

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата **Мр Драгана Танасковића** за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 938/1 од 14. 7. 2014. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Драгана Танасковића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **Наноплазмонски сензори за хемијске, биохемијске и биолошке примене.**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

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 електромагнетских таласа на танким металним љускама", код проф. др Божицара Станића. Тема дипломског рада била је нумеричко моделовање интеракције електромагнетског импулсног таласа и танког металног слоја. Магистрирао је 1997. године на Универзитету у Београду – Електротехнички факултет, одсек за физичку електронику, са темом "Прилог моделовању и пасивној компензацији температурних карактеристика полупроводничког 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 ИХТМ – Центар за микроелектронске технологије (ИХТМ-ЦМТ), Универзитет у Београду. Звање истраживача стекао је 1987. године у ИХТМ-ЦМТ. Данас ради у ИХТМ, Центар за микроелектронске технологије и монокристале као 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. Учествовао је у раду на неколико пројеката и техничких решења у земљи и иностранству. Од 1992. члан је IEEE (The Institute of Electric and Electronic Engineers), U.S.A. Његова научна интересовања укључују следеће теме: МЕМС сензори, хемијски сензори, карактеризација сензора, микроелектроника, нанофотоника, наноплазмоники, технолошки процеси, плазмонски сензори, технолошки процес фотолитографије, пиезоотпорни ефекат,

пиезоотпорни сензори притиска, моделовање у електромагнетици. Говори француски и енглески језик.

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

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат има континуитет научноистраживачког рада у тематици микро и наносистемских сензора (MEMS, NEMS) током више од две деценије. У том периоду публиковао је као коаутор или основни аутор преко 40 референци, укључујући пет радова класе M20, на којима је на једном раду први аутор, а на три други.

Кандидат је магистрирао 1997. године на Универзитету у Београду – Електротехнички факултет, одсек за физичку електронику, са темом "Прилог моделовању и пасивној компензацији температурних карактеристика полупроводничког сензора притиска", код проф. др Зорана Ђурића. Тема магистарског била је нумеричко моделовање температурних карактеристика пиезоотпорног сензора притиска, урађеног технолошким поступцима у ИХТМ-ЦМТМ-у и могућности његове температурске компензације, дакле непосредно везана са тематиком предложене дисертације (симулација нове генерације микросистемских сензора).

Кандидат је дана 4. септембра 2014. полагао докторски испит на Електротехничком факултету у Београду, при чему је комисија у саставу проф. др Јелена Радовановић, ЕТФ (председник), проф. др Лазар Сарановац, ЕТФ и др Катарина Радуловић, научни саветник ИХТМ једногласно закључила да су кандидат и тема подобни за израду докторске дисертације на Универзитету у Београду – Електротехнички факултет.

У наставку је дат списак главних научноистраживачких референци кандидата.

M22 – Рад у истакнутом међународном часопису (Првих 50% часописа ISI листе)

1. **D. Tanasković**, M. Obradov, O. Jakšić, Z. Jakšić, "A low-loss double fishnet metamaterial based on transparent conductive oxide", *Physica Scripta*, accepted for publication, corrected proof, 2014 (IF=1.296 in 2013, 34/77 in Physics, Multidisciplinary), ISSN 0031-8949
2. Z. Jakšić, S. Vuković, J. Matović, **D. Tanasković**, "Negative Refractive Index Metasurfaces for Enhanced Biosensing", *Materials*, 4 (1), pp. 1-36, 2011; doi:10.3390/ma4010001 (IF=1.679 in 2011, 88/230 in Materials Science, Multidisciplinary) ISSN 1996-1944

M23 – Рад у осталим часописима са ISI листе.

1. Z. Jakšić, **D. Tanasković**, J. Matović, "Fishnet-based metamaterials: spectral tuning through adsorption mechanism", *Acta Physica Polonica A*, 116, 4, pp. 333-335, 2009, (IF 0.340 u 2007, Physics, Multidisciplinary 60/68) ISSN 0587-4246
2. Z. Jakšić, S. Ostojić, **D. Tanasković**, J. Matović, "Vacuum fluctuations in optical metamaterials containing nonlinear dielectrics", *Acta Physica Polonica A*, 116, 4, pp. 628-630, 2009 (IF 0.340 u 2007, Physics, Multidisciplinary 60/68) ISSN 0587-4246

