Thermophys. 2012; 33: 2210-2216. ISSN 1572-9567

## VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Фотоакустичке методе имају једноставне експерименталне поставке и лако се користе. Међутим, интерпретација експерименталних резултата може да буде сложена, посебно код материјала са нехомогеним или нелинеарним оптичким и топлотним својствима и захтева математичку формулацију и решење проблема простирања термоеластичних поремећаја кроз узорак и његову ближу околину изазваних деловањем побудног електромагнетног снопа. Један од најактуелних проблема јесте развој теоријског модела фотоакустичког одзива за двослојне структуре, с обзиром на то да већина фотоакустичких мерења захтева припрему узорка тако да микрофон буде заштићен од побудног електромагнетног снопа (наношење танког апсорпционог слоја) или умањивање рефлексије побудног снопа са циљем повећања мереног сигнала и односа сигнал шум (рефлексиона фотоакустичка конфигурација). Осим тога, електронске компоненте и сама фотоакустичка ћелија уносе резонанце у фотоакустички одзив, које до сада нису анализирани, али за анализу материјала ниског степена уређења, где се очекује појава топлотних резонанци у чујном опсегу, неопходно је извршити анализу свих резонантних појава са циљем експерименталног мерења брзине простирања топлоте, својства материјала које до сада није експериментално мерено ни за један материјал нити структуру.

У овом раду су изведени модели за фотоакустички одзив рефлексионе и трансмисионе конфигурације за оптички провидне двослојне узорке са топлотном меморијом, који представља генерализацију до сада коришћених модела и то у три правца: урачунат је утицај коначне брзине простирања топлоте кроз оба слоја, генерализован је модел тако да узме у обзир постојање запреминске апсорпције кроз оба слоја и урачунат је утицај ћелије минималне запремине која се понаша као Хелмхолцов резонатор.

Показано је да само у специфичним случајевима апсорпциони или рефлексиони слој могу да се посматрају као површински апсорбери побудног електромагнетног зрачења, тако да занемаривање њиховог утицаја, карактеристично за досадашње приступе, може довести до грубих грешака у карактеризацији материјала. Изведени модел осим повећавања тачности мерења параметара узорка, омогућује да се одреде и оптичка својства помоћних слојева, отварајући на тај начин могућност испитивања разноврсних композитних материјала.

Показано је да у зависности од односа оптичког коефицијента апсорпције и топлотног коефицијента апсорпције узорка и помоћног слоја може да се пројектује експеримент тако да са највећом тачношћу буду карактерисана својства узорка.

Генерализовани модел који трансмисиону ћелију разматра као Хелмхолцов резонатор објашњава експериментално уочене резонантне пикове у чујном опсегу. Овај

модел доприноси развоју ФА метода у два домена: у чишћењу одзива од резонанци које нису последица процеса у самом узорку и развоју модела који би омогућило коришћење појаве акустичких резонанци у додатној карактеризацији узорка. Применом овог модела на врло танке узорке ласерски синтерованог полиамида и полиетилена различитих степена кристаличности на који је нанет танак слој боје омогућена је карактеризација композита који боја направи са површинским слојем полимера, што до сада није рађено. Осим тога, добијена је експериментална потврда полазне претпоставке да се ћелија минималне запремине мора посматрати као Хелмхолцов резонатор.

Испитивани су утицаји дебљине првог слоја на фотоакустички одзив и показано да када је дебљина првог слоја мала доминантна компонента је термоеластична компонента и укупни сигнал се потпуно поклапа са њом. Са порастом дебљине, термопроводна компонента се мало мења, а ниво термоеластичне компоненте пада. Када дебљина првог слоја постане довољно велика, термопроводна компонента постаје доминантан у део фотоакустичког сигнала, па преузима улогу укупног сигнала, што је нов закључак који омогућује коришћење ширег фреквентног опсега мерења за карактеризацију и осликавање фотоакустичким методана.

Значај истраживања огледа се у повећању могућности фотоакустичких мерних техника за неструктивну карактеризацију, осликавање и томографију, остваривању веће тачности и веће прецизности припремању физичких својстава овим методама и проширење примене ових метода на медицинску дијагностику и инжињерингу особина нано-електронских направа и направа у органској електроници.

### **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА**

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Резултати истраживања су приказани на јасан и разумљив начин. Тумачење добијених резултата је јасно и прегледно. Формирани закључци у раду су поткрепљени одговарајућим теоријским анализама и резултатима мерења, добијеним из сопствених експерименталних истраживања.

### **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Датијасне, прецизне и концизно одговорена 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме  
Да, дисертација је у целини написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе  
Да. Дисертација садржи све битне елементе.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Оригинални научни допринос докторске дисертације чини доказ полазних хипотеза на основу експерименталног и теоријског истраживања. Оригинални научни допринос је у дисертацији изложен кроз следеће резултате:

- Развијени су генерализовани теоријски модели:
  - који описују дистрибуцију оптички генерисаног термоеластичног поремећаја кроз двослојне структуре код којих је узета у обзир запреминска апсорпција упадног зрачења и коначна брзина простирања топлоте,
  - површинске температурске варијације на предњој и задњој површини двослојног узорка,
  - фотоакустички одзив двослојног запреминског апсорбера за рефлексиону конфигурацију,
  - фотоакустички одзив двослојног запреминског апсорбера за трансмисиону конфигурацију који је генерализован тако да додатно узме у обзир утицај Хелмхолцових резонанци, које су последица саме поставке трансмисионог експеримента.
- Дата је могућност примене развијених модела за детекцију термалних, еластичних, акустичких и оптичких својстава двослојних структура са ниским степеном уређења, што омогућује примену ових метода у медицинској дијагностици и карактеризацији нано-електронских направа и направа које се користе у оптоелектроници и органској електроници.
- Дата је метода за елиминацију резонанци које нису последица својстава узорка, чиме је проширен употребљиви фреквентни опсег мерења и отворена могућност за развој инверзних фотоакустичких процедура које повећале тачност фотоакустичке карактеризације и осликавања.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

У дисертацији нису уочени значајни недостаци који би утицали на резултат истраживања.

**X ПРЕДЛОГ:**

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

**Да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана**

**Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију под насловом, „Фотоакустички одзив трансмисионе фотоакустичке конфигурације и анализа резонантних феномена за двослојне узорке са топлотном меморијом” и предлаже да се извештај о оцени докторске дисертације прихвати, а кандидату одобри одбрана.**

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

1. \_\_\_\_\_  
Др Ласло Нађ, редовни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад, председник
2. \_\_\_\_\_  
Др Миљко Сатарић, редовни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад, члан 1
3. \_\_\_\_\_  
Др Мира Терзић, редовни професор,  
ПМФ, Нови Сад, члан 2
4. \_\_\_\_\_  
Др Драган Маркушев, научни саветник,  
Инст. за физику, Београд, члан 3, члан
5. \_\_\_\_\_  
Др Милош Живанов, редовни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад, ментор 1
6. \_\_\_\_\_  
Др Слободанка Галовић, научни саветник,  
Инст. Нуклеарне науке "Винча" у Београду, ментор 2

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.