

ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ
35/496
(Број захтева)

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ВЕЋЕ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
(Назив већа научне области и коме се захтев упућује)

23.10.2015.
(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

„Полиимидне конзоле за примену у микро-електро-механичким системима (МЕМС)“.

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: ХЕМИЈА И ХЕМИЈСКА ТЕХНОЛОГИЈА

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

Мр ТАТЈАНА (Александар) ЂАКОВ, дипл. инж.

2. Назив и седиште факултета на коме је стекао високо образовање: **Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет**

3. Година дипломирања: 1994.

4. Назив магистарске тезе кандидата: **Кинетика радикалне полимеризације DI-2-хлоретил итаконата.**

5. Назив факултета на коме је магистарска теза одбрањена **Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет**

6. Година одбране магистарске тезе: 1997.

Обавештавамо Вас да је **Наставно-научно веће,**
(назив надлежног тела Факултета)

на седници одржаној **22.010.2015. године** размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

На основу чл. 128. Закона о високом образовању и чл. 129. Статута ТМФ-а, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 22.10.2015. године, донета је

О Д Л У К А

**о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата
за израду докторске дисертације**

Прихвата се Реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата и одобрава израда докторске дисертације **мр ТАТЈАНЕ ЂАКОВ**, дипл. инж., под називом: „**Полиимидне конзоле за примену у микро-електро-механичким системима (МЕМС)**“.

Одлуку о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације доноси Универзитет у Београду.

За менторе се одређују: **др Иванка Поповић**, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и **др Љубинка Рајаковић**, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду на сагласност, кандидату, менторима, Служби за наставно студентске послове и архиви Факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата: Татјана Ђаков

Име и презиме ментора: Иванка Поповић

Звање: редовни професор, Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултета

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Spasojevic Pavle M Panic Vesna V Dzunuzovic Jasna V Marinkovic Aleksandar D Woortman AJJ Loos K **Popovic Ivanka G**, High performance alkyd resins synthesized from postconsumer PET bottles, RSC ADVANCES, (2015), vol. 5 br. 76, str. 62273-62283, IF=3,840; ISSN: 2046-2069.
2. Radoman Tijana S Dzunuzovic Jasna V Jeremic Katarina B Grgur Branimir N Milicevic Dejan S **Popovic Ivanka G**, Dzunuzovic Enis S, Improvement of epoxy resin properties by incorporation of TiO₂ nanoparticles surface modified with gallic acid esters, MATERIALS & DESIGN, (2014), vol. 62 br. , str. 158-167, IF=3,501; ISSN: 0261-3069.
3. Djakov Tatjana A **Popovic Ivanka G** Rajakovic Ljubinka V, Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS) - Technology for the 21st Century (Review), HEMIJSKA INDUSTRIJA, (2014), vol. 68 br. 5, str. 629-641; IF=0,364; ISSN: 0367-598X.
4. Antanasijevic Davor Z, Pocajt Viktor V, **Popovic Ivanka G**, Redzic Nebojsa D, Ristic Mirjana Dj, The forecasting of municipal waste generation using artificial neural networks and sustainability indicators, SUSTAINABILITY SCIENCE, (2013), vol. 8 br. 1, str. 37-46, IF=3,119; ISSN: 1862-4065.
5. **Popovic Ivanka G** Katsikas Lynne, The thermal degradation of some polymeric di-alkyl esters of itaconic acid, JOURNAL OF THE SERBIAN CHEMICAL SOCIETY, (2013), vol. 78 br. 12, str. 2179-2200, IF=0,871; ISSN: 0352-5139

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техничко-технолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће,

на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као М11, М12, М13, М14, М41 и М51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум: 24.10.2015.

М.П.

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата **Мр ТАТЈАНА ЂАКОВ**

Име и презиме ментора: **Др ЉУБИНКА РАЈАКОВИЋ**

Звање: **РЕД. ПРОФ.**

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. S.Štrbac, M.Nenadović, **Lj.V.Rajaković**, Z.Rakočević, Chemical surface composition of the polyethylene implanted by Ag^+ -ions studied by phase imaging atomic force microscopy, *Appl. Surf. Sci.*, 256 (2010) 3895-3899
2. N.B.Issa, V.N.Rajaković-Ognjanović, B.M.Jovanović, **Lj.V.Rajaković**, Determination of Inorganic Arsenic Species in Natural Waters-Benefits of Separation and Preconcentration on Ion Exchange and Hybrid Resins, *Anal. Chim. Acta*, 673 (2010) 185-193
3. D.Žarković, V.Rajaković-Ognjanović, **Lj.V.Rajaković**, Conservation of resources in the pulp and paper industry derived from cleaner production approach, *Resources, Conservation & Recycling*, 55 (2011) 1139-1145
4. T.A.Đakov, I.G.Popović, **Lj.V.Rajaković**, Micro-electro-mechanical systems (MEMS): Technology for the 21st century, *Hem. Ind.* 68 (2014) 5, 629-641
5. T.Đakov, **Lj.V.Rajaković**, I.Popović, Metal-polymer and polymer-polymer microcantilevers: promising alternative to Si-based MEMS, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, DOI 10.1007/s10854-015-3545-7

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техникотехнолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно

се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11, M12, M13, M14, M41 и M51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односно дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум: 20.10.2015.