3. 1. N. Simičić, **D. Tanasković**, Z. Djurić, Ž. Lazić, R. Petrović, J. Matović, M. Popović, M. Matić, D. Totovski, "Investigation of impurity distribution for pressure sensor piezoresistors", *J. Serb. Chem. Soc.*, 58 (11), pp. 951-957, 1993, ISSN 0352-5139

M33 - Саопштење са међународног скупа штампано у целини

1. **D. Tanasković**, Z. Jakšić, "Enhancing Performance of Nanohole-Based Plasmonic Sensors by Transparent Conductive Oxides", *Proc. 28th Internat. Conf. on Microelectronics MIEL 2012*, Niš, Serbia, May 13-16, pp. 199-202, 2012, ISBN 978-1-4673-0235-7
2. **D. Tanasković**, Z. Jakšić, K. Radulović, O. Jakšić, M. Sarajlić, Ž. Lazić, "Nanoaperture array-based plasmonic sensors of dangerous substances using transparent conductive oxides", *Proc. 5th International Scientific Conference on Defensive Technologies OTEH 2012*, Belgrade, pp. 707-712, Sep. 18-19, 2012, isbn 978-86-81123-85-4.
3. Z. Jakšić, M. Sarajlić, K. Radulović, M. Obradov, **D. Tanasković**, S. Vuković, "Photon management in semiconductor infrared photodetectors: Diffractive and plasmonic antireflective structures", *Proc. 5th Internat. Scientific Conf. on Defensive Technologies OTEH 2012*, Belgrade, pp. 673-678, Sep. 18-19, 2012, isbn 978-86-81123-85-4.
4. Z. Jakšić, **D. Tanasković**, J. Matović, "Design of Symmetric Planar Fishnet Metamaterials for Optical Wavelength Range", *Proc. 27th Internat. Conf. on Microelectronics MIEL 2010*, Niš, Serbia, 16-19 May 2010, pp. 157-160, isbn 978-1-4244-7199-7
5. S. Minić, M. Vorkapić, **D. Tanasković**, "Using LAB WINDOWS programs in acquisition and processing of data at the measurement thermometer", *9th International Conference on Applied Electromagnetics PES 2009*, August 31-September 02, 2009, Niš, Serbia
6. M. Sarajlić, D. Vasiljević-Radović, R. Ramović, **D. Tanasković**, Z. Djurić, "Sputtered Nickel Coverage of the SiO₂ Nano-step", *Proc. 26th Internat. Conf. on Microelectronics MIEL 2008*, Niš, Serbia, 11-14 May 2008, pp. 111-114, Vol. 1, isbn 978-1-4244-1882-4
7. Z. Jakšić, K. Radulović, **D. Tanasković**, "Metal Nanowire Arrays with Ultralow or Negative Effective Permittivity for Adsorption-Based Chemical Sensing", *Proc. 26th Internat. Conf. on Microelectronics MIEL 2008*, Niš, Serbia, 11-14 May 2008, pp. 87-90
8. Z. Jakšić, K. Radulović, **D. Tanasković**, "MEMS Accelerometer with All-Optical Readout Based on Twin-Defect Photonic Crystal Waveguide", *Proc. 24th International Conference on Microelectronics MIEL 2004*, Vol 1, Niš, Serbia, May 16-19, pp. 231-234, 2004
9. Z. Jakšić, O. Jakšić, Z. Djurić, P. Krstajić, Ž. Lazić, **D. Tanasković**, M. Popović, "Simple Quasi-3D Photonic Crystal Planar Optical Waveguides", *Proc. 5th Internat. Conf. on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services TELSIKS 2001*, Sep. 19-21, 2001, Niš, Vol. II, pp. 389-392
10. **D. Tanasković**, Z. Djurić, Ž. Lazić, "Influence of Impurity Distribution on Thermal Coefficients of Resistivity and Piezoresistivity of Diffused Layers in Silicon", *Proc. 20th Internat. Conf. on Microelectronics MIEL '95*, Vol 1, Niš, Serbia, pp. 573-576, 1995
11. **D. Tanasković**, N. Simičić, Z. Djurić, Ž. Lazić, R. Petrović, J. Matović, M. Popović, M. Matić, "Temperature Characteristics of Silicon Pressure Sensor: The Effect of Impurity Profile Variation", *Proc. 2nd Serbian Conference on Microelectronics and Optoelectronics MIOPEL 93*, pp. 297-302, 1993
12. Ž. Lazić, M. Smiljanić, **D. Tanasković**, "The Local Avalanche Gain Dependences on Various Parameters of Reach-Through Avalanche Photodiode", *Proc. 2nd Serbian Conference on Microelectronics and Optoelectronics MIOPEL 93*, pp. 279-284, 1993

