

## **НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Марине Вуковић

Одлуком бр. 35/519 од 24.11.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Марине Вуковић под насловом

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

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала, као и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

### **РЕФЕРАТ**

#### **1. УВОД**

##### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Марина Вуковић је 05. 10. 2015. Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета предложила тему за израду докторске дисертације под називом „Добијање цинк-оксидних варистора са субмикронском величином зрна и изразито високим пољем пробоја“. На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, од 22. 10. 2016. одлуком бр. 35/489, именована је Комисија за оцену подобности теме „Добијање цинк-оксидних варистора са субмикронском величином зрна и изразито високим пољем пробоја“ и кандидата за израду докторске дисертације.

На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета одржаној 28. 01. 2016. одлуком бр. 35/2, усвојен је реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације, а за менторе су именовани др Дејан Полети, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, и др Горан Бранковић, научни саветник Института за мултидисциплинарна истраживања Универзитета у Београду.

Одлуком бр. 61206-527/2-16 од 08. 02. 2016. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме кандидата Марине Вуковић под називом „Добијање цинк-оксидних варистора са субмикронском величином зрна и изразито високим пољем пробоја“.

На захтев Марине Вуковић, 25. 08. 2016. одобрено је продужење рока завршетка докторских студија за још два семестра – до 30. 09. 2017. године.

##### 1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство и ужој научној области Инжењерство материјала, за коју је

матична установа Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Именовани ментори, др Дејан Полети и др Горан Бранковић, су на основу досадашњих објављених радова и искустава компетентни да руководе израдом ове докторске дисертације.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

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 и стекла звање дипломирани инжењер технологије.

Школске 2010/2011. године уписала је докторске студије на Технолошко-металуршком факултету, на студијском програму Инжењерство материјала. У оквиру докторских студија положила је све планом предвиђене испите. 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.

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 и процесирање“. Била је учесник билатералног пројекта између Републике Србије и Републике Словеније под називом „Развој оксидних термоелектричних материјала за коришћење отпадне топлоте и претварање у електричну енергију“ за период 2014–2015. године. Учесник је и билатералних пројеката за период 2016–2017. године са Републиком Словенијом, под називом „0Д до 3Д наноструктуре ZnO за примену у оптици, електроници и енергетици“, као и са Републиком Хрватском, под називом „Магнето-електрична својства наноструктурираних мултифероика на бази оксида прелазних метала“. Аутор је и 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).

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Марине Вуковић под називом „Добијање цинк-оксидних варистора са субмикронском величином зрна и изразито високим пољем пробоја“ написана је на 128 страна, у оквиру којих се налази 5 поглавља, 65 слика, 11 табела и 189 литературних навода. Докторска дисертација садржи поглавља: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У овој докторској дисертацији кандидат Марина Вуковић радила је на повећању поља пробоја цинк-оксидних варистора. У том циљу, коришћени су нанодимензионални прекурсори, уз увођење вишеструких иновативних елемената у фази процесирања варистора. Након синтеровања варисторима су одређени фазни састави, густине, микроструктурна и електрична својства. Добијени резултати коментарисани су у зависности од уведених експерименталних иновација.

У Уводу је представљен принцип функционисања варистора, а наведени су и материјали од којих се могу производити, са детаљнијим освртом на цинк-оксидне варисторе и то оне са изразито високим пољем пробоја, што је била и тема ове докторске дисертације. Указано је на потребу за оваквом врстом варистора, као и могући приступи за постизање жељених својстава. На крају је изложен предмет рада дисертације.

Теоријски део се састоји из три потпоглавља. У првом је објашњен механизам функционисања варистора и предочено је порекло специфичне струјно-напонске карактеристике. Други обухвата преглед материјала који се могу користити за прављење варистора, при чему су изложене особености варистора у зависности од врсте материјала и начина израде. Треће потпоглавље посвећено је цинк-оксидним варисторима са значајно високим пољем пробоја. Најпре су наведене и објашњене методе синтезе нанодимензионалних варисторских прекурсора, које су доступне у новијој литератури. Затим су представљени савремени начини синтеровања који су до сада коришћени у циљу повећања поља пробоја цинк-оксидних варистора, при чему је указано на предности и мане ових начина процесирања.

Експериментални део састоји се из шест одељака. Прва три обухватају описе синтеза појединачних нанодимензионалних прекурсора: цинк-оксида допираног кобалтом и манганом, бизмут(III)-оксида и антимон(III)-оксида. У четвртном одељку описани су начини добијања варисторских смеша, како од појединачних прекурсора, тако и методом додавања адитива у претходно синтетисани цинк-оксид допиран кобалтом и манганом, преко раствора одговарајућих соли. Представљене су и методе активације варисторских смеша, и то ултразвучна и механичка. Пети одељак односи се на начин синтеровања варистора. Шести покрива методе карактеризације синтетисаних прекурсора и добијених варистора.

Поглавље Резултати и дискусија има два потпоглавља, која уједно представљају и правце за добијање високонапонских варистора. Прво потпоглавље посвећено је варисторима од појединачно синтетисаних прекурсора. Овде су представљени резултати анализе прекурсора и одговарајућих варистора, синтерованих током поступака оптимизације удела адитива и температуре синтеровања. Друго потпоглавље обухвата резултате и запажања везана за прекурсоре и варисторе добијене додавањем адитива из раствора одговарајућих соли. Описани су поступци ултразвучне и механичке активације варисторских смеша и објашњен је њихов утицај на карактеристике овако добијених варистора.

У четвртном поглављу дати су Закључци везани за ову докторску дисертацију. Истакнути су најважнији доприноси рада и указано је на предности примењених иновативних експерименталних техника, које су допринеле постизању изванредних резултата у циљу повећања поља пробоја цинк-оксидних варистора.

У поглављу Литература набројани су литературни наводи који су коришћени приликом израде ове дисертације.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### **3.1. Савременост и оригиналност**

Цинк-оксидни варистори са изразито високим пољем пробоја неопходни су у модерним технологијама, где је уз функционалност јако важно добити електронску компоненту минијатурних димензија. Димензије је управо могуће смањити повећањем поља пробоја варистора. Осим тога, потреба за варисторима са јако високим пољем пробоја постоји и на местима са високим радним напоном, попут система за дистрибуцију електричне енергије, где су сада у употреби застарели и мањкави силицијум-карбидни варистори. Оригиналност ове докторске дисертације огледа се у многим аспектима, попут

нетипичног удела компонената у почетном саставу варисторских смеша прахова, значајном снижавању температуре синтеровања, применом нове ефективне ултразвучне активације прекурсорских прахова, употребом до сада некоришћеног дисперзионог средства у процесу механичке активације (амонијум-карбоната), као и комбиновањем ова два типа активације.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације кандидат Марина Вуковић извршила је преглед стручне и научне литературе везане за све аспекте проблематике процесирања варистора. Већина прегледане литературе објављена је у водећим светским часописима, а обухвата радове везане за својства варисторске керамике, синтезе нанопрекурсора, понашање трокомпонентног система  $ZnO-Bi_2O_3-Sb_2O_3$  током термичког третмана и начине за унапређење електричних карактеристика цинк-оксидних варистора. У склопу литературних навода налазе се и референце кандидата Марине Вуковић, које су проистекле из рада на овој дисертацији, објављене у врхунским међународним часописима. У дисертацији је наведено укупно 189 референци.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру ове докторске дисертације коришћене су следеће методе за процесирање и карактеризацију варистора:

- Пиролитичка синтеза цинк-оксида допираног кобалтом и манганом.
- Синтеза бизмут(III)-оксида „самораспростирућом реакцијом на собној температури“.
- Синтеза антимоно(III)-оксида „самораспростирућом реакцијом на собној температури“ у различитим реакционим медијумима, као и методом редукције у етилен-гликолу.
- Прављење варисторских смеша ултразвучном хомогенизацијом појединачно синтетисаних прекурсора, као и методом додавања адитива преко раствора одговарајућих соли.
- Ултразвучна активација варисторских смеша прахова.
- Механичка активација варисторских смеша прахова у планетарном млину.
- „Шок-синтеровање“ варистора смештањем узорака у већ загрејану коморну пећ.
- Фазна идентификација прекурсора и варистора методом рендгенске дифракционе анализе на уређајима *Rigaku® RINT 2000* и *Ultima IV Rigaku*.
- Ширина забрањене зоне прахова спектроскопијом у ултраљубичастој, видљивој и блиској инфрацрвеној светлости на *Shimadzu UV-2600* спектрофотометру са *ISR2600Plus* интеграционом сфером.
- Одређивање активне површине прахова BET анализом коришћењем аутоматског адсорпционог инструмента *Thermo Sorptomatic 1990*.
- Морфолошке карактеристике прахова и микроструктурна својства варистора утврђена су скенирајућом електронском микроскопијом (SEM, модел уређаја *TESCAN Vega 3 SB*, и FESEM, модел *MIRA3 TESCAN*) и методом трансмисионе електронске микроскопије (TEM, модел уређаја *JEM-2100 UHR JEOL*).
- Струјно-напонске карактеристике варистора одређене су мерењем промене напона као одговора на логаритамску промену струје на инструменту *Keithley 237*.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Остварени резултати изложени у овој докторској дисертацији важни су и применљиви, како са теоријског аспекта где су изложена нова детаљна објашњења улоге и повезаности секундарних фаза на микроструктурна и електрична својства варистора, тако и у практичном смислу. Наиме, велики напредак у повећању поља пробоја постигнут је уз помоћ једноставних експерименталних техника, коришћењем лако доступних хемикалија и опреме.

Због економичности процесирања отворена је могућност и евентуалне индустријске примене, а научна верификација резултата потврђена је њиховим објављивањем у врхунским међународним часописима.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

У свом досадашњем раду кандидат Марина Вуковић, дипл. инж. технологије, постигла је значајне резултате и показала висок степен способности, систематичности и зрелости у анализи и решавању проблема. Кандидат је сопственим идејама унела иновативност у синтетске поступке, који су потом довели до добијања варистора са изузетно високим пољем пробоја. Залагањем кандидата добијени су оригинални и савремени резултати који ће у будућности омогућити дириговано добијање варистора тачно одређених карактеристика. На основу досадашњег рада и изнетих чињеница, Комисија сматра да је кандидат Марина Вуковић показала велику склоност и самосталност у научно-истраживачком раду.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

У докторској дисертацији под називом „Добијање цинк-оксидних варистора са субмикронском величином зрна и изразито високим пољем пробоја“ кандидата Марине Вуковић истичу се следећи научни доприноси:

- Показано је да је повећан садржај адитива у наноструктурним цинк-оксидним варисторима добар приступ за повећање поља пробоја, јер доприноси повећању удела електрично активних граница зрна.
- Повећање садржаја адитива омогућило је и снижавање температуре синтеровања за неколико стотина (од 300 до 400) степени у односу на уобичајен начин процесирања ових варистора.
- Утврђено је да присуство велике количине пирохлора као секундарне фазе не условљава нужно и погоршавање електричних својстава варистора.
- Установљено је да је ултразвучна активација варисторских смеша прахова, као потпуно нова метода, врло ефикасна за повећање поља пробоја.
- Показано је да је амонијум-карбонат погодно средство за спречавање агломерације прахова приликом механичке активације у млину.
- Повезивање поменутих метода активације прекурсора имало је синергијско дејство на микроструктурна и електрична својства добијених варистора.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Досадашња литература која укључује анализу садржаја адитива на варисторска својства била је углавном усмерена ка смањењу удела ових конституената. Повећање удела адитива, као једна од смерница ове докторске дисертације, представља велику прекретницу у припреми наноструктурних варистора. Исцрпна анализа утицаја сваке појединачне секундарне фазе на синтерабилност, густину, величину зрна и струјно-напонску карактеристику варистора омогућава недвосмислено предвиђање варисторских својстава у корелацији са уделом прекурсора. Изложена анализа омогућава потенцирање жељених својстава варистора приликом будућих истраживања у овој научној области. Сазнања и ефекти до којих се дошло коришћењем ултразвучне и механичке активације применљиви су не само за процесирање варистора, већ и за многе друге материјале.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Марина Вуковић потврдила је резултате добијене у току израде ове докторске дисертације њиховим објављивањем у часописима међународног значаја, као и њиховим саопштавањем на међународним и домаћим скуповима. Из дисертације су проистекли следећи радови:

##### Категорија M21:

1. **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
2. **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

##### Категорија 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. **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

##### Категорија 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

## **5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ**

На основу свега наведеног, Комисија је мишљења да докторска дисертација „Добијање цинк-оксидних варистора са субмикронском величином зрна и изразито високим пољем пробоја“ кандидата Марине Вуковић представља оригиналан и значајан допринос у области истраживања Технолошко инжењерство, што је потврђено објављивањем резултата

у врхунским међународним часописима. Комисија сматра да су предмет и циљеви докторске дисертације у потпуности испуњени и да дисертација под називом „Добијање цинк-оксидних варистора са субмикронском величином зрна и изразито високим пољем пробоја“ задовољава све потребне критеријуме, као и да је Кандидат показао висок степен самосталности, а посебно оригиналности у свом раду.

Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос добијених резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да прихвати овај Реферат и поднету дисертацију кандидата Марине Вуковић, дипломираног инжењера технологије, и да их пружи на увид јавности у законски предвиђеном року, као и да Реферат упути Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и да након завршетка процедуре позове Кандидата на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

## ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

---

Проф. др Дејан Полети,  
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