М.П.

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

UNIVERZITET U BEOGRADU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET
NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Podobnost teme i kandidata mr Tatjane Đakov za izradu doktorske disertacije

Odlukom br. 35/376 od 23.09.2015. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata **mr Tatjane Đakov** za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme „**Poliimidne konzole za primenu u mikro-elektro-mehaničkim sistemima (MEMS)**“.

Na osnovu materijala priloženog uz Zahtev kandidata, Komisija podnosi sledeći

REFERAT

1. Podaci o kandidatu

1.1. Biografski podaci

Kandidat mr Tatjana Đakov je rođena u Beogradu 11.09.1970. godine, gde je pohađala i završila osnovnu školu i gimnaziju sa odličnim uspehom. Školske 1989/90. godine upisala je Tehnološko-metalurški fakultet u Beogradu, smer Hemijsko inženjerstvo, koji je završila 1994. godine, sa prosečnom ocenom 8.87. Iste godine upisala je poslediplomske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu, odsek Hemija i inženjerstvo polimera, pri Katedri za Organsku hemijsku tehnologiju. Magistarsku tezu pod nazivom „Kinetika radikalne polimerizacije di-2-hloretil itakonata“ odbranila je 1997. godine (prosečna ocena tokom studija 9.78).

Od 1994. godine do danas, mr Tatjana Đakov je učestvovala u nastavi iz većeg broja predmeta na smerovima Organska hemijska tehnologija, Hemijsko inženjerstvo i Inženjerstvo zaštite životne sredine, odnosno studijskim profilima Hemijsko inženjerstvo i Inženjerstvo zaštite životne sredine. U periodu 1994-1997. godine kao stipendista Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije, učestvovala je u realizaciji eksperimentalnih (i delom računskih vežbi) iz predmeta Prerada polimernih materijala i Tehnologija sinteze polimera (IV godina studija), na Katedri za OHT. U periodu od 1997. do 2008. godine (u svojstvu asistenta-saradnika, saradnika-istraživača i asistenta) vodila je računske vežbe iz predmeta Termodinamika tehnoloških procesa (III godina studija), kao i računske i eksperimentalne vežbe iz predmeta Tehnologija prerade nafte i Tehnologija petrohemijskih proizvoda (IV godina studija). Od školske 2006/07. godine vodila je računske vežbe iz predmeta Materijalni i energetski bilansi (II godina studija), a od školske 2007/08 godine vodi računske vežbe iz predmeta Osnovi petrohemijskog inženjerstva (III godina studija). Od iste školske godine do 2011. god. učestvovala je u realizaciji nastave iz predmeta Reciklaža polimernih materijala (V godina studija). U periodu 2009-2013. god. vodila je računske vežbe i izradu projekata na predmetu Projektovanje procesa u inženjerstvu zaštite životne sredine (IV i V godina studija), a u periodu 2011-2013. god. i na predmetu Projektovanje opreme i procesa u inženjerstvu zaštite životne sredine (IV godina studija). Od školske 2009/10. godine vodi eksperimentalne i računske vežbe, a učestvuje i u realizaciji teorijske nastave iz predmeta Uvod u Hemijsko inženjerstvo (II godina studija).

Kao DAAD stipendista, mr Tatjana Đakov je boravila na usavršavanju u Nemačkoj, u Saveznom institutu za ispitivanje materijala (BAM), u Berlinu, u trajanju od 6 meseci

(1994,1995), kao i na stručnom usavršavanju u Nemačkoj, Univerzitet u Kaselu, u trajanju od deset meseci (1997-1998). U periodu 2012-2014. godine boravila je na stručnom usavršavanju u Velikoj Britaniji, u Micro and Nano Technology Centre, Rutheford Appleton Lab., STFC, South Oxfordshire, u ukupnom trajanju od 11 nedelja.

U junu 2000. godine je izabrana za asistenta na Katedri za OHT, a od 2012. godine je u zvanju stručnog saradnika na istoj Katedri.

Član je Srpskog hemijskog društva, govori engleski i ruski jezik, a služi se nemačkim i francuskim jezikom.

Oblasti naučnog interesovanja kandidata mr Tatjane Đakov: tanki polimerni filmovi, mikro-elektro-mehanički sistemi (MEMS), instrumentalne metode, petrohemija, degradacija polimera, reciklaža polimera.

1.2. Stečeno naučnoistraživačko iskustvo

Magistarski rad Tatjana Đakov je odbranila na Katedri za organsku hemijsku tehnologiju, Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu 1997. godine. Mentor magistarskog rada bila je prof. dr Ivanka Popović. Oblast istraživanja magistarske teze Tatjane Đakov obuhvatala je sintezu, karakterisanje i funkcionalizaciju polimera koji se bazira na derivatu itakonske kiseline - di-2-hloretil itakonatu, odnosno 1,1-disupstituisanom etilenu sa atomom hlora, kao i ispitivanje mogućnosti primene ovog polimera u biohemijskoj i elektronskoj industriji. Kandidat je svoje naučnoistraživačko iskustvo razvijala učešćem u projektima osnovnih istraživanja i tehnološkog razvoja koji su finansirani od strane nadležnog Ministarstva (Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije).

RADOVI OBJAVLJENI U NAUČNIM ČASOPISIMA MEĐUNARODNOG ZNAČAJA (M20)

Radovi u istaknutom međunarodnom časopisu (M22)

1. L. Katsikas, **T.A. Đakov**, J. M. Filipović, J. S. Veličković, I. G. Popović, Poly(Dialkoxyethyl Itaconates) 2. The Thermal Degradation of Some Poly(Dialkoxyethyl Itaconates), Journal of Thermal Analysis 47 (1996) 1093-1104. (ISSN 0022-5215) [DOI 10.1007/BF01979450](https://doi.org/10.1007/BF01979450)
2. J. M. Filipović, L. Katsikas, I.G. Popović, S. J. Veličković, **T. A. Đakov**, D. M. Petrović-Djakov, The Thermal Degradation of Some Alkali Metal Salts of Poly(Itaconic acid), Journal of Thermal Analysis 49 (1997) 335-341 (ISSN 0022-5215) [DOI 10.1007/BF01987455](https://doi.org/10.1007/BF01987455)
3. **T. Đakov**, Lj. Rajaković, I. Popović, Metal-polymer and polymer-polymer microcantilevers: promising alternative to Si-based MEMS, Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 26(11) (2015) 8698-8706 (ISSN 0957-4522, IF (2013)=1.996) [DOI 10.1007/s10854-015-3545-7](https://doi.org/10.1007/s10854-015-3545-7)

Radovi u međunarodnom časopisu (M23)

4. B. Damjanović-Vratnica, **T. Đakov**, D. Šuković, J. Damjanović, Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of wild-growing *Salvia officinalis* L. from Montenegro, Journal of Essential oil Bearing Plants, 11 (2008) 79-89 (ISSN 0972-060X, IF(2009)=0,310) [DOI 10.1080/0972060X.2008.10643602](https://doi.org/10.1080/0972060X.2008.10643602)

5. B. Damjanovic-Vratnica, **T. Đakov**, D. Šukovic, J. Damjanovic, Antimicrobial effect of essential oil isolated from *Eucalyptus globulus* Labill. from Montenegro, Czech Journal of Food Sciences 29(3-3) (2011) 277-284 (ISSN 1212-1800, IF(2012)=0.685)
6. **T.A. Djakov**, I.G. Popovic, Lj.V. Rajakovic, Micro-electro-mechanical systems (MEMS): Technology for the 21st century, Hemijska industrija 68(5) (2014) 629-641 (ISSN 0367-598 X, IF(2013)=0.562) DOI: 10.2298/HEMIND131008091D

ZBORNICI MEĐUNARODNIH NAUČNIH SKUPOVA (M30)

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini (M33)

7. J. Filipović, **T. Djakov**, I. Popović, J. Veličković, D. Petrović-Djakov, The Thermal Degradation of Some Transition Metal Salts of Poly(Itaconic Acid), EUROMAT 95, 25-28. 09. 1995, Padova, Italija, Conference Proceedings I, p. 625-628

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u izvodu (M34)

8. J. M. Filipović, D. Petrović-Djakov, V. Papić, **T. Djakov**, J. Veličković, Synthesis and Characterization of Poly(Itaconic Anhydride), 1st Conference on Polymers and Polymer Materials, 26-28.10.1995, Skopje, Makedonija, Abstracts, u-1, p. 33
9. J. M. Filipović, D. M. Petrović-Djakov, L. Katsikas, I.G. Popović, S. J. Velicković, **T. A. Djakov**, J. S. Velicković, The Thermal Degradation of Some Alkali Metal Salts of Itaconic Acid, 11th International Congress on Thermal Analysis and Calorimetry, (ICTAC-11), 12-16. 07. 1996, Filadelfija, SAD, p. 87
10. **T.A. Djakov**, I.G. Popović, Radical Polymerisation Kinetics of Di-2-Chloroethyl Itaconate, 2nd International Conference of the South-Eastern European Countries on Chemical Sciences for Sustainable Development, 6-9. 06. 2000, Halkidiki, Greece, Book of Abstracts, vol.II, p. 267
11. D.Petrović-Djakov, J.Filipović, **T.Djakov**, Synthetic lubricants – copolymers of α -olefins and unsaturated acid esters, 3rd International Conference of the Chemical Societies of the South-Eastern European Countries on "Chemistry in the New Millenium - an Endless Frontier", September 22-25, 2002, Bucharest, Romania, Book of Abstracts, vol II, p. 26
12. B. Damjanović, M. Mraović, **T. Djakov**, T. Gamse, Comparison of Composition and Antimicrobial Activity of the Essential Oil and CO₂ Extractions of *Salvia officinalis* L., 3rd International Conference of the Chemical Societies of the South-Eastern European Countries on Chemistry in the New Millenium - an Endless Frontier, September 22-25, 2002, Bucharest, Romania Book of Abstracts, vol.II, p. 215
13. B. Damjanović, S. Shober, **T. Djakov**, M. Mittelbach, Antioxidant Activity of Some Aromatic Herbs from Montenegro, 4th International Conference of the Chemical Societies of the South-Eastern European Countries on Chemical Sciences in Changing Times: Visions, Challenges and solutions, July 18-21, 2004, Belgrade, Serbia and Montenegro, Book of Abstracts, vol. I, p.124
14. B. Damjanović-Vratnica, **T. Đakov**, The influence of some medicinal herbs on the oxidation stability of vegetable oils, Second International Symposium of Ecologists of Montenegro (ISEM2), September 20-24., 2006, Kotor, Montenegro, p. 64

RADOVI OBJAVLJENI U ČASOPISIMA NACIONALNOG ZNAČAJA (M50)

Rad u vodećem časopisu nacionalnog značaja(M51)

15. **T.A.Đakov**, I.G.Popović, The Kinetics of the Radical Polymerisation of Di-2-Chloroethyl Itaconate, *Hemijska industrija* 53 (1999) 361-366
16. **T.A.Đakov**, J.M. Filipović, D.M. Petrović-Đakov, Synthetic lubricants based on copolymers of n-butylmethacrylate and α -olefins, *Hemijska industrija* 56 (12) (2002) 526-528 DOI:10.2298/HEMIND0212526D
17. L. Katsikas, N. Nišević, M. Ignjatović, V.Adamović, **T. Đakov**, I. Popović, Radikalna polimerizacija monoetil itakonata, *Hemijska industrija* 57 (11) (2003) 553-558 DOI:10.2298/HEMIND0311553K

ZBORNICI SKUPOVA NACIONALNOG ZNAČAJA (M60)

Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini (M63)

18. D. Petrović-Đakov, J. Filipović, **T. Đakov**, Sintetička maziva-kopolimeri α -olefina i estara nezasićenih kiselina, Kongres inženjera, plastičara i gumara, JU-POLIMERI 2002, Čačak 2002., Zbornik radova, str.130-133

Saopštenje sa nacionalnog skupa štampano u izvodu (M64)

19. L. Katsikas, **T.A. Đakov**, J.M. Filipović, J.S. Veličković, I.G.Popović, Kinetika termijske degradacije poli(dialkoksietil itakonata), XXXVI Savetovanje hemičara Srbije, Beograd, 1995, Knjiga izvoda, str. 261
20. **T.A. Đakov**, L. Katsikas, J.S. Veličković, I.G.Popović, Sinteza i karakterisanje poli(dialkoksietil itakonata), XXXVI Savetovanje hemičara Srbije, Beograd, 1995, Knjiga izvoda, 268
21. **T.A. Đakov**, I.G.Popović, Kinetika radikalne polimerizacije di-2-hloretil itakonata, XII Jugoslovenski simpozijum o hemiji i tehnologiji makromolekula, Herceg Novi, 1996, Zbornik radova, crp. 150
22. S. Veličković, **T.A. Đakov**, D. Petrović-Đakov, J.M. Filipović, Sinteza i svojstva soli poli(itakonske kiseline), JUKOMAT 97, Herceg Novi, 1997, Zbornik radova, str. 67
23. **T.A. Đakov**, I.G.Popović, Kinetika radikalne polimerizacije di-2-hloretil itakonata do visokih prinosa, III Simpozijum „Savremene tehnologije i privredni razvoj“, Leskovac, 1998, Zbornik izvoda, str. 120
24. **T.A. Đakov**, I.G.Popović, Određivanje parametara kinetike radikalne polimerizacije di-2-hloretil itakonata, XXXIX Savetovanje hemičara Srbije, Beograd, 1999, Knjiga izvoda, str 194
25. D. Petrović-Đakov, J.M. Filipović, **T.A. Đakov**, Sintetička maziva- kopolimeri α -olefina i estara nezasićenih kiselina, XIII Jugoslovenski simpozijum o hemiji i tehnologiji makromolekula, Zlatibor, 2001., Zbornik radova, str. 138
26. B.M. Damjanović, **T.A. Đakov**, J.B. Damjanović, V.M. Živković, Hemijski sastav i antimikrobna aktivnost etarskog ulja hajdučke trave – *Achillea Millefolium L.* “ XLI Savetovanje hemičara Srbije, Beograd, 2003, Knjiga izvoda, str. 227

Odbranjena magistarska teza M72

Tatjana Đakov, „Kinetika radikalne polimerizacije di-2-hloretil itakonata“, Beograd, 1997

Učešće u projektu, studijama, elaboratima i sl. sa privredom; Učešće u projektima finansiranim od strane nadležnog Ministarstva (M105)

27. Projekat tehnološkog razvoja, republički fond za tehnološki razvoj, aromatski i naftenski naftni polimeri, (Rukovodilac J. Jovanović), 1994-1996,
28. Projekat osnovnih istraživanja, MNTR 1456, Zelena hemija – osnov za razvoj novih materijala, sinteze i inženjerstva procesa hemijske tehnologije, grupa autora (Rukovodilac D. Skala) 2002-2005,
29. Projekat osnovnih istraživanja, MNTR 1948, Sinteza, modifikovanje i karakterisanje prirodnih i sintetskih polimernih materijala, grupa autora (Rukovodilac Ivanka Popović), 2000-2004.

1.3. Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Kandidat Tatjana Đakov je završila magistarske studije iz oblasti polimernog inženjerstva na Tehnološko-metalurškom fakultetu u Beogradu. Boravkom na stručnim usavršavanjima u relevantnim evropskim naučnim institucijama u Nemačkoj i Velikoj Britaniji (u Saveznom institutu za ispitivanje materijala (BAM), u Berlinu, na Univerzitetu u Kaselu i u Micro and Nano Technology Centre, Rutheford Appleton Lab., STFC, u Oksfordširu) kandidat je upotpunila svoja znanja iz oblasti polimernih materijala, instrumentalnih tehnika, mikro/nano tehnologija i mikro-elektro-mehaničkih sistema (MEMS). Svojim dosadašnjim aktivnostima Tatjana Đakov je ispoljila visok stepen sposobnosti za samostalan i timski naučno-istraživački rad. Kandidat je tokom dosadašnjeg rada iskazala zrelost, samostalnost, stručnost i sklonost ka naučno-istraživačkom radu. Iz oblasti istraživanja kojoj pripada predložena tema doktorske disertacije do sada je objavila dva rada, od kojih je jedan rad u istaknutom međunarodnom časopisu, a drugi u međunarodnom časopisu. Na osnovu biografskih podataka, stručnih i naučnih aktivnosti Komisija smatra da je kandidat podoban za efikasan teorijski i eksperimentalni rad na predloženoj temi doktorske disertacije.

2. Predmet i ciljevi istraživanja

Oblast Mikro-elektro-mehaničkih sistema (MEMS) se intenzivno razvija i širi u poslednje tri decenije. MEMS predstavljaju minijature elektromehaničke sisteme (uređaje i strukture) koji mogu da registruju promene u okolini, da ih analiziraju i procesiraju pomoću mikroelektronike. Pored toga što su minimalni (dimenzije), MEMS su optimalni (energetski i ekonomski), adaptabilni (lako se integrišu u druge sisteme i lako se modifikuju), a karakteriše ih i velika otpornost na vibracije, udar i zračenje. Ovi sistemi mogu da se sastoje od mehaničkih elemenata, senzora, pokretača, elektronskih i električnih uređaja koji su svi smešteni na silicijumov supstrat (čip). Najvažniji i najinteresantniji delovi MEMS su mikrosenzori i mikropokretači (pokretne i/ili deformabilne strukture). Elementi MEMS uređaja mogu da budu u formi konzola, membrana, gredica. Konzole su interesantne zbog jednostavne strukture.

MEMS i delovi za MEMS uređaje se proizvode od silicijuma, polimera, metala, keramike i kompozitnih materijala. Najzastupljeniji materijal koji se koristi za proizvodnju integrisanih kola je silicijum. Dostupnost finansijski povoljnih visokokvalitetnih materijala i mogućnost ugrađivanja elektronske funkcionalnosti, omogućile su da silicijum bude atraktivan za široku primenu kod MEMS aplikacija. Iako se veliki deo elektronske industrije oslanja na industriju silicijuma, proizvodnja kristalnog silicijuma je kompleksna i relativno skupa, pa se akcenat poslednjih godina sve više stavlja na zamenu silicijuma drugim materijalima. Polimeri predstavljaju adekvatnu zamenu, jer mogu da se proizvode u velikim količinama uz raznovrsne toplotne, električne i mehaničke karakteristike, za razliku od klasičnih materijala. Osnovne

prednosti polimera su elastičnost, optička svojstva i biokompatibilnost. Među polimerima, polimidi (PI) imaju visoku termičku i hidrolitičku stabilnost, odličnu otpornost na hemikalije, dobra adhezivna svojstva i mehaničku čvrstoću, biohemijsku kompatibilnost. Polimidi su raznovrsni, mogu da se modifikuju u foto-osetljive ili foto-neosetljive, piezoelektrične ili nepiezoelektrične, u magnetne ili nemagnetne, iz neprovodnih u provodne. Literaturno dostupni podaci za svojstva polimera se odnose na materijale čija je debljina veća od 50 μm i njihove vrednosti su konstantne. Svojstva tankih polimernih filmova mogu značajno da se razlikuju od svojstava tih istih materijala čija je debljina veća od 50 μm . S obzirom da se kod MEMS mikrokonzola radi o debljinama koje su manje od 10 μm , neophodno je ispitati svojstva odgovarajućih tankih polimidnih filmova. Mikrokonzole koje reaguju na toplotnu pobudu su zasnovane na bimorfnoj strukturi (dva tanka filma materijala koji imaju različite koeficijente toplotnog širenja). Ove strukture su veoma osetljive na toplotne promene. Do savijanja konzole dolazi pri toplotnoj pobudi usled različitog širenja strukturnih slojeva. Standardni materijali koji se koriste su silicijum i različiti metali. Pregledom dostupne naučne literature može se zaključiti da postoji izuzetno mali broj podataka za toplotna svojstva tankih polimernih filmova (čije su debljine manje od 10 μm).

Cilj ove doktorske disertacije je da se ispita mogućnost primene tankih polimernih filmova kao zamene za silicijum kod bimorfnih MEMS struktura. Kod standardnih silicijum-metal bimorfa neophodno je dovesti energiju da bi došlo do pobude konzole. Jedna od prednosti tankih polimidnih filmova je ta da nije potrebno dovoditi energiju za pobudu strukture, jer otklon od ravni bimorfa već postoji usled naprezanja koja su zaostala u samom polimernom filmu. Na osnovu rezultata ispitivanja toplotnih karakteristika polimidnih filmova različitih debljina (2-10 μm) će biti urađena optimizacija procesnih parametara, kao i simulacija, funkcionalizacija i modelovanje nove generacije bimorfnih mikrosenzora i mikropokretača tipa metal-poliimid i polimid-poliimid. Kao metalni sloj je izabrano zlato.

Predmet rada prvog dela doktorske disertacije su tanki polimidni filmovi (debljine do 10 μm), njihovo dobijanje i ispitivanje toplotnih karakteristika (koeficijenta toplotnog širenja, α , i temperature prelaza u staklasto stanje, T_g) u zavisnosti od debljine filma i procesnih parametara (temperature umrežavanja, kao i temperaturnog profila koji je korišćen pri umrežavanju polimera). Izabrana su dva tipa polimidnih materijala sa različitim vrednostima koeficijenta toplotnog širenja koji će biti predmet istraživanja prvog dela ove disertacije. Podaci vezani za toplotne karakteristike tankih polimidnih filmova ne mogu da se nađu u literaturi, a neophodni su kako bi se upotpunile baze podataka i pomoću njih omogućili tačniji proračuni i izvođenje simulacija u oblastima mikrofluidike, mikro-elektro-mehaničkih sistema (MEMS) i mikroelektronike.

Predmet rada drugog dela doktorske disertacije su polimidne mikrokonzole, postupci za njihovo dobijanje, kao i ispitivanje svojstava pod različitim temperaturnim uslovima sa ciljem da se dobiju i procene efekti toplotne pobude na ponašanje samih konzola i da se sagleda mogućnost primene ovakvih struktura kao ekonomski isplativih zamena za standardne Si-mikrokonzole.

Relevantni bibliografski izvori

- [1] R.Ghodssi, L. Pinyen: MEMS Materials and Processes Handbook, Springer, New York, 2011.

- [2] G. Jia, M.J. Madou, MEMS Fabrication, in M. Gad-el-Hak (Eds.), The MEMS Handbook, 2nd ed., Vol. 2: MEMS Design and Fabrication, CRC Press/Taylor and Francis, Boca Raton, FL, 2006.
- [3] M.J. Madou, Fundamentals of Microfabrication: The Science of Miniaturization, 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, FL, 2002.
- [4] A. Georgiev, D. Dimov, E. Spassova, J. Assa, P. Dineff, G. Danev, Chemical and Physical Properties of Polyimides: Biomedical and Engineering Applications, in M. Abadie (Ed.): High Performance Polymers - Polyimides Based – From Chemistry to Applications, In Tech ed., 2012.
- [5] A. Pashan, Sensor Applications of Polyimides, in: M. Abadie (Ed.), High Performance Polymers – Polyimides Based – From Chemistry to Applications, In Tech ed., 2012.
- [6] A. Boisen, S. Dohn, S.S. Keller, S. Schmid, M. Tenje, Cantilever like micromechanical sensors, *Reports on Progress in Physics* **74** (3) (2011) 036101.
- [7] J.H. Jou, P.T. Huang, Effect of thermal curing on the structures and properties of aromatic polyimide films, *Macromolecules* **24** (1991) 3796-3803
- [8] M. Kotera, B. Samyul, K. Araie, Y. Sugiooka, T. Nishino, S. Maji, M. Noda, K. Senoo, T. Koganezawa, I. Hirozawa, Microstructures of BPDA-PPD polyimide thin films with different thicknesses, *Polymer* **54** (2013) 2435-2439
- [9] H.C. Liou, P.S. Ho, R. Stiermann, Thickness dependence of the anisotropy in the thermal expansion of PMDA-ODA and BPDA-PDA thin films, *Thin Solid Films* **339** (1999) 68-73
- [10] D.J. Liaw, K.L. Wang, Y.C. Huang, K.R. Lee, J.Y. Lai, C.S. Ha, Advanced polyimide materials: Syntheses, physical properties and applications, *Progress in Polymer Science* **37** (2012) 907-974.

3. Polazne hipoteze

Rad na doktorskoj disertaciji je osmišljen pod pretpostavkom da tanki polimerni (poliimidni) filmovi mogu da se primene umesto silicijuma i/ili metala kao standardnih materijala kod MEMS mikrokonzola bimorfnog tipa.

S obzirom da je upotreba tankih polimernih filmova u velikoj ekspanziji poslednjih godina u raznim oblastima od mikrofluidike, mikroelektronike, MEMS uređaja (senzora i pokretača) do biomedicine, biotehnologije i aeronautike, javila se potreba da se detaljnije ispituju određena svojstva tankih filmova koja mogu značajno da utiču na performanse samih uređaja. Toplotne karakteristike, kao što su koeficijent toplotnog širenja, α , i temperatura prelaza u staklasto stanje, T_g , spadaju u red najvažnijih karakteristika kada je reč o primeni tankih polimernih filmova. Pretpostavka je da svojstva tankih polimernih filmova mogu značajno da se razlikuju od svojstava istih tih materijala čija je debljina veća od 50 μm . S obzirom da se kod MEMS mikrokonzola radi o debljinama koje su manje od 10 μm , neophodno je ispitati svojstva odgovarajućih tankih poliimidnih filmova.

MEMS mikrokonzole bimorfnog tipa se sastoje od dva tanka filma materijala koji imaju različite koeficijente toplotnog širenja. Ove strukture su veoma osetljive na toplotne promene. Osnovni princip pobude pod dejstvom toplote je da se oblik i zapremina materijala menjaju pri grejanju ili hlađenju. Mikrokonzole su učvršćene na jednoj strani i pri toplotnoj pobudi se savijaju.

Kod tankih poliimidnih filmova nije potrebno dovoditi energiju za pobudu strukture, jer početni otklon od ravni bimorfa već postoji. usled naprezanja. koja su zaostala u samom polimernom filmu. Potrebno je ispitati da li ova naprezanja u strukturi potiču od uslova pri kojima su

umrežavani tanki filmovi (temperature umrežavanja i temperaturnog profila zagrevanja tokom procesa umrežavanja), odnosno da li postoje korelacije između temperature umrežavanja i koeficijenta toplotnog širenja, α , kao i temperature prelaza u staklasto stanje, T_g . Temperaturni profil zagrevanja pri procesu umrežavanja takođe utiče na vrednosti toplotnih karakteristika tankih PI filmova.

Na osnovu detaljnog pregleda literature zaključeno je da nema preciznih podataka o toplotnim karakteristikama odabranih tankih PI filmova čija je debljina do 10 μm . Pod pretpostavkom da debljina filma ima uticaja na toplotne karakteristike neophodno je odrediti da li su vrednosti toplotnih karakteristika tankih PI filmova (2-10 μm) konstantne ili postoje korelacije između debljine filma i koeficijenta toplotnog širenja, α , kao i temperature prelaza u staklasto stanje, T_g . Ispitivanjem toplotnih karakteristika PI filmova očekuju se rezultati koji su neophodni za simulaciju, funkcionalizaciju i modelovanje nove generacije bimorfnih mikrosenzora i mikropokretača tipa metal-poliimid i poliimid-poliimid.

4. Naučne metode istraživanja

U prvom delu doktorske disertacije optimizovaće se postupak dobijanja tankih PI filmova spin tehnikom, na osnovu čega će se uraditi serije tankih poliimidnih (PI) filmova tačno definisanih debljina (2-10 μm) uz variranje temperature umrežavanja (275°C-375°C, sa korakom od 25°C), u dva temperaturna režima zagrevanja filma do krajnje temperature na kojoj se odvija umrežavanje (linearni i stepenasti profil). Debljina PI filmova će se odrediti pomoću uređaja Filmetrics F70. Korišćenjem optičkog mikroskopa će se određivati kvalitet umreženih filmova. Step imidizacije PI filmova će se pratiti FTIR spektroskopijom. Površina svih PI filmova će se snimiti pomoću AFM tehnike u kontaktnom režimu (2D i 3D). Toplotna svojstva tankih poliimidnih filmova (koeficijent toplotnog širenja, α , temperatura prelaza u staklasto stanje, T_g) će se odrediti korišćenjem termomehaničke analize (TMA). Temperatura prelaza u staklasto stanje, T_g , će biti određena i pomoću mikro-termo analize (m-TA), a rezultati će biti upoređeni sa rezultatima koji su dobijeni pomoću standardne TMA analize.

U drugom delu doktorske disertacije će se na osnovu rezultata ispitivanja toplotnih karakteristika tankih poliimidnih filmova optimizovati procesni parametri, i uradiće se simulacija, funkcionalizacija, modelovanje i fabrikacija nove generacije bimorfnih mikrosenzora i mikropokretača tipa zlato-poliimid (Au-PI) i poliimid-poliimid (PI-PI). Softverski programski paket Intellisuite & ThermoElectroMechanical (TEM) – modelovanje za mikro-elektromehaničke sisteme (MEMS) koji se zasniva na metodi konačnih elemenata će se koristiti za simulacije mikrokonzola sa ciljem da se dobije preliminarna procena novih materijala koji su predloženi za dizajn mikrokonzola. Optički mikroskop će se koristiti za određivanje početnog otklona mikrokonzola. Termičko testiranje bimorfnih mikrokonzola će se sastojati iz ispitivanja statičkog i dinamičkog odziva Au-PI i PI-PI struktura. Statički odziv mikrokonzola će se pratiti pomoću dve metode, a rezultati će biti upoređeni. Prva metoda se zasniva na praćenju pomeraja mikrokonzola pomoću laserskog zraka, pri čemu će biti urađene serije merenja rastojanja rasute svetlosti u temperaturnom intervalu od 25°C do 100°C. Druga metoda se zasniva na merenju pomeraja pomoću digitalne kamere koja je montirana na fotocev optičkog mikroskopa. Eksperimentalna aparatura, kao i procesiranje slika je kompjuterski kontrolisano pomoću LabView softverskog paketa. Postaviće se analitički model za statički i dinamički odziv bimorfnih konzola pri toplotnoj pobudi i rezultati dobijeni eksperimentalno će se uporediti sa rezultatima dobijenim iz analitičkog modela.

5. Očekivani naučni doprinos

Naučni doprinos ove doktorske disertacije ogleda se u:

- Proširivanju fundamentalnih znanja o polimernim materijalima,
- Sagledavanju uticaja debljine PI filma, temperature umrežavanja, kao i temperaturnog profila umrežavanja na toplotna svojstva tankih PI filmova (koeficijenta toplotnog širenja, α , i temperature prelaza u staklasto stanje, T_g) i uspostavljanju odgovarajućih korelacija,
- Uvođenju nove tehnike (m-TA) za određivanje temperature prelaza u staklasto stanje, T_g ,
- Utvrđivanju mogućnosti primene odabranih tankih PI filmova kao zamene za silicijum kod bimorfnih MEMS struktura,
- Dobijanju nove generacije bimorfnih mikrosenzora i mikropokretača tipa metal-poliimid i poliimid-poliimid,
- Postavljanju analitičkog modela za statički i dinamički odziv bimorfnih konzola pri toplotnoj pobudi.

6. Plan istraživanja i struktura rada

Predmet rada ove doktorske disertacije obuhvata ispitivanje toplotnih karakteristika tankih poliimidnih filmova sa ciljem da se ovi materijali primene kao gradivni delovi (kao jedan ili oba sloja) bimorfnih mikrokonzola i zamene silicijum i/ili metal u strukturi standardnog bimorfa.

Rad će obuhvatiti sledeća poglavlja: *Uvod*, *Teorijski deo*, *Eksperimentalni deo*, *Rezultate i diskusiju*, *Zaključak* i *Literaturu*.

Uvod će obuhvatiti cilj rada i predmet istraživanja, kao i naučni doprinos disertacije.

Teorijski deo će obuhvatiti detaljan pregled dosadašnjih istraživanja u oblasti mikro-elektromehaničkih sistema (MEMS), sa posebnim osvrtom na oblast mikrokonzola, poliimida i tankih filmova kroz analizu dostupne literature.

Eksperimentalni deo obuhvatiće dve celine. U prvom delu će biti obuhvaćen detaljan prikaz postupaka dobijanja i karakterisanja tankih PI filmova. U drugom delu će biti opisana oprema, uslovi i postupci za dobijanje i toplotno testiranje bimorfnih poliimidnih mikrokonzola.

Rezultati i diskusija će se sastojati iz dva dela, a obuhvataće prezentaciju i komentare koji su dobijeni iz eksperimentalnih rezultata. U prvom delu biće prikazani rezultati koji su dobijeni ispitivanjem toplotnih svojstava tankih poliimidnih filmova, dok će u drugom delu biti prikazani rezultati simulacije, modelovanja i ispitivanja svojstava bimorfnih poliimidnih mikrokonzola pod različitim temperaturnim uslovima.

U Zaključku će biti sumirani rezultati dobijeni u okviru istraživanja, sa osvrtom na njihovu inovativnost, važnost i moguću primenu.

Literatura će sadržati navode citirane u disertaciji, kao i radove proistekle istraživanjem u okviru ove doktorske disertacije.

7. Zaključak i predlog

Na osnovu iznetih činjenica Komisija smatra da mr Tatjana Đakov, dipl. inž. tehnologije ispunjava sve potrebne uslove za rad na temi doktorske disertacije koju je predložila pod nazivom „Poliimidne konzole za primenu u mikro-elektromehaničkim sistemima (MEMS)“.

Komisija smatra da je predložena tema naučno zasnovana i veoma aktuelna, kao i da će rezultati koji se očekuju predstavljati značajan doprinos razvoju oblasti polimernog inženjerstva, mikro-elektro-mehaničkih sistema (MEMS) i mikro/nano tehnologija i predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta da je prihvati.

Radi uspešne realizacije složenih multidisciplinarnih istraživanja za mentore ove doktorske disertacije se predlažu dr Ivanka Popović, redovni profesor i dr Ljubinka Rajaković, redovni profesor, obe sa Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu. Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Hemija i hemijska tehnologija za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova.

U Beogradu, 12.10.2015.

ČLANOVI KOMISIJE

dr Ivanka Popović, redovni profesor
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

dr Ljubinka Rajaković, redovni profesor
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

dr Vesna Radojević, redovni profesor
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

dr Melina Kalagassidis Krušić, vanredni profesor
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

dr Vesna Jović, naučni savetnik Univerziteta u
Beogradu, Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju