

НАСТАВНО–НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр Драгана Танасковића

Одлуком Наставно-научног већа бр. 938 од 01. 03. 2016. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Драгана Танасковића, дипл. ел. инж, под насловом

Наноплазмонски метаматеријали за нову генерацију хемијских, биохемијских и биолошких сензора.

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

Мр Драган Танасковић је одбранио магистарски рад „Прилог моделовању и пасивној компензацији температурних карактеристика полупроводничког сензора притиска” 1997. године (ментор: академик проф. др Зоран Ђурић).

Тему докторске дисертације „Наноплазмонски метаматеријали за нову генерацију хемијских, биохемијских и биолошких сензора” пријавио је 02. 06. 2014. године на Универзитету у Београду – Електротехнички факултет. 18. 06. 2014. године Комисија за студије трећег степена Електротехничког факултета разматрала је предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије о оцени подобности теме и кандидата упутила Наставно-научном већу Електротехничког факултета на усвајање. 14. 07. 2014. године Наставно-научно веће именовало је Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације. 25. 9. 2014. године Наставно-научно веће усвојило је Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације. Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације, решење број 61206-4581/2-14 од 20. 10. 2014. године.

Кандидат Мр Драган Танасковић предао је 10. 02. 2016. године докторску дисертацију на преглед и оцену. 17. 02. 2016. године Комисија за студије трећег степена потврдила је испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације. 01. 03. 2016. године Наставно-научно веће Факултета именовало је Комисију за

преглед и оцену докторске дисертације (број Одлуке 938/3 од 01. 03. 2016. године) у следећем саставу: др Зоран Јакшић, научни саветник, Институт за хемију, технологију и металургију; др Милан Тадић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду; др Јелена Радовановић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду; др Катарина Радуловић, научни саветник, Институт за хемију, технологију и металургију; др Немања Чукарић, доцент, Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

1.2. Научна област дисертације

Ова дисертација припада научној области техничких наука – електротехника и рачунарство (оптоелектроника, нанотехнологије, нанофотоника и нанооптика, електромагнетска оптика, плазмоника и метаматеријали).

Именована су двојица ментора, др Зоран Јакшић, научни саветник Института за хемију, технологију и металургију и др Милан Тадић, редовни професор Електротехничког факултета.

Др Зоран Јакшић, научни саветник Института за хемију, технологију и металургију Универзитета у Београду, остварио је бројне теоријске и практичне доприносе из области електротехнике, укључујући формирање истраживачке групе и лабораторије за плазмонику и хемијске сензоре, вођење националних и међународних научних пројеката и отварање неколико нових научних области. Објавио је преко три стотине рецензираних научних публикација, укључујући близу 70 радова у часописима, две међународне монографије и неколико поглавља у међународним монографијама. У последњих пет година објавио је књигу класе М11 за издавача Springer Verlag на којој је једини аутор, 7 радова М21, 13 радова М22 и 3 рада М23, као и 5 радова по позиву на међународним конференцијама. Сви радови из последњих 5 година без изузетка спадају у најужу област дисертације.

Др Милан Тадић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду, активно се бави истраживањем из области наноструктура и наноелектронике. До сада је публиковао 50 радова са импакт фактором (часописи са *JCR* листе) који су цитирани више од 400 пута.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Драган Танасковић је рођен 22. 01. 1960. год. у Крагујевцу, где је завршио основну школу и математички смер у I Крагујевачкој гимназији. Студије на Универзитету у Београду – Електротехнички факултет, одсек за Техничку физику, започео је школске 1978/79. Дипломирао је на поменутом одсеку у мају 1984. са дипломским радом „Екранирање електромагнетних таласа на танким металним љускама”, код проф. др Божидара Станића. Магистрирао је 1997. Године на Електротехничком факултету, одсек за физичку електронику, са темом „Прилог моделовању и пасивној компензацији температурних карактеристика полупроводничких сензора притиска”, код академика проф. др Зорана Ђурића.

Од 1984. до 1987. био је запослен у Институту за Аутомобиле у Крагујевцу, а од 1987. до данас ради у Центру за микроелектронске технологије Института за хемију, технологију и металургију (ИХТМ-ЦМТ) Универзитета у Београду, где тренутно има звање стручни саветник. Као аутор или коаутор објавио је 5 радова у међународним часописима, 15 у

зборницима са међународних конференција, 4 у националном часопису и 16 на националним симпозијумима. Аутор је и коаутор већег броја техничких решења.

Његова научна интересовања укључују МЕМС сензоре, хемијске сензоре, карактеризацију сензора, микроелектронику, нанофотонику, наноплазмонику, плазмонске сензоре, пиезоотпорне сензоре притиска и моделовање у електромагнетици.

Учествовао је на неколико научноистраживачких пројеката ресорног министарства: 2005 – 2007. „Микро и наносистемске технологије, структуре и сензори” ТР-6151Б; 2008 – 2011. „Микросистемске, наносистемске технологије и компоненте” ТР-11027; 2011 – данас „Микро, нано-системи и сензори за примену у електропривреди, процесној индустрији и заштити животне средине – МиНиСиС”, ТР-32008. Такође је учествовао на једном међународном пројекту, ФП7 Европске Уније, 2008 – 2012. „Reinforcement of Regional Microsystems and Nanosystems Center – REGMINA”, FP7 REGPOT EU 205533.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Дисертација има укупно 159 страна и садржи 86 слика, 149 једначина, 1 табелу и 158 библиографских референци. Састоји се од насловне стране, кратког резимеа на српском и енглеском језику, садржаја и текста дисертације подељеног на 8 целина:

1. Увод,
2. Теорија површинских плазмона-поларитона на наноструктурама за примене у ХББ сензорици,
3. Основе електромагнетске теорије плазмонских метаматеријала,
4. Плазмонски метаматеријали као платформа за хемијске, биохемијске и биолошке сензоре,
5. Пројектовање, моделовање и симулација,
6. Резултати симулације и оптимизације мрежастих метаматеријала за сензорске примене,
7. Закључак,
8. Литература.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводу је дато образложење важности тематике којој је посвећена дисертација, приказана је мотивација за обављена истраживања, дефинисани су основни појмови везани за инжењеринг фреквентне дисперзије, за подталасну локализацију електромагнетског поља, плазмонске метаматеријале, као и за рефрактометријске хемијске, биохемијске и биолошке (ХББ) сензоре; приказани су основни проблеми и приступ њиховом решавању. На крају Увода кратко је дат садржај појединачних глава.

У другој глави су са теоријског аспекта приказане електромагнетске особине плазмонских структура. Показано је да је разумевање електромагнетске природе површинских плазмона поларитона и генерално простирућих и еванесцентних модова у контексту сложених наноконструктивних структура од пресудног значаја за могуће примене у

ХББ сензорици. Укратко је представљена класична теорија дисперзивних средина и приказани су Друдеов и Лоренцов модел. Потом је дата основна електромагнетска теорија површинских плазмона поларитона, приказани су простирући и локализовани плазмони. Описане су методе побуђивања и детекције површинских плазмона поларитона и дат је приказ алтернативних плазмонских материјала са нагласком на проводним провидним оксидима као што су калај оксид, цинк оксид и индијум оксид.

Трећа глава је посвећена основима електромагнетске теорије метаматеријала, односно комплексних наноструктурираних метал-диелектрика. Дате су дефиниције, приказане карактеристичне особине метаматеријала са негативним индексом преламања и дат је преглед основних типова градивних блокова за метаматеријале, укључујући жичане метаматеријале са негативном пермитивношћу (вештачки диелектрици), резонаторе са расцепљеним прстеном, једноструке и вишеструке мрежасте метаматеријале. Изложени су метода хомогенизације и приказане неке особине теорије ефективног медијума од значаја за рад на овој дисертацији. На крају треће главе детаљно је дата метода екстракције ефективних параметара из параметара расејања метаматеријала која је генерално применљива за различите типове структура, укључујући и оне у којима аналитичке апроксимације ефективног медијума не дају исправне резултате.

У глави четири приказани су основни концепти неопходни за опис ХББ сензора базираних на плазмонским метаматеријалима. Описани су принцип рада и основни концепти који су применљиви на рефрактометријске сензоре генерално. У оквиру тога обрађивани су начини излагања сензора циљаном агенсу, као и начини везивања агенса за активни део сензора механизмом адсорпције и десорпције односно селективност ХББ сензора. Потом је приказано тренутно стање истраживања у свету везано за тематику метаматеријалних хемијских и биолошких сензора. Најзад је анализирана могућност инжењеринга фреквентне дисперзије помоћу метаматеријала као битан фактор за побољшање селективности хемијских и биолошких сензора.

У петој глави описани су методе пројектовања, моделовања и симулације структура плазмонских метаматеријала намењених сензорима. Изложен је метод коначних елемената као и неке појединости везане за рад у програмском пакету COMSOL Multiphysics. Описани су процеси генерисања нумеричког модела плазмонских наноструктура, истакнути проблеми карактеристични за рад са метаматеријалима и приказано је подешавања параметара симулације. Описани су начини дефинисања геометрије структуре, градивних материјала, граничних услова и спољашње побуде, описан је начин дефинисања просторне сегментације односно формирања мреже коначних елемената, оптимизација прорачуна и најзад анализа резултата.

Шеста глава се односи на резултате добијене симулацијама мрежастих метаматеријала и њихову оптимизацију. Приказани су резултати израчунавања структура са плазмонским материјалима које омогућују мање губитке и повећану осетљивост сензора. Дати су и анализирани резултати симулација мрежастих метаматеријала на слободностојећим наномембранама (висећи метаматеријални таласовод). Потом су приказани резултати симулација једноструких мрежастих метаматеријала са алтернативним плазмонским конституентом, односно проводним провидним оксидом, рађени са циљем минимизације апсорпционих губитака. Даље су приказани резултати моделовања двоструких мрежастих метаматеријалних структура, односно метаматеријала типа рибарске мреже. Најзад је описан предлог нових структура које подразумевају рад са комплексним јединичним ћелијама (јединичне „суперћелије“) код којих се ефекат нелокалности на врућим тачкама („hot-spots“) са великим интезитетом локализованог електромагнетског поља намерно употребљава да би

се постигло одступање од апроксимације ефективног медијума и добили нови модови од интереса за повећање селективности ХББ сензора. Симулиране су и анализиране две класе оваквих структура, оне са угаоним подобјектима на подталасним ћелијама и структуре добијене репликацијом основног мотива. Приказане су предности и мане сваке од ових структура.

У седмој глави изложен је закључак, сумирана су научна истраживања обављена приликом рада на дисертацији. Приказани су најбитнији резултати проистекли из овог рада и дате су смернице за будућа истраживања.

Део 8 је списак коришћене литературе.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Тематика дисертације спада у уже области плазмонице и метаматеријала. Ове области сматрају се за изузетно актуелне и значајне у научном смислу, што се са једне стране може видети по великом броју публикација посвећених управо овој области објављених у најугледнијим светским часописима као што су *Nature* и *Science*. Са друге стране, изузетно висока цитираност ових радова (неки чланци појединачно достижу и по неколико хиљада хетероцитата) такође говори о актуелности области у очима међународне научне заједнице. Даље, према часопису *Science*, метаматеријали су сврстани међу првих пет најбитнијих научних пробоја у протеклој деценији независно од научне области, дакле не само рачунајући област електротехнике, већ и медицине, биологије, хемије, физике, астрономије итд.

Дисертација се бави конкретно структурама за хемијске и биолошке сензоре нове генерације, дакле за практичне апликације од општег интереса. Ова област се управо у овом тренутку експлозивно развија, број публикација из тематике експоненцијално расте, баш као и број практичних примена и патената. Горући интерес за хемијским и биолошким сензорима може се видети у многим областима, као што су нпр. процесна индустрија, биомедицина, одбрана и антитерористичко деловање, очување човекове околине и многе друге. Савремени системи "паметне" електронике захтевају све већи број сензора који су њихове "очи" и "уши" и потреба за хемијским и биолошким сензорима у данашње време већа је него икада.

Са тачке гледишта националне науке и индустрије, тематика је такође изузетно актуелна. Сензори хемијских и биолошких агенса од конкретног су интереса у Србији за разне гране процесне индустрије (нафтна, петрохемијска, хемијска и сл.), контролу вода, нарочито воде за пиће, као и генерално за заштиту околине. Додатно се показује да се овакви сензори могу производити у Србији и директно применити у домаћим погонима.

Оригиналност истраживања изложених у дисертацији види се између осталог по већем броју радова у међународним часописима који су проистекли из њих. Уведено је неколико концепата нових на међународном нивоу, укључујући сензоре на алтернативним плазмонским материјалима са смањеним апсорпционим губицима, сензоре са двоструким мрежастим метаматеријалима, као и метаматеријалне структуре са јединичним суперћелијама које укључују дубоко подталасне детаље и омогућују богатство нових електромагнетних модела и инжењеринг дисперзије.

Закључак је да је тематика дисертације веома актуелна у научно-истраживачком, у техничко-технолошком и практично-апликативном смислу, како на међународном нивоу тако и на националном.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У дисертацији су коректно цитирани радови релевантни за њену тематику. Цитиран је велики број најнових радова (публикованих у последњих пар година), претрага и цитирање тренутног стања научних истраживања (state of the art) су урађени на коректан начин. Историјат истраживања у конкретним областима такође је исправно навођен уз релевантне изворе. Укупно је цитирано 158 референци, од чега је на 18 референци Драган Танасковић први аутор или коаутор. На 10 референци Драган Танасковић је први аутор.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Научне методе примењене у истраживањима приказаним у оквиру докторске дисертације кандидата Драгана Танасковића су укључивале:

- проучавање релевантне научно-истраживачке литературе посвећене тематици дисертације, што је урађено на квалитетан начин, без пропуштања најбитнијих извора;
- теоријско разматрање низа појава и структура везаних за наноплазмонске материјале, за метаматеријале и за хемијске, биохемијске и биолошке сензоре;
- интердисциплинарни приступ тематици који укључује електромагнетску оптику, микроелектромеханичке (МЕМС) технологије, хемијске технологије и сензорску технику;
- предлог концепата нових структура плазмонских метаматеријала помоћу којих се могу пројектовати нове сензорске структуре са унапређеним карактеристикама;
- предлог мрежастих метаматеријала са смањеним губицима остварених заменом конвенционалног решења које примењује метале са проводним и провидним металним оксидима;
- предлог структура јединичних суперћелија за увођење нових електромагнетских модова и могућношћу инжењеринга дисперзије интервенцијама на дубоком подталасном нивоу;
- развој методе симулације предложених и описаних структура са дубоко подталасним детаљима методом коначних елемената и превазилажење нумеричких проблема карактеристичних за плазмонику и метаматеријале;
- опсежне симулације различитих нових структура какве до сада нису описиване у литератури и њихова оптимизација у смислу одабира најпогоднијих геометрија и материјала;
- нумеричко, графичко и текстуално приказивање постигнутих резултата, њихова дискусија и анализа,
- стављање добијених резултата у контекст постојећих метода приказаних у релевантној литератури.

Примењене научне методе у потпуности су адекватне тематици, одговарају највишим стандардима научноистраживачког рада и у сагласности су са циљевима зацртаним на почетку израде дисертације.

3.4. Применљивост остварених резултата

Једна од основних карактеристика дисертације јесте да се ради о резултатима који повезују најсавременију тематику са конкретном применљивошћу не само у даљим научним истраживањима, већ и у великом броју различитих практичних поља, како у земљи, тако и на међународном нивоу.

Оригинални резултати које је кандидат приказао у својој дисертацији употребљиви су најпре у практичним сензорима хемијских, биохемијских и биолошких агенса за ситуације у којима је неопходно изузетно прецизно (све до нивоа појединачних молекула) детектовање циљаних анализата. Ово је могуће урадити без додавања маркерних једињења уобичајено коришћених за друге типове сензора. Мерења се могу урадити у реалном времену, а рад сензора заснован је на адсорпцији анализата и рефрактометријском методу. За разлику од велике већине плазмонских сензора, где су за спрезање сензора са извором осветљења и детектором неопходне специјалне спрежне структуре, у овом случају могуће је користити прости трансмисиони мод, дакле нису неопходни никакви елементи за спрезање.

Додатно, концепт јединичних суперћелија са добоко подталасним пертурбацијама код којих долази до изражених ефеката нелокалности омогућује инжењеринг нових електромагнетских модова у сензору, тако да се у принципу може извести произвољно пројектовање фреквентне дисперзије, односно спектралне карактеристике материјала. Ово са своје стране значи да се спектрална карактеристика метаматеријалне структуре може прилагодити спектралним максимумима циљаног хемијског или биолошког анализата, тако да се једна једина структура може употребити за истовремено утврђивање присуства више разнородних анализата.

Применљивост резултата које је описао кандидат је заправо много шира, јер инжењеринг дисперзије заснован на формирању дубоко подталасних "врућих тачака" може бити употребљен за израду композитних материјала са произвољним вредностима индекса преламања, укључујући и оне које се не могу наћи у природи, чиме се уводи степен слободе приликом пројектовања метаматеријала.

Конкретне апликације осим сензора укључују различите типове ултракомпактних таласовода, екстремну локализацију светлости, примене у различитим областима трансформационе оптике, нпр. за суперконцентраторе, сочива за конверзију са блиског (еванесцентног) поља на далеко (простируће) поље. У оквиру сензорике области применљивости укључују процесну индустрију, биомедицину, заштиту човекове околине, противтерористичку заштиту и слично.

Посебан квалитет предметне дисертације јесте што су добијени оригинални резултати конкретно практично применљиви на националном нивоу, тј. могу се употребити у Електропривреди, преради вода (водовод и канализација), хемијској индустрији, заштити околине и слично.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат др Драган Танасковић је приликом истраживања приказаних у овој дисертацији показао самосталност и креативност. Он је отворио неке теме истраживања,

аналитички им приступио, теоријски истражио, формирао симулационе методе и урадио велики број моделовања. Овде је важно поменути да је моделовање подталасних структура какве се јављају у плазмоници и метаматеријалима изразито нетривијално и није до данас решено на квалитетан начин, јер се јављају велике концентрације поља које захтевају изузетно ситну поделу иначе великих домена, често је дивергирање модела и неопходно је прилагођавати модел од конкретног случаја до случаја. Кандидат је ове проблеме решавао на квалитетан начин и поред хардверске основе која није била сасвим адекватна, што је условљавало изузетно дуго и сложено моделовање. Добијене резултате кандидат је исправно систематизовао, дискутовао на високом научном нивоу и заокружено приказао. Резултати су коректно протумачени и приказани и представљају новину на међународном нивоу. Свиме тиме Драган Танасковић је показао своју научну компетентност и пуну способност за квалитетан самостални научни рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси кандидата мр Драгана Танасковића приказани у његовој дисертацији укључују:

1. Истраживање методе употребе плазмонских метаматеријала са мрежастом структуром (тзв. fishnet метаматеријали) за детекцију хемијских, биохемијских или биолошких агенса
2. Нову структуру низа подталасних апертура са прекомерном трансмисијом базирану на проводним провидним оксидима уместо на металима
3. Нову структуру мрежастог метаматеријала за оптичку област са смањеним апсорпционим губицима
4. Нову структуру мрежастог материјала са композитном јединичном ћелијом (суперћелија) добијеном буловском суперпозицијом основних елемената. Предложене су, моделоване и анализиране две структуре, једна са квадратним дубоко подталасним додатним отворима на угловима основне апертуре и друга са вишеструким преклапајућим репликама основне апертуре.
5. Нови модел за симулацију плазмонских елемената са дубоко подталасним детаљима.
6. Аналитички математички модел за екстракцију ефективних оптичких параметара за структуре са дубоко подталасним детаљима.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Научни доприноси наведени у тачки 4.1 показали су да је инжењерингом фреквентне дисперзије мрежастих метаматеријала у оптичкој области могуће направити хемијске односно биолошке сензоре многоструко веће осетљивости у односу на конвенционалне плазмонске сензоре, при чему се задржавају све позитивне особине конвенционалних направа. Такође је показано да је употребом мрежастих метаматеријалних структура могуће направити сензоре који се читавају директном трансмисијом, односно код којих нема потребе за посебним спрежним структурама, као што је то случај без изузетка у свим конвенционалним плазмонским сензорима. Ови резултати такође показују (пре свега они под

ред. бр. 4) да се пажљивим подешавањем чисто геометријских структуре може повећати селективност према конкретним анализитима без коришћења обележивача (маркера) и, за разлику од конвенционалних сензора са површинским плазмонима поларитонима, чак и без рецептора. Симулације приказане у дисертацији показују да најједноставније конструкције са упадним снопом беле светлости управним на површину детектора дају веома задовољавајућу осетљивост.

Резултати под 4.1, тачке 2 и 3 показују да се коришћењем алтернативних плазмонских материјала, пре свега проводних провидних оксида (материјал коришћен у нумеричким симулацијама методом коначних елемената је индијум калај оксид), добијају структуре са смањењем апсорпционих губитака и значајно побољшаним параметром квалитета (ФОМ), што је од ширег значаја за научну заједницу која се бави електромагнетском оптиком и трансформационом оптиком.

Можда најважније унапређење научних знања постигнуто у дисертацији тиче се увођења суперструктура на нивоу јединичне ћелије мрежастог метаматеријала. Ради се о буловском суперпонирању подобјеката чије димензије могу бити и за ред величине мање од јединичне ћелије. Супротно ономе што је већина старије литературе узимала као претпоставку која се подразумева, показано је да се овакве модификације геометрије јединичне ћелије на дубоком подталасном нивоу доводе до стварања „врућих тачака“ услед велике локализације електромагнетског поља. Ово опет доводи до појаве нелокалности и прекидања важења апроксимације ефективним медијумом. Крајњи резултат је да се појављује велики број нових модела које је могуће пројектовати тако да се максимуми у добијеним спектралним карактеристикама поклапају са максимумима циљаног анализита. На тај начин могуће је добити сензорске структуре у којима нема потребе за коришћењем рецептора и којима је могуће истовремено детектовати више анализита.

Резултати приказани под тачком 4.1 омогућују израчување сложених варијанти мрежастих метаматеријала и њихових модела са модификованом геометријом, проучавање реалног и имагинарног дела индекса преламања и комбиновање сложених форми. Овом новом методом се може развити широк низ разноврсних метаматеријалних структура за различите примене, тако да употребљивост далеко превазилази поље сензорике.

Најзад, у дисертацији је разрађена метода екстракције ефективних оптичких параметара (пермитивност, пермеабилност и индекс преламања) применљива на изотропне, периодичне и планарне мрежасте метаматеријале на основу параметара расејања добијених симулацијом. Тиме се избегава потреба за коришћењем апроксимације ефективног медијума и уместо тога ефективне вредности директно се добијају из резултата симулације.

4.3. Верификација научних доприноса

Током истраживања везаних за докторску дисертацију, кандидат мр Драган Танасковић је објавио пет научних радова у међународним часописима са SCI листе (три као првопотписани аутор). Поред тога, објавио је седам радова на конференцијама од међународног значаја, један рад у часопису националног значаја, два рада у научном часопису и шест радова на скуповима од националног значаја. Списак радова је следећи:

Категорија M22:

1. Jakšić, Z., Vuković, S., Matović, J., **Tanasković, D.**: Negative Refractive Index Metasurfaces for Enhanced Biosensing, *Materials*, vol. 4, no. 1, pp. 1-36, 2011 (IF=1.677) (doi:10.3390/ma4010001) (ISSN 1996-1944)

2. **Tanasković, D.**, Jakšić, Z., Obradov, M., Jakšić, O.: Super unit cells in aperture-based metamaterials, *Journal of Nanomaterials*, Vol. 2015, Article ID 312064, pp. 1-9, 2015 (IF=1.644) (doi 10.1155/2015/312064) (ISSN 1687-4110)

Категорија M23:

1. Jakšić, Z., **Tanasković, D.**, Matović, J.: Fishnet-based metamaterials: spectral tuning through adsorption mechanism, *Acta Physica Polonica A*, vol. 116, no. 4, pp. 333-335, 2009 (IF=0.433) (ISSN 0587-4246)
2. **Tanasković, D.**, Obradov, M., Jakšić, O., Jakšić, Z.: A low-loss double fishnet metamaterial based on transparent conductive oxide, *Physica Scripta* vol. T162, art. ID 014048 pp. 1-4, 2014, (IF=1.126) (doi:10.1088/0031-8949/2014/T162/014047) (ISSN 0031-8949)
3. **Tanasković, D.**, Obradov, M., Jakšić, O., Jakšić, Z.: Nonlocal effects in double fishnet metasurfaces nanostructured at deep subwavelength level as a path towards simultaneous sensing of multiple chemical analytes, *Photonics and Nanostructures*, vol. 18, pp. 36–42, 2016, (IF=1.474) (doi 10.1016/j.photonics.2015.12.003) (ISSN 1569-4410)

Категорија M33:

1. Jakšić, Z., **Tanasković, D.**, Matović, J. Design of Symmetric Planar Fishnet Metamaterials for Optical Wavelength Range, *Proc. 27th Internat. Conf. on Microelectronics MIEL*, Niš, Serbia, 16-19 May 2010, pp. 157-160, isbn 978-1-4244-7199-7
2. **Tanasković, D.**, Jakšić, Z., Radulović, K., Jakšić, O., Sarajlić, M., Lazić, Ž.: Nanoaperture array-based plasmonic sensors of dangerous substances using transparent conductive oxides, *Proc. 5th International Scientific Conference on Defensive Technologies OTEH*, Belgrade, pp. 707-712, Sep. 18-19, 2012, isbn 978-86-81123-85-4.
3. **Tanasković, D.**, Jakšić, Z.: Enhancing Performance of Nanohole-Based Plasmonic Sensors by Transparent Conductive Oxides, *Proc. 28th International Conference on Microelectronics MIEL*, Niš, Serbia, May 13-16, pp. 199-202, 2012, ISBN 978-1-4673-0235-7
4. Obradov, M., Jakšić, Z., **Tanasković, D.**, Plasmonic Metamaterial with Fishnet Superlattice for Enhanced Chemical Sensing, *Proc. 29th International Conference on Microelectronics MIEL*, Belgrade, Serbia, May 12-15, pp. 137-140, ISBN 978-1-4799-5295-3
5. **Tanasković, D.**, Jakšić, Z., Obradov, M., Jakšić, O., Mladenović, I., Unit-cell level superstructures for the extension of spectral range of double fishnet metamaterial parameters and tuning of their effective optical properties, *Proc. 1st Conf. International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN*, Vrnjačka Banja, June 2 – 5, 2014, pp. MOI2.6.1-5, ISBN 978-86-80509-70-9
6. **Tanasković, D.**, Jakšić, O., Obradov, M., Jakšić, Z.: Investigation of possible superstructures for nanoaperture array-based plasmonic sensors for simultaneous detection of multiple dangerous substances, *Proc. 6th International Scientific Conference on Defensive Technologies OTEH*, Belgrade, pp. 802-806, Oct. 9-10, 2014, isbn 978-86-81123-71-3
7. Jakšić, Z., Smiljanić, M. M., Lazić, Ž., Radulović, K., Dalarsson, M., **Tanasković, D.**, M. Obradov, Jakšić, O.: Aluminum-based fishnets with complex aperture shapes, *Proc. 2nd International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2015*, Silver Lake, Serbia, pp. MOI3.2-1-5, June 8 – 11, 2015, ISBN 978-86-80509-71-6

Категорија М63:

1. **Tanasković, D.**, Jakšić, Z., Matović, J.: Some design considerations for nanomembrane-based fishnet metamaterials operating at optical frequencies, *Proc. 17th Telecommunications forum TELFOR*, Belgrade, November 24-26, 2009, pp. 851-854, ISBN 978-86-7466-375-2
2. **Tanasković, D.**, Jakšić, Z., Vorkapić, M.: Projektovanje metamaterijala za optičku talasnu oblast zasnovanog na dvostrukim fishnet strukturama formiranim u slobodnostojećim nanomembranama, *Proc. 54th Conference for Electronics, Telecommunications, Computers, Automation and Nuclear Engineering ETRAN*, Donji Milanovac, June 7-11, 2010, pp. MO3.7.1-4, ISBN 978-86-80509-65-5
3. **Tanasković, D.**, Jakšić, Z.: 2D nanoaperture arrays in transparent conductive oxide thin films as a scaffold for surface plasmon resonance chemical sensing, *Proc. 55th Conference for Electronics, Telecommunications, Computers, Automation and Nuclear Engineering ETRAN*, Banja Vrućica, June 6-9, 2011, pp. MO2.5.1-4, ISBN 978-86-80509-66-2

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата мр Драгана Танасковића, под насловом „**Наноплазмонски метаматеријали за нову генерацију хемијских, биохемијских и биолошких сензора**”, написана је у потпуности у складу са описом и образложењем наведеним у пријави теме и садржи све елементе захтеване Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Дисертација је урађена у складу са стандардима научноистраживачког рада, садржи значајне оригиналне доприносе научној тематици плазмонице и метаматеријала, као и области хемијских, биохемијских и биолошких сензора. Најзначајнији резултати су предлог и систематско разматрање нове класе мрежастих метаматеријала са смањеним апсорпционим губицима, као и мрежастих метаматеријала са јединичним ћелијама модификованим на дубоком подталасном нивоу, чиме се добијају истакнути ефекти електромагнетске нелокалности, обиље нових плазмонских модова и могућност инжењеринга дисперзије. Крајња последица је да се постиже могућност израде хемијских односно биолошких сензора код којих је могуће употребити једну структуру за мултиспектрално испитивање и тиме истовремено препознавање више хемијских агенса истовремено. Осим за област сензорике, ови резултати применљиви су генерално на тематику плазмонице и електромагнетске оптике, дакле за израду таласоводних структура за оптичке комуникације, као и за израду различитих типова пасивних и активних оптичких елемената. Посебан квалитет дисертације је у томе што је најсавременија тематика која је тренутно у фокусу светске науке разматрана не само теоријски и нумерички, већ и са тачке гледишта конкретне применљивост у индустријским постројењима у Србији.

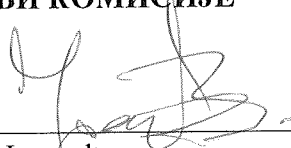
Приликом израде дисертације кандидат је показао висок ниво инвентивности, самосталности и критичности, као и упорност неопходну да се уради велики број симулација од којих је за неке неопходно врло дуго време извршавања на стандардним персоналним компјутерима, и по месец дана по једној симулацији. Дисертација представља конзистентну и заокружену целину која обједињује теорију и симулације са практичном применљивошћу. Текст је јасно структуриран и прецизан.

Резултати проистекли из истраживања спроведених у оквиру докторске дисертације објављени су у 5 радова у међународним часописима са SCI листе од чега је кандидат први

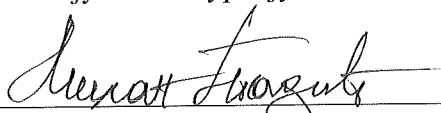
аутор на 3, као и у саопштењима на скуповима међународног и националног значаја. Од укупно 15 радова проистеклих из дисертације, кандидат је први аутор на 10.

На основу свега изнесеног, Комисија закључује да је својом докторском дисертацијом мр Драган Танасковић, дипломирани инжењер електротехнике, испунио све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Због тога Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „**Наноплазмонски метаматеријали за нову генерацију хемијских, биохемијских и биолошких сензора**” кандидата мр Драгана Танасковића прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.


ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Зоран Јакшић, научни саветник,
Универзитет у Београду – Институт за хемију,
технологију и металургију



др Милан Тадић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



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



др Катарина Радуловић, научни саветник
Универзитет у Београду – Институт за хемију,
технологију и металургију



др Немања Чукарић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

Београд, 09. 03. 2016.