M34 - Саопштење са међународног скупа штампано у изводу

1. **D. Tanasković**, Z. Jakšić, Jovan Matović, "Some design considerations of metamaterial-based chemical or biological sensors", *Proc. Abstr. 3rd Mediterranean Conference on Nanophotonics MediNano-3*, Belgrade, Serbia, October 18 and 19, 2010, p. 61

2. Z. Jakšić, S. Ostojić, **D. Tanasković**, J. Matović, "Vacuum fluctuations in optical metamaterials containing nonlinear dielectric", *Book of Abstr. 2nd Internat. School and Conf. on Photonics Photonica 09*, Belgrade, Serbia, 24-28 Aug. 2009, p. 116
3. Z. Jakšić, **D. Tanasković**, J. Matović, "Fishnet-based metamaterials: spectral tuning through adsorption mechanism", *Book of Abstr. 2nd Internat. School and Conf. on Photonics Photonica 09*, Belgrade, Serbia, 24-28 Aug. 2009, p. 115, ISBN 978-86-82441-25-0

M52 - Рад у часопису националног значаја

1. M. Vorkapić, M. Frantlović, M. A. Smiljanić, B. Popović, **D. Tanasković**, "Analiza i unapređenje proizvodnje transmitera u IHTM-u", *Tehnika - Mašinstvo*, 58, 3, str. 1-8, 2009.
2. M. Vorkapić, B. Popović, **D. Tanasković**, "Karakteristike peći za pregled termoparova u CMTM laboratoriji", *Tehnika - Kvalitet, standardizacija i metrologija*, 9, 4, str.1-7, 2009
3. J. Matović, Z. Djurić, Nevenka Simičić, **D. Tanasković**, Milan Matić, Miloljub Smiljanić, Radomir Petrović, "Silicijumski piezootporni senzor pritiska sa dijafragmom", *Informacije MIDE* 19, 1, pp.13-21, 1989
4. J. Matović, Z. Djurić, **D. Tanasković**, "Nelinearnost silicijumskih piezorezistivnih pretvarača pritiska", *Fizika*, 21, 1, 1988

M63 - Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини

1. **D. Tanasković**, Z. Jakšić, "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
2. **D. Tanasković**, Z. Jakšić, M. Vorkapić, "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. I. Jokić, Z. Djurić, D. Randjelović, M. Djukić, M. Frantlović, D. Vasiljević-Radović, J. Buha, **D. Tanasković**, "Metoda za preciznu karakterizaciju mikro/nanogredica hemijskih i bioloških senzora za merenja u gasovima i tečnostima", *Proc. 54th Conference for Electronics, Telecommunications, Computers, Automation and Nuclear Engineering ETRAN*, Donji Milanovac, June 7-11, 2010, pp. MO3.8-1-4, ISBN 978-86-80509-65-5
4. **D. Tanasković**, Z. Jakšić, J. Matović, "Some design considerations for nanomembrane-based fishnet metamaterials operating at optical frequencies", *Proc. 17th Telecommunications forum TELFOR 2009*, Belgrade, November 24-26, 2009, pp. 851-854, ISBN 978-86-7466-375-2
5. M. Frantlović, M. Vorkapić, B. Miljković, B. Popović, M. Matić, **D. Tanasković**, M. Smiljanić, Z. Djurić, "IHTM inteligentni industrijski transmitter nivoa tečnosti sa dva senzora apsolutnog pritiska", *Proc. 53rd Conference for Electronics, Telecommunications, Computers, Automation and Nuclear Engineering ETRAN*, Vrnjačka Banja, June 15-18, 2009, pp. MO4.7-1-4, ISBN 978-86-80509-64-8
6. B. Popović, M. Frantlović, B. Miljković, M. Vorkapić, **D. Tanasković**, M. Smiljanić, "IHTM inteligentni industrijski transmitter razlike temperatura", *Proc. 53rd Conference for Electronics, Telecommunications, Computers, Automation and Nuclear Engineering ETRAN*, Vrnjačka Banja, June 15-18, 2009, pp. MO4.6-1-4, ISBN 978-86-80509-64-8
7. M. Marinković, **D. Tanasković**, "Određivanje fotonskih procepa i optimalnih parametara 2D fotonskog kristala napravljenog od dielektričnih štapova", *Proc. 52nd Conference for Electronics, Telecommunications, Computers, Automation and Nuclear Engineering ETRAN*, Palić, June 8-12, 2008, pp. MO3.4-1-3

8. M. Sarajlić, D. Vasiljević Radović, **D. Tanasković**, "Depozicija spaterovanog nikla na nano-strukturni stepenik od silicijum dioksida", *Proc. 52nd Conference for Electronics, Telecommunications, Computers, Automation and Nuclear Engineering ETRAN*, Palić, June 8-12, 2008, pp. MO4.5-1-4
9. Olga Jakšić, Zoran Djurić, Milan Matić, **Dragan Tanasković**, Miloš Frantlović, Miloš Vorkapić, "Flicker and Johnson noise in piezoresistors for deflection measurement in MEMS devices", *Proc. 48th Conf. ETRAN*, Čačak, June 6-10, 2004
10. Z. Jakšić, M. Sarajlić, Ž. Lazić, **D. Tanasković**, "Photoelastic effects in twin-defect 1D photonic crystal", *Proc. 47th Conf. ETRAN*, Herceg Novi, June 8-13, 2003, 4, pp. 122-125
11. **D. Tanasković**, M. Matić, M. Popović, "A Prototype of a Composite Piezoresistive-Capacitive Microminiature Accelerometer", *Proc. 44th Yugoslav Conf. ETRAN*, Sokobanja, Serbia, June 26-29, 4, pp. 282-285, 2000
12. D. Nešić, M. Matić, M. Smiljanić, **D. Tanasković**, M. Popović, "A Prototype of a Micro Capacitive Pressure Sensor", *Proc. 44th Yugoslav Conf. ETRAN*, Sokobanja, Serbia, June 26-29, 4, pp. 278-281, 2000
13. Žarko Lazić, R. Petrović, M. Matić, **D. Tanasković**, J. Lamovec, A. Vujanić, "Optimizacija piezootpornog senzora za male pritiske", *Proc. XLI ETRAN Vrnjačka Banja 2-5. jun 1998*.
14. N. Simić, **D. Tanasković**, Z. Djurić, Ž. Lazić, R. Petrović, J. Matović, M. Matić, D. Totovski, "Istraživanje procesa predepozicije i redistribucije primesa bora kod silicijumskih piezootpornih senzora pritiska", *Zbornik I srpske konferencije o mikroelektronici i optoelektronici MIOPEL 92*, pp. 1.1.12, 1992
15. Ž. Lazić, **D. Tanasković**, M. Smiljanić, "Dvodimenzionalni model lavinske fotodiode sa efektom prodiranja - RAPD", *Zbornik I srpske konferencije o mikroelektronici i optoelektronici MIOPEL 92*, pp. 1.1.12, 1992

M64 – Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу

1. **D. Tanasković**, Projektovanje simetričnog planarnog metamaterijala "fishnet" dizajna za infracrvenu talasnu oblast, *Zbornik apstrakata konf. Fotonika 2010 – teorija i eksperiment u Srbiji*, Beograd, p. 37, 21-23. april 2010, ISBN 978-86-8244-127-4

M81 - Нови производ или технологија уведени у производњу, признати програмски систем на међународном нивоу

1. M. Frantlović, M. Vorkapić, B. Miljković, B. Popović, **D. Tanasković**, M. Matić, M. A. Smiljanić, Z. Djurić, "Inteligentni transmitter nivoa sa dva apsolutna senzora", novi proizvod uveden u proizvodnju, TR-11025 MNTR Beograd, korisnik IHTM, rukovodilac M. Frantlović, 2009
2. M. Frantlović, B. Popović, B. Miljković, M. Vorkapić, **D. Tanasković**, M. A. Smiljanić, Z. Djurić, "Inteligentni transmitter diferencije temperatura", novi proizvod uveden u proizvodnju, TR-11025 MNTR Beograd, korisnik IHTM, rukovodilac B. Popović, 2009
3. M. Popović, Ž. Lazić, V. Gajić, **D. Tanasković**, "Postupak izrade fotolitografskih maski namenjenih fabrikaciji mikrosistema direktnim iscrtavanjem likova na fotopločama (poboljšana tehnologija)", IT000062 MNTR, 2003
4. Ž. Lazić, M. Matić, D. Nišić, Z. Djurić, R. Petrović, **D. Tanasković**, "Adaptacija senzora pritiska za EML (elektronska merna letva)", Strateški projekat S.2.09.25.0055, 1999.
5. Ž. Lazić, Z. Djurić, R. Petrović, M. Matić, A. Vujanić, J. Lamovec, **D. Tanasković**, "Piezorezistivni Si senzor pritiska sa povećanom osetljivošću (SP-10)", Projekat MNT RS "Mikroelektronika, optoelektronika i mikrosistemske tehnologije", 1998, korisnik IHTM za izradu više tipova transmitera pritiska
6. M. Matić, Z. Djurić, D. Nišić, Ž. Lazić, A. Vujanić, **D. Tanasković**, M. Smiljanić, Z. Šušnjar, "Transmitter za merenje nivoa tečnosti korišćenjem piezorezistivnog Si senzora",

Projekat KPR-011/1-93 za Savezno ministarstvo za nauku i tehnologiju, 1993, korisnik IHTM (maloserijska proizvodnja) primenjuju: Hidroelektrana Piva, Jugopetrol, Terming, vodovod Šabac

7. Z. Djurić, J. Matović, M. Matić, N. Simičić, **D. Tanasković**, R. Petrović, "Piezootporni poluprovodnički pretvarač pritiska za površinsku montažu", Projekat 2946/1988 za moskovski institut CAGI, 1988, korisnik IHTM (za maloserijsku proizvodnju); primenjuju: izvoz u Rusiju - institut CAGI, Moskva; VJ; VTI Žarkovo
8. Z. Djurić, J. Matović, N. Simičić, M. Matić, **D. Tanasković**, M. Smiljanić, R. Petrović, "Poluprovodnički Si piezootporni senzor pritiska sa dijafragmom (SP-4)", Ugovor 42/86 Institut za fiziku (za JNA), 1988, korisnik IHTM (proizvodnja); primenjuju: Energoinvest, Keller Druckmesstechnik - Švajcarska

M83 - Ново лабораторијско постројење, ново експериментално постројење, нови технолошки поступак

1. V. Jović, J. Lamovec, **D. Tanasković**, M. M. Smiljanić, M. Vorkapić, B. Popović, M. Popović, Ž. Lazić, "Realizacija dubokih otvora u monokristalnom Si sa ciljem inkapsulacije mikro-elektro-mehaničkih (MEM) komponenti", novi tehnološki postupak, TR-11025 MNTR Beograd, korisnik IHTM, rukovodilac V. Jović, 2010

M84 - Bitno poboljšani postojeći proizvod i tehnologije, dostignuće u tehničkim naukama u zemlji

1. M. Matić, V. Jović, B. Popović, M. Vorkapić, M. M. Smiljanić, J. Lamovec, **D. Tanasković**, M. Popović, Ž. Lazić, "Montaža MEM piezorezistivnih senzora relativnog pritiska korišćenjem niskotopivog stakla ("glass frit")", bitno poboljšan tehnološki postupak, TR-11025 MNTR Beograd, korisnik IHTM, rukovodilac M. Matić, 2010
2. V. Jović, M. Sarajlić, J. Lamovec, K. Radulović, I. Jokić, **D. Tanasković**, M. Vorkapić, B. Popović, "Aparatura koja obezbeđuje kontrolisan parcijalni pritisak Hg u atmosferi nosećeg gasa pri ispitivanju senzora elementarne Hg", bitno poboljšano laboratorijsko postrojenje, TR-11027 MNTR Beograd, korisnik IHTM, rukovodilac V. Jović, 2009

M85 Техничка решења: Прототип; нова метода; софтвер, инструмент

1. D. Nešić, M. Matić, M. Smiljanić, Z. Djurić, Ž. Lazić, R. Petrović, M. Popović, D. Nišić, B. Popović, **D. Tanasković**, "mikrominijaturni kapacitivni senzor pritiska", strat. proj. S1.01.01.0151, Lab. prototip, 1999
2. **D. Tanasković**, M. Matić, Z. Djurić, M. Smiljanić, Ž. Lazić, R. Petrović, M. Popović, D. Nišić, B. Popović, D. Nešić, "Prototip mikrominijaturnog senzora ubrzanja-akcelometra", strat. proj. S1.01.01.0151, 1999
3. Z. Djurić, J. Matović, N. Simičić, **D. Tanasković**, Ž. Lazić, M. Smiljanić, R. Petrović, "Izrada laboratorijskog prototipa Si piezootpornog senzora za merenje pritiska pri infuziji (SP-7)", Projekat 1.01.01.181/2 "Senzorske i optomikroelektronske komponente", MNT RS, 1996, korisnik IHTM (razvoj do proizvodnje); primena: medicina
4. R. Tonić, J. Matović, **D. Tanasković**, "Baždarenje matričnih senzora pritiska MSP-32, softverski paket", Ugovor 2946/1988, Institut CAGI, Moskva, preko JNA, 1989, korisnik IHTM (maloserijska proizvodnja); primenjuju: Vojska Jugoslavije; Institut CAGI, Moskva, Rusija

2. Предмет и циљ истраживања

У последњих неколико година дошло је до изузетних пробоја у области плазмоники и генерално електромагнетске оптике подталасних периодичних структура. Овоме је посебан подстицај дао развој нанотехнологија и појавила се нова област која се означава именом наноплазмоники. Тренутно најосетљивији сензори хемијских, биохемијских и биолошких агенаса су засновани на површинским плазмонама-поларитонима у метал-диелектричним наноконструкцијама (Surface Plasmons Polaritons, SPP). Према чланцима публикованим у часопису *Nature*, направе засноване на овом принципу у стању су да детектују чак и појединачне молекуле.

SPP сензори функционишу на рефрактометријском принципу, односно промени индекса преламања услед присуства мерног агенаса. Ово је последица тога што се на раздвојној површини између метала (односно, у општем случају проводника са слободним електронима, тј. са релативном диелектричном пермитивношћу мањом од нуле) и диелектрика (релативна пермитивност већа од нуле) ствара површински плазмон-поларитон SPP, резонантни хибрид између колективних осцилација електрона у проводном делу (плазмон) и поларизованог електромагнетског таласа (поларитон). SPP се простире искључиво по раздвојној површини проводник-диелектрик и еванесцентно опада у оба нормална смера. Због тога је његов индензитет највећи управо на површини на којој се адсорбује мерени агенас.

Посебан пробој у области метал-диелектричних композита за електромагнетне односно оптичке примене представљају тзв. електромагнетски метаматеријали. Они се могу дефинисати као вештачке структуре са електромагнетским/оптичким особинама какве се не обично појављују у природи. Можда најпознатији пример електромагнетских метаматеријала су тзв. „леворуки” метаматеријали, односно материјали чији индекс преламања у одређеном опсегу фреквенција достиже негативне вредности. Други метаматеријали укључују ЕОТ (extraordinary optical transmission) структуре, односно матрице апертура подталасних домензија чија трансмисија електромагнетског зрачења може за више редова величине превазићи вредности какве се добијају класичним Бетеовим (Bethe) приступом, као и тзв. транспарентне метале (метал-диелектричне композите провидне у оптичком спектру). Врло често код електромагнетских метаматеријала опајају се особине које на први поглед делују контраинтуитивно, нпр. преламање електромагнетског таласа на „погрешну” страну услед инверзије Снеловог закона.

Коришћење метаматеријала за нову генерацију рефрактометријских хемијских односно биохемијских сензора недавно је предложено, али су конкретне апликације и даље ретке, постоји много непознатих на фундаменталном нивоу због чега бројне могућности за инжењеринг жељених перформанси нису уопште искоришћене. Такође, постоји огроман број нових геометрија које омогућују различито конфинурање електромагнетског поља и које су до данас мало или нимало испитане. Циљ предложене дисертације је истраживање усмерено на пројектовање, моделовање и симулацију нових структура за наноплазмонске сензоре и њихова детаљна анализа. Рад се надовезује на истраживања вршена током последњих година у ИХТМ – Центру за микроелектронске технологије, Београд. Нарочито важан очекивани резултат је добијање структура са смањеним апсорпционим губицима, чиме би се превазишао један од већих проблема који савремених метаматеријалних структура за сензоре.

Значај предложених истраживања је двојак. Са једне стране, ради се о тематици изузетно битној у свету и сваки допринос у овом пољу представља допринос једној од најважнијих научних области (према часопису *Science*, метаматеријали су сврстани међу првих пет најбитнијих научних пробоја у протеклој деценији). Са друге стране, сензори хемијских и биолошких агенаса засновани на SPP могу се производити у Србији и заправо се неке структуре већ лабораторијски израђују у Центру за микроелектронске технологије ИХТМ Универзитета у Београду. Пошто су овакви сензори веома битни за заштиту околине, као и за

разне гране процесне индустрије (нафтна, петрохемијска, хемијска и сл.) онда је један од циљева да се сазнања освојена у оквиру предложене дисертације примене у пракси за израду сензора намењених употреби и на националном и на међународном нивоу.

3. Полазне хипотезе

Претпоставља се да се за анализирање електромагнетских нанокомпозита са димензијама детаља много мањих од таласне дужине може употребити теорија ефективног медијума којом се могу израчунати еквивалентне вредности диелектричне пермитивности, магнетске пермеабилности и индекса преламања, као и комплетна дисперзија оваквих нанокомпозита.

Пошто је познато да наноплазмонски композити могу обезбедити инжењеринг дисперзије, омогућујући вредности локалног индекса преламања много веће од јединице, мање од јединице, чак и мање од нуле (тзв. „леворуки” метаматеријали какве су описали Veselago 1967 и Pendry 1999), то значи да се њиховом применом могу обезбедити велике концентрације електромагнетног поља и врло јако просторно конфинирање. Због тога се у предложеној дисертацији претпоставља да ће овакво конфинирање омогућити детекцију хемијских агенса у знатно мањим количинама, као и већу осетљивост у поређењу са конвенционалним SPP сензорима. Истраживање је везано са нпр. R. Adato, and H. Altug, “In-situ ultra-sensitive infrared absorption spectroscopy of biomolecule interactions in real time with plasmonic nanoantennas,” *Nature communications*, vol. 4, 2013.

Сматра се да ће употреба комплекснијих наноплазмонских структура омогућити превазилажење конструкционих ограничења конвенционалних плазмонских сензора. Пре свега, очекује се да богатији избор геометрија доведе до нових, једноставнијих метода читавања сигнала у сензорима. Код конвенционалних SPP сензора неопходно је користити спрежне структуре као што су Кречманова и Отоова призма, док се код наноплазмонских структура очекује мултифункционалност која ће омогућити да иста геометрија обезбеђује електромагнетну функционалност и једновременно осигура спрезање између простирућих таласа и површинских плазмона поларитона. На тај начин могу се увести нови начини спрезања, као што су трансмисионо под разним угловима омогућили нови механизми читавања сигнала и повећали осетљивост и селективност.

Значајна хипотеза приликом ових истраживања јесте да је могуће употребити алтернативне плазмонске материјале као што су нпр. проводни провидни оксиди (типични представници били би калај оксид, индијум калај оксид, цинк оксид допиран алуминијумом) да би се добиле метаматеријалне структуре са смањеним апсорпционим губицима, значајно побољшаним параметрима квалитета (figure of merit) и повећаном осетљивошћу. Ова истраживања надовезују се на радове Болтасеве и сарадника (нпр. A. Boltasseva, and H. A. Atwater, “Low-Loss Plasmonic Metamaterials,” *Science*, vol. 331, no. 6015, pp. 290-291, January 21, 2011, 2011).

4. Научне методе истраживања

- За нумеричку симулацију карактеристика и перформанси сензора планира се примена методе коначних елемената (Finite Element Method, FEM). У ту сврху користиће се софтверски пакет „COMSOL Multiphysics”.
- Планира се *ab initio* моделовање оптичких односно плазмонских карактеристика сензора почев од Максвелових једначина односно Хелмхолцове једначине, уз дефинисање одговарајућих скупова граничних услова за сваку геометрију и сваки случај понаособ.
- Утицај детектованог хемијског/биохемијског агенса утврђиваће се на основу реалних својстава адсорпције и прорачуни ће се обављати за реалне димензије слојева.

- Разматраће се различите ситуације, од монослојне адсорпције хемијског/биохемијског агенса до случаја потпуне имерзије мерне структуре у агенс.
- Биће разматрана употребљивост за конкретне групе испитиваних агенса од посебног интереса за одређене области примене, пре свега за заштиту човекове околине и детекцију опасних материја.

5. Очекивани научни допринос

- Детаљан увид у функционисање рефрактометријских сензора базираних на fishnet геометрији (тзв. „рибарска мрежа”), односно на вишеслојним метал-диелектричним нанокомпозитима са 2Д низовима подталасних апертура.
- Предлог нових геометрија базираних на fishnet метаматеријалима које користе суперструктуре односно плазмонске суперрешетке и њихови детаљни модели, укључујући оптимизацију перформанси; пројектовање, симулација и оптимизација оваквих структура.
- Предлог нове генерације плазмонских хемијских односно биолошких сензора са смањеним апсорпционим губицима, заснованих на транспарентним проводним оксидима као алтернативном плазмонском материјалу; пројектовање, симулација и оптимизација оваквих структура.
- Нови модел екстракције ефективних параметара (пермитивност, пермеабилност и индекс преламања) са формирањем ефикасног алгорита за уклањање лажних и вишезначних решења.
- Као коначан резултат очекују се резултати детаљних симулација и заокружени модели горе наведених структура.
- Очекује се да истраживања после завршавања дисертације доведу до предлога конкретних нових рефрактометријских сензорских структура које би биле израђиване у Центру за микроелектронске технологије ИХТМ коришћењем метода микрофабрикације расположивих у домаћим условима. Очекује се да ови резултати буду нови на светском нивоу.

6. План истраживања и структура рада

Истраживања ће бити обављана у неколико фаза:

1. Разматрање фундаменталне физике метаматеријалних сензорских структура и основних појава које се могу употребити за детекцију хемијских/биохемијских агенса.
2. Преглед постојећих fishnet структура и њихових перформанси.
3. Разматрање расположивих материјала, укључујући алтернативне плазмонске материјале са смањеним апсорпционим губицима.
4. Разматрање алтернативних структура заснованих на суперпозицији дводимензионалних низова подталасних апертура. Дефинисање граничних услова, параметара, детаља геометрије.
5. Израда детаљних ФЕМ модела и анализа добијених резултата у контексту једно- и вишеслојне адсорпције мереног агенса.
6. Мултифизичка симулација сензора заснованих на суперструктурама добијеним суперпозицијом метаматеријала типа „рибарске мреже”, као и на структурама које користе проводне провидне оксиде уместо метала.
7. Оптимизација параметара изабраних сензорских структура.

7. Закључак и предлог

Предложена тема дисертације везана је за веома савремена истраживања чији се резултати тренутно објављују у најцитиранијим међународним часописима. Као илустрација тога да је

тема у тренду са глобалним научним кретањима може послужити чињеница да је из те најуже тематике у последњих годину дана објављено неколико чланака у издањима *Nature* и *Science*, као и другим високоцитираним издањима. Тематика је изузетно тражена и има велику очекивану применљивост (биомедицина, антитерористичка дејства, заштита човекове околине итд) и од великог је практичног интереса и на националном и на међународном нивоу. Предложена истраживања у оквиру дисертације имају значајан потенцијал да доведу до нових резултата, научно су добро заснована и представљају новину на светском нивоу.

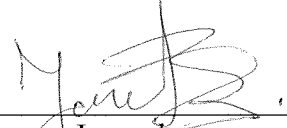
Комисија сматра да је предложени наслов дисертације превише општи и предлаже да се дисертацији да нови, прецизнији наслов: **Наноплазмонски метаматеријали за нову генерацију хемијских, биохемијских и биолошких сензора.**

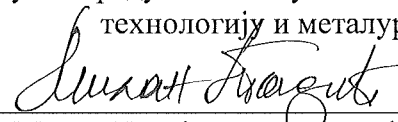
Кандидат Мр Драган Танасковић се од 1987. године бави научним истраживањима из области микросистемских и наносистемских сензора, дакле управо тематике коју покрива предложена дисертација. Увид у публикације кандидата показује да је од његових пет радова у међународним часописима класе M22 или M23 за тематику метаматеријала типа рибарске мреже (fishnet) везано четири. Слично важи и за његове друге публикације из последњих неколико година. Комисија сматра да тематика и континуитет научноистраживачког рада показују да је кандидат подобан за реализацију предвиђених циљева истраживања.

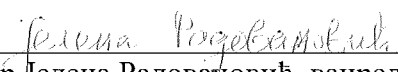
Ужа научна област дисертације је **микроелектроника**, за коју је Електротехнички факултет у Београду матичан. За менторе дисертације предлажу се др **Зоран Јакшић**, научни саветник, Универзитет у Београду – Институт за хемију, технологију и металургију и др **Милан Тадић**, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет. Уз овај извештај прилажу се спискови радова обојице ментора одговарајућем формулару Универзитета.

Београд, 10.9.2014.

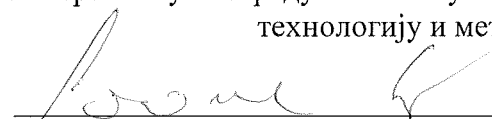
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


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, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


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


др Лазар Сарановац, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет