

ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ
35/2
(Број захтева)

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

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

29.01.2016.
(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:

„Добијање цинк-оксидних варистора са субмикронском величином зрна и изразито високим пољем пробоја“

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

МАРИНА (Никица) ВУКОВИЋ, дипл. инж.

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

3. Година дипломирања: 2009.

4. Назив магистарске тезе кандидата: /

Студент је уписан на докторске академске студије шк. 2010/2011. године.

5. Назив факултета на коме је магистарска теза одбрањена: /

6. Година одбране магистарске тезе: /

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

на седници одржаној **28.01.2016. године** размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

ДП

На основу чл. 30. став 3. Закона о високом образовању, чл. 76. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 29. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 28.01.2016. 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 **МАРИНЕ ВУКОВИЋ**, дипл. инж., под називом: „**Добијање цинк-оксидних варистора са субмикронском величином зрна и изразито високим пољем пробоја**“

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

За менторе се одређују:

1. **Др Дејан Полети**, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет
2. **Др Горан Бранковић**, научни саветник Универзитета у Београду, Институт за мултидисциплинарна истраживања

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 Марину Вуковић, дипл. инж. тех.

Име и презиме ментора: Др Дејан Полети

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. A.Dapčević, **D.Poleti**, Lj.Karanović, J.Rogan, G.Dražić, „Coexistence of several sillenite-like phases in pseudo-binary and pseudo-ternary systems based on Bi_2O_3 “, *Solid State Sciences*, **25**, 93-102 (2013). IF 1,839. ISSN 1293-2558.
2. B.Simović, A.Golubović, I.Veljković, **D.Poleti**, J.Zdravković, D.Mijin, A.Bjelajac, „Hydro- and solvothermally prepared ZnO and its catalytic effect on photodegradation of Reactive Orange 16 dye“, *J. Serb. Chem. Soc.*, **79**(11), 1433-1443 (2014). IF 0,871. ISSN 0352-5139.
3. J.Zdravković, B.Simović, A.Golubović, **D.Poleti**, I.Veljković, M.Šćepanović, G.Branković, „Comparative study of CeO_2 nanopowders obtained by the hydrothermal method from various precursors“, *Ceramics International*, **41**, 1970-1971 (2015). IF 2,605. ISSN 0272-8842.
4. A.Dapčević, **D.Poleti**, J.Rogan, A.Radojković, M.Radović, G.Branković, „A new electrolyte based on Tm^{3+} -doped $\delta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ -type phase with enhanced conductivity“, *Solid State Ionics*, **280**, 18-23 (2015). IF 2,561. ISSN 0167-2738.
5. Lj.Karanović, S.Šutović, **D.Poleti**, T.Đorđević, „Four organo-templated structures with DFT-type topology: variation in symmetry of similar open framework structures“, *Microporous and Mesoporous Materials*, **220**, 198-214 (2016). IF 3,453. ISSN 1387-1811.

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 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: 18.01.2016.

М.П.

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Марину Вуковић

Име и презиме ментора: др Горан Бранковић

Звање: Научни саветник

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Ćirković, J., Vojisavljević, K., Nikolić, N., Vulić, P., Branković, Z., Srećković, T., **Branković, G.** "Dielectric and ferroelectric properties of BST ceramics obtained by a hydrothermally assisted complex polymerization method", *Ceramics International*, 41: (2015) pp. 11306–11313. IF=2,605 ; ISSN: 0272-8842
2. Trtica, M., Limpouch, J., Gavrilov, P., Gemini, L., Panjan, P., Stasic, J., Milovanovic, D., **Brankovic, G.** "Surface modification of a-CN/TiAlN double layer coating on ASP 30 steel induced by femtosecond laser with 1013-1014 W/cm² intensity in vacuum", *Laser and Particle Beams*, 33 (3), (2015) pp. 551-559. IF=1,295; ISSN: 0263-0346
3. Dapčević, A., Poleti, D., Rogan, J., Radojković, A., Radović, M., **Branković, G.** "A new electrolyte based on Tm³⁺-doped δ -Bi₂O₃-type phase with enhanced conductivity", *Solid State Ionics*, 280, (2015) pp. 18-23. IF=2,561; ISSN: 0167-2738
4. Pršić, S., Savić, S.M., Branković, Z., Vrtnik, S., Dapčević, A., **Branković, G.** "Mechanochemically assisted solid-state and citric acid complex syntheses of Cu-doped sodium cobaltite ceramics", *Journal of Alloys and Compounds*, 640, (2015) art. no. 33833, pp. 480-487. IF=2,999 ; ISSN: 0925-8388
5. Radojković, A., Savić, S.M., Jović, N., Ćirković, J., Despotović, Ž., Ribić, A., Branković, Z., **Branković, G.** "Structural and electrical properties of BaCe_{0.9}Eu_{0.1}O_{2.95} electrolyte for IT-SOFCs", *Electrochimica Acta*, 161, (2015)pp. 153-158. IF=4,504 ; ISSN: 0013-4686

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 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: 27.01.2016.

М.П.

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**

Предмет: Подобност теме и кандидата Марине Вуковић за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 35/489 од 30. октобра 2015. године именовани смо у Комисију за оцену подобности теме и кандидата Марине Вуковић, дипл. инж. технологије, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Добијање цинк-оксидних варистора са субмикронском величином зрна и изразито високим пољем пробоја“. На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Марина Вуковић рођена је 1. јула 1983. године у Краљеву. Основну и средњу школу завршила је у Трстенику. Уписала се на Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду 2003. године, смер Биотехнологија и биохемијско инжењерство. Дипломирала је у јануару 2009. године са просечном оценом 8,64 и оценом 10 на дипломском раду са темом „Анализа садржаја одабраних тешких метала у чесменској води за пиће“.

Школске 2010/2011. године уписала је докторске студије на Технолошко-металуршком факултету, на студијском програму Инжењерство материјала. Од јануара 2011. године запослена је у Институту за мултидисциплинарна истраживања. У звање истраживач-приправник изабрана је у јануару 2011. године, а у звање истраживач-сарадник у децембру 2012. године.

Члан је Друштва за керамичке материјале Србије. Активно се служи енглеским језиком и поседује основно знање француског језика.

1.2. Стечено научно-истраживачко искуство

Марина Вуковић је од 2011. године до данас ангажована на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја (број пројекта III 45007) под називом „0-3Д наноструктуре за примену у електроници и обновљивим изворима енергије: синтеза, карактеризација, процесирање“. Учесник је и билатералног пројекта између Републике Србије и Републике Словеније са насловом „Развој оксидних термоелектричних материјала за коришћење отпадне топлоте и претварање у електричну енергију“ за 2014/2015. годину. У оквиру докторских студија положила је све планом предвиђене испите, као и завршни испит под називом „Структурне карактеристике и својства Bi_2O_3 са аспекта хемије чврстог стања“, са следећим оценама:

Предмет		Оцена	ЕСПБ
1	Математичка обрада експерименталних података	9	5
2	Наука о материјалима и инжењерство материјала	10	6
3	Термодинамика чврстог стања	10	5
4	Нискотемпературни керамички процеси	10	4
5	Електродни материјали	10	5
6	Одабрана поглавља инструменталне анализе	10	7
7	Хемијска кинетика	9	5
8	Теоријски основи керамике и стакла	10	5
9	Фазне равнотеже у вишекомпонентним системима	8	4
10	Физика материјала	10	4
11	Завршни испит	10	30
12	Енглески језик	10	
Средња оцена/Укупно бодова		9,64	80

Марина Вуковић је коаутор три рада објављена у врхунском међународном часопису (M21), једног рада објављеног у међународном часопису верификованом посебном одлуком Министарства (M24), шест радова саопштених на скупу међународног значаја штампаних у изводу (M34) и једног рада саопштеног на скупу националног значаја (M64).

Радови у врхунском међународном часопису (M21)

1. Branković G, Branković Z, Sequinel T, Žunić M, **Vuković M**, Tasić N, Marinković B A, Cilence M, Varela J A, Longo E, „High voltage electrophoretic deposition of preferentially oriented films for multiferroic YMn_2O_5 nanopowders“ *Ceramics International* 39 (2013) 2065–2068, IF: 2.086, ISSN: 0272-8842
2. **Vuković M**, Branković Z, Poleti D, Rečnik A, Branković G, „Novel simple methods for the synthesis of single-phase valentinite Sb_2O_3 “ *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 72 (2014) 527–533, IF:1.532, ISSN: 0928-0707
3. **Vuković M**, Branković G, Marinković Stanojević Z, Poleti D, Branković Z „Ultra-high breakdown field varistors prepared from individually synthesized nanoprecursors“ *Journal of the European Ceramic Society* 35 (2015) 1807–1814, IF: 2.947, ISSN: 0955-2219

Рад објављен у међународном часопису верификованом посебном одлуком (M24)

1. Aleksić O S, Djurić Z Z, Nikolić M V, Tasić N, **Vuković M**, Marinković Stanojević Z, Nikolić N, Nikolić P M, „Nanostructured $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ thick films prepared by screen printing“ *Processing and Application of Ceramics* 7 (2013) 129–134, ISSN: 1820-6131

Радови саопштени на скупу међународног значаја штампани у изводу (M34)

1. **Vuković M**, Branković Z, Branković G, „Ultrasonic pretreatment of nanoprecursors – influence on electrical characteristics of high voltage ZnO varistors“ *Programme and the Book of Abstracts / 3rd Conference of the Serbian Society for Ceramic Materials 3CSCS-2015*, June 15-17, 2015, Belgrade, Serbia, p. 108
2. **Vuković M**, Branković Z, Poleti D, Branković G, „High voltage varistors sintered by simple conventional method“ *Program and the Book of Abstracts / Electroceramics XIV Conference* June 16-20, 2014, Bucharest, Romania, p. 36

3. **Vuković M**, Branković Z, Branković G, „Low temperature sintering of high voltage ZnO varistors“ *Proceedings of the Conference for Young Scientists “The Tenth Students’ Meeting, SM-2013” and “The Third ESR Workshop, COST MP0904”* November 6-9, 2013, Novi Sad, Serbia, p. 65
4. **Vuković M**, Branković Z, Poleti D, Rečnik A, Branković G, „Solid-state synthesis and crystal growth of pure valentinite antimony(III) oxide“ *Program and the Book of Abstracts / 2nd Conference of the Serbian Ceramic Society 2CSCS-2013*, June 5-7, 2013, Belgrade, Serbia, p. 67
5. Aleksić O, Đurić Z, Nikolić M V, Tasić N, **Vuković M**, Marinković Stanojević Z, Nikolić N, Nikolić P, „Nanostructured Fe₂O₃/TiO₂ thick films“ *Program and the Book of Abstracts / 2nd Conference of the Serbian Ceramic Society 2CSCS-2013*, June 5-7, 2013, Belgrade, Serbia, p. 73
6. **Vuković M**, Žunić M, Branković Z, Branković G, „Fine grained varistors prepared from ZnO nanoparticles“ *Proceedings of the Conference for Young Scientists “The Ninth Students’ Meeting, SM-2011” and “The Second ESR Workshop, COST MP0904”* November 16-18, 2011, Novi Sad, Serbia, p. 54

Рад саопштен на скупу националног значаја штампан у изводу (M64)

1. **Vuković M**, Žunić M, Branković G, Branković Z, „Varistors obtained from nanosized ZnO precursor for high frequency applications“ *Програм и књига апстраката Прве Конференције Друштва за керамичке материјале Србије* 17-18 март 2011, Београд, Србија, стр. 70

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

У свом досадашњем раду кандидат Марина Вуковић, дипл. инж. технологије, постигла је значајне резултате и показала висок степен самосталности и способности за научно-истраживачки рад. Коаутор је 4 рада објављена у међународним часописима (3 рада M21 и 1 рад M24), док је 7 радова саопштено на скуповима међународног и националног значаја. Тема докторске дисертације припада области из које је до сада објавила 2 рада у врхунским научним часописима међународног значаја. На основу изложеног Комисија сматра да је Марина Вуковић квалитетом остварених научних резултата, као и својом компетентношћу и ангажовањем, испунила све услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања ове докторске дисертације јесу цинк-оксидни варистори са изразито високим пољем пробоја. Већ неколико деценија цинк-оксидни варистори су ефикасна и комерцијално доступна заштита делова електричних и електронских кола од пренапона. Према својој функцији и електричним карактеристикама сврставају се у високонапонске варисторе, са уобичајеним пољем пробоја до неколико стотина V mm⁻¹. У састав ових варистора улазе цинк-оксид допиран неким од прелазних метала попут кобалта, мангана, никла или хрома, и адитиви као што су Bi₂O₃ и Sb₂O₃. Након синтеровања добија се микроструктура дефинисана цинк-оксидним зрнима, интергрануларном фазом богатом бизмутом и зрнима спинела, која настају у току синтеровања [1,2]. Овако дефинисана микроструктура уско је повезана са електричним карактеристикама. Поље пробоја варистора формира се у односу на број потенцијалних баријера између контактних електрода. Потенцијалне баријере се стварају на границама зрна, захваљујући разлици у Фермијевим

нивоима између самог зрна, изграђеног од п-типа полупроводника, и границе зрна која је р-типа. [3,4]. Пошто је поље пробоја по правилу нормирано у односу на јединичну дужину варистора, један од начина да се утиче на овај електрични параметар јесте да се мења величина цинк-оксидних зрна. То се може постићи директно, тј. променом температуре синтеровања, где пораст температуре доводи до раста зрна и обратно, или индиректно, тј. увођењем специфичних допаната у цинк-оксидну кристалну решетку. Осим величине зрна, битан фактор за електричну ефикасност јесте и удео електрично активних граница зрна. Наиме, формирање потенцијалне баријере веома зависи од природе интергрануларне фазе, одакле проистиче да нису све границе зрна електрично активне [5-7].

Данашње технологије са собом носе и потребе за новим побољшаним материјалима и перформансама. Захтев за повећањем поља пробоја варистора проистекао је најпре из чињенице да робусни и застарели силицијум-карбидних варистори, који су још увек у употреби код заштите високонапонских система за пренос електричне енергије, не могу да задовоље растуће захтеве у погледу степена заштите [8,9]. Осим тога, модерна електроника попут таблет рачунара и мобилних телефона има тенденцију смањења димензија, што за собом повлачи и неопходност минијатуризације свих компонената, па и варистора [2,10]. У исто време повећавају се и могућности за достизањем нових захтева, нарочито од када је стављен акценат на употребу наноматеријала.

Добијање варистора полазећи од засебно синтетисаних прекурсора већ је документовано у литератури [11-14]. Истовремено је показано да предтретман попут механичке активације доводи до повећање поља пробоја [14]. Такође, употреба прекурсора нанометарских димензија једна је од опробаних метода за ове сврхе. Смањење величине честица истовремено значи и повећање њихове активне површине и бољи међусобни контакт. Повећана активност нанопрекурсора користи се у циљу снижавања температуре синтеровања, што за резултат даје и смањену величину зрна [15,16]. Проблем оваквог приступа јесте што се због ниже температуре често не могу достићи довољне густине добијене керамике. С друге стране, савремена опрема попут микроталасних пећи и спарк плазма уређаја за синтеровање омогућава драстично скраћење термичког третмана, што такође доприноси смањењу величине зрна, као и добијању керамике велике густине [17-22]. Међутим, примена ових уређаја у масовној серијској производњи је исувише скупа и зато они нису нашли ширу примену у производњи варистора.

Научни циљеви докторске дисертације

Циљеви предложене дисертације обухватају:

- синтезе прекурсора за цинк-оксидне варисторе са што мањом величином зрна;
- прављење варисторске смеше од појединачно синтетисаних прекурсора, са оптималним уделом адитива који би омогућили велики удео електрично активних граница зрна;
- синтеза варисторске смеше са адитивима додатим путем раствора одговарајућих соли;
- анализа утицаја ултразвучне и механичке активације на величину зрна варистора добијених од смеше са адитивима додатим путем раствора соли;
- оптимизација услова синтеровања варистора коришћењем конвенционалне методе синтеровања, са тежњом ка што нижој температури и што краћем трајању термичког третмана, ради смањења величине зрна и повећања поља пробоја;
- поређење микроструктурних и електричних карактеристика добијених варистора са постојећом литературом.

Релевантни библиографски извори:

1. Olsson E, Falk L K L, Dunlop G L, „The microstructure of a ZnO varistor material“ *Journal of Materials Science* 20 (1985) 4091–4098

2. Pillai S C, Kelly J M, Ramesh R, McCormac D E, „Advances in the synthesis of ZnO nanomaterials for varistor devices“ *Journal of Materials Chemistry C* 1 (2013) 3268–3281
3. Pike G E, „Semiconducting polycrystalline ceramics“ *Journal of Materials Science and Technology* 11 (1994) 731–754
4. Clarke D R, „Varistor Ceramics“ *Journal of the American Ceramic Society* 82 (1999) 485–502
5. Peiteado M, Fernández J F, Caballero A C, „Varistors based in the ZnO–Bi₂O₃ system: Microstructure control and properties“ *Journal of the European Ceramic Society* 27 (2007) 3867–3872
6. Olsson E, Dunlop G L, „Characterization of individual interfacial barriers in a ZnO varistor material“ *Journal of Applied Physics* 66 (1989) 3666–3675
7. Hirose S, Nishita K, Niimi H, „Influence of distribution of additives on electrical potential barrier at grain boundaries in ZnO-based multilayered chip varistor“ *Journal of Applied Physics* 100 (2006) 083706
8. Robertson J, „Use of silicone carbide varistors in the prevention of overvoltages in electrical T&D protection systems“ *Developments in Power System Protection (DPSP 2010). Managing in Change, 10th IET International Conference* (2010) 1–5
9. Standler B R, „Protection of Electronic Circuits from Overvoltages“ 1st ed. John Wiley & Sons (1989)
10. Pillai S C, Kelly J M, McCormac D E, Ramesh R, „High performance ZnO varistors prepared from nanocrystalline precursors for miniaturised electronic devices“ *Journal of Materials Chemistry* 18 (2008) 3926–3932
11. Branković Z, Milošević O, Poleti D, Karanović Lj, Uskoković D, „ZnO Varistors Prepared by Direct Mixing of Constituent Phases“ *Materials Transactions* 41 (2000) 1226–1231
12. Žunić M, Branković Z, Branković G, „Electrical Properties of ZnO Varistors Prepared by Direct Mixing of Constituent Phases“ *Science of Sintering* 38 (2006) 161–167
13. Branković Z, Branković G, Bernik S, Žunić M, „ZnO varistors with reduced amount of additives prepared by direct mixing of constituent phases“ *Journal of the European Ceramic Society* 27 (2007) 1101–1104
14. Bernik S, Branković G, Rustja S, Žunić M, Podlogar M, Branković Z, „Microstructural and compositional aspects of ZnO-based varistor ceramics prepared by direct mixing of the constituent phases and high-energy milling“ *Ceramics International* 34 (2008) 1495–1502
15. Durán P, Tartaj J, Moure C, „Fully Dense, Fine-Grained, Doped Zinc Oxide Varistors with Improved Nonlinear Properties by Thermal Processing Optimization“ *Journal of the American Ceramic Society* 86 (2003) 1326–1329
16. Shahraki M M, Shojaei S A, Sani M A F, Nemati A, Safaee I, „Two-step sintering of ZnO varistors“ *Solid State Ionics* 190 (2011) 99–105
17. Subasri R, Asha M, Hembram K, Rao G V N, Rao T N, „Microwave sintering of doped nanocrystalline ZnO and characterization for varistor applications“ *Materials Chemistry and Physics* 115 (2009) 677–684
18. Anas S, Metz R, Sanoj M A, Mangalaraja R V, Ananthakumar S, „Sintering of surfactant modified ZnO–Bi₂O₃ based varistor nanopowders“ *Ceramics International* 36 (2010) 2351–2358
19. Badev A, Marinell S, Heuguet R, Savary E, Agrawal D, „Sintering behavior and non-linear properties of ZnO varistors processed in microwave electric and magnetic fields at 2.45 GHz“ *Acta Materialia* 61 (2013) 7849–7858
20. Gao L, Li Q, Luan W, „Preparation and Electric Properties of Dense Nanocrystalline Zinc Oxide Ceramics“ *Journal of the American Ceramic Society* (2002) 1016–1018
21. Saint Macary L, Kahn M L, Estournès C, Fau P, Trémouilles D, Bafleur M, Renaud P, Chaudret B, „Size Effect on Properties of Varistors Made From Zinc Oxide Nanoparticles Through Low Temperature Spark Plasma Sintering“ *Advanced Functional Materials* 19 (2009) 1775–1783

22. Beyneta Y, Izoulet A, Guillemet-Fritsch S, Chevallier G, Bley V, Pérel T, Malpiece F, Morel J, Estournès C, „ZnO-based varistors prepared by spark plasma sintering“ *Journal of the European Ceramic Society* 35 (2015) 1199–1208

3. Полазне хипотезе

Познато је да мања величина честица прекурсора пружа могућност за снижавање температуре синтеровања керамике, као и да варистори могу бити направљени од појединачно синтетисаних прекурсора. Зато је добра хомогенизација варисторске смеше важан предуслов за хомогену расподелу фаза у комплексном вишефазном систему какав је цинк-оксидни варистор.

Један од успешних начина за добијање хомогене прекурсорске смеше јесте додавање адитива путем раствора соли, али до сада није испитиван утицај накнадне механичке активације на микроструктуру и електричне особине таквих варистора. Такође, није коришћена ни ултразвучна активација, а нису спроведена ни истраживања о синергијском дејству више метода активације. Током израде ове дисертације били би испитани сви ови поступци, са очекиваним резултатом у виду повећања поља пробоја. Добијени резултати биће упоређени са подацима из литературе, нарочито онима новијег датума.

4. Научне методе истраживања

Синтетисани прекурсор и синтеровани варистори биће анализирани различитим методама карактеризације. Добијени прекурсор и најпре ће бити окарактерисани рендгенском дифракцијом на поликристалним узорцима (XRD) у циљу идентификације и одређивања фазног састава. Морфолошке карактеристике биће утврђене скенирајућом и трансмисионом електронском микроскопијом (SEM, TEM). Оптички активне компоненте биће подвргнуте спектроскопској анализи у ултраљубичастом и видљивом делу спектра (UV/Vis). Утицај ултразвучне и механичке активације на прекурсорске смеше прахова биће анализиран одређивањем специфичне површине BET методом. Синтеровани варистори биће такође испитани рендгенском дифракцијом, а микроструктурне карактеристике скенирајућом електронском микроскопијом. На основу струјно-напонске карактеристике одредиће се основне електричне карактеристике као што су: поље пробоја, коефицијент нелинеарности и струја цурења.

5. Очекивани научни допринос

Очекивани научни допринос ове докторске дисертације огледа се у:

- јасном дефинисању и представљању могућности за решавањем проблема који се тичу добијања цинк-оксидних варистора са изразито високим пољем пробоја;
- испитивању утицаја начина припреме прекурсора на својства синтероване керамике;
- проширењу знања о значају удела адитива у варистору, узимајући у обзир очекивану крајњу величину зрна;
- развоју и оптимизацији нових метода за хомогенизацију и активацију прекурсорских варисторских смеша;
- достизању добрих резултата уједињених са економичношћу процесирања, као важним параметром за индустријску производњу, и широм применом цинк-оксидних варистора са изразито високим пољем пробоја.

6. План истраживања и структура рада

6.1. План истраживања

Према плану истраживања, најпре треба урадити синтезу и детаљну карактеризацију прекурсора за цинк-оксидне варисторе, и то: цинк-оксида допираног кобалтом и манганом, бизмут(III)-оксида и антимон(III)-оксида.

У првом делу истраживања биће припремљене варисторске смеше од појединачно синтетисаних прекурсора. Следећи корак у процесирању биће ултразвучна хомогенизација суспензије прахова варисторске смеше. Спровешће се оптимизација почетног удела компонената и биће утврђена најпогоднија температура синтеровања, при чему ће се пратити промене у крајњем фазном саставу, микроструктури и електричним карактеристикама добијених варистора.

Други део истраживања обухватиће припрему варисторске смеше са већ оптимизованим саставом, полазећи од претходно синтетисаног цинк-оксида, док ће бизмут(III)-оксид и антимон(III)-оксид бити додати помоћу раствора бизмут(III)-нитрата и антимон(III)-ацетата, уз накнадну калцинацију. Оваква смеша биће подвргнута ултразвучној или механичкој активацији, као и комбинацији ове две врсте активација. Биће праћен утицај планираних поступака активације, како на прекурсоре, тако и на варисторе синтероване на различитим температурама.

6.2. Структура рада

Очекује се да ће докторска дисертација обухватити следећа поглавља: *Увод*, *Експериментални део*, *Резултате и дискусију*, *Закључак* и *Литературу*.

У поглављу *Увод* биће размотрени актуелни трендови, предмет и циљ истраживања, као и очекивани допринос дисертације.

Теоријски део ће обухватити теоријске основе функционисања варистора и материјале од којих се они праве. Посебан нагласак биће на цинк-оксидним варисторима који имају изразито високо поље пробоја, на методама добијања одговарајућих прекурсора и начинима процесирања варистора.

У *Експерименталном делу* биће наведени:

- материјали и хемикалије који ће се користити у раду;
- поступци синтезе прекурсора;
- начини добијања варисторских смеша од прекурсора;
- услови ултразвучне и механичке активације;
- начини процесирања варистора;
- методе карактеризације прекурсора и варистора.

У поглављу *Резултати и дискусија* биће детаљно анализирани резултати експерименталног рада, коментарисани и упоређени са литературом.

Закључак ће сумирати целокупно истраживање уз осврт на иновативне методе и приступе проблему, као и предности које се тичу потенцијалне примене.

У *Литератури* ће бити пописани сви радови и литературни извори цитирани у дисертацији, као и радови проистекли из спроведених истраживања.

7. Закључак и предлог

На основу изнетих података о досадашњем раду и постигнутим резултатима може се закључити да кандидат Марина Вуковић, дипл. инж. технологије, испуњава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације. Такође, на основу свега што је речено, Комисија сматра да је тема предложене докторске дисертације Марине Вуковић под

називом „Добијање цинк-оксидних варистора са субмикронском величином зрна и изразито високим пољем пробоја“, научно заснована и предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета да је прихвати. За менторе се предлажу др Дејан Полети, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, и др Горан Бранковић, научни саветник Института за мултидисциплинарна истраживања Универзитета у Београду. Истраживања у оквиру ове дисертације припадају научној области Инжењерство материјала, за коју је матична установа Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду.

У Београду, 30. новембар 2015.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Дејан Полети, редовни професор, Универзитет у Београду,
Технолошко-металуршки факултет

Др Горан Бранковић, научни саветник, Универзитет у Београду,
Институт за мултидисциплинарна истраживања

Др Зорица Бранковић, научни саветник, Универзитет у Београду,
Институт за мултидисциплинарна истраживања

Др Александра Дапчевић, доцент, Универзитет у Београду,
Технолошко-металуршки факултет