

**ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ**

35/51
(Број захтева)
24.04.2020.
(датум)

Образац 2
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ВЕЋЕ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ ТЕХНИЧКИХ
НАУКА

Техничких наука
(назив већа научне области коме се захтев упућује)

Београд, Студентски трг бр. 1

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тачка 4. Статута Универзитета у Београду (“Гласник Универзитета у Београду” број 162/11, пречишћен текст, 167/12, 172/13 и 178/14), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата: **Јелена (Аца) Живојиновић**, дипломирани физикохемичар.

КАНДИДАТ: **Јелена Живојиновић** пријавила је докторску дисертацију под називом:
„Утицај механичке активације на структуру и својства стронцијум-титанатне керамике“
Из научне области: **ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО**

Универзитет је дана **23.04.2018.** године, својим актом **61206-1791/2-18**, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

„ Утицај механичке активације на структуру и својства стронцијум-титанатне керамике “

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Јелене Живојиновић** образована је на седници Наставно-научног већа одржаној **30.01.2020.** године Одлуком Факултета под бр. **35/20**, у саставу:

Име и презиме	Звање	Научна област
1. Др Ђорђе Јанаковић	Редовни професор	Инжењерство неорганских хемијских производа
2. Др Вера П. Павловић	Ванредни професор	Физика кондензованог стања и физика материјала
3. Др Рада Петровић	Редовни професор	Инжењерство неорганских хемијских производа
4. Др Владимир Павловић	Редовни професор	Наука о материјалима
5. Др Дарко Косановић	Виши научни сарадник	Наука о материјалима

Студент је уписан на докторске студије школске 2011/2012. године.

На захтев студента, декан је донео Решење бр. 20/143-2 од 28.09.2018. године о продужењу рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до краја школске 2020/2021. године, с обзиром на то да је била у статусу мировања права и обавеза шк. 2014/2015. године.

Наставно-научно веће Факултета прихватило је реферат Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана **05.03.2020.** године.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Петар Ускоковић

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 39. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 05.03.2020. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Ђорђе Јанаћковић, редовни професор Универзитета у Београду Технолошко-металуршки факултет, др Вера Павловић, ванредни професор Универзитета у Београду, Машински факултет, др Рада Петровић, редовни професор Универзитета у Београду Технолошко-металуршки факултет, др Владимир Павловић редовни професор Универзитета у Београду, Пољопривредни факултет, др Дарко Косановић, виши научни сарадник Института техничких наука Српске академије наука и уметности, Институт техничких наука, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: „**Утицај механичке активације на структуру и својства стронцијум-титанатне керамике**“ коју је поднела **Јелена Живојиновић**, дипломирани физикохемичар и упућује се на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације **Јелене Живојиновић**, под називом „**Утицај механичке активације на структуру и својства стронцијум-титанатне керамике**“ Одлуком број: 61206-1791/2-18 од 23.04.2018. године.

Верификација научних доприноса:

Категорија M21:

1. **Živojinović, J.**, Pavlović, V.P., Kosanović, D., Marković, S., Krstić, J., Blagojević, V.A., Pavlović, V.B.: The Influence of Mechanical Activation on Structural Evolution of Nanocrystalline SrTiO₃ Powders, *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 695, pp. 863-870, 2017 (**IF 3.779**) (ISSN 0925-8388).

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.10.159>

Категорија (M22):

1. **Živojinović, J.**, Pavlović, V.P., Labus, N.J., Blagojević, V.A., Kosanović, D., Pavlović, V.B.: Analysis of the Initial-Stage Sintering of Mechanically Activated SrTiO₃, *Science of Sintering*, vol. 51, pp. 199-208, 2019 (**IF 0.736**) (ISSN: 0350-820X).

DOI: [10.2298/SOS1902199Z](https://doi.org/10.2298/SOS1902199Z)

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета, ментору, Служби за наставно-студентске послове, Библиотеци и Архиви факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Јелене Живојиновић**, дипл. физикохемичара.

Одлуком бр. **35/20** од **30.01.2020.** године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Јелене Живојиновић**, дипл. физикохемичара под насловом:

**"Утицај механичке активације на структуру и својства
стронцијум-титанатне керамике"**

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Јелена Живојиновић, дипл. физикохемичар је **22.12.2017.** године Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета предложила тему за израду докторске дисертације под називом: **"Утицај механичке активације на структуру и својства стронцијум-титанатне керамике"**.

На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета одржаној **28.12.2017.** одлуком бр. **35/521**, именована је Комисија за оцену подобности теме: **"Утицај механичке активације на структуру и својства стронцијум-титанатне керамике"** и кандидата **Јелене Живојиновић**, дипл. физикохемичара за израду докторске дисертације.

На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета одржаној **29.03.2018.** одлуком бр. **35/88**, усвојен је реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације, а за менторе су именовани др Ђорђе Јанаћковић,

редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, и др Вера Павловић, ванредни професор Универзитета у Београду, Машински факултет.

Одлуком бр. **61206-1791/2-18** од **23.04.2018.** Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Јелене Живојиновић, дипл. физикохемичара, под називом: **"Утицај механичке активације на структуру и својства стронцијум-титанатне керамике"**.

На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, од **30.01.2020.** одлуком бр. **35/20**, именована је Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације Јелене Живојиновић, дипл. физикохемичара, под називом: **"Утицај механичке активације на структуру и својства стронцијум-титанатне керамике"**.

Студент Јелена Живојиновић, број индекса 4062/2011, уписана је на докторске студије шк. 2011/12. године. Увидом у приложену документацију, декан Технолошко-металуршког факултета је донео решење бр. 20/143-2 од 28.09.2018. године о продужењу рока за завршетак студија до краја школске 2020/2021. године, с обзиром на то да је била у статусу мировања права и обавеза школске 2014/15 године због неге детета до годину дана.

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 Ђорђе Јанаћковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, и др Вера Павловић, ванредни професор Универзитета у Београду, Машински факултет, су на основу досадашњих објављених радова и искустава компетентни да руководе изразом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Јелена Живојиновић рођена је 19.03.1982. године у Београду, где је завршила основну и средњу школу. Факултет за физичку хемију уписала је шк. 2001/2002 године, где је и 2011. године дипломирала на теми: "ЕПР детекција за АЛС". Од октобра 2011/2012 године уписује докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, одсек Инжењерство материјала, под менторством др Ђорђа Јанаћковића, редовног професора на Катедри за неорганску хемијску технологију.

Од новембра 2011. године запослена је у Институту техничких наука САНУ као истраживач приправник. Ангажована је на пројекту ОИ172057 под називом "Усмерена синтеза, структура и својства мултифункционалних материјала", руководиоца др Владимира Павловића, редовног професора на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду, који је финансирало Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. У звање истраживача сарадника изабрана је 10. октобра 2012. године, а реизабрана је у исто звање 25. априла 2017. године. На трудничком, породичком и одсуству ради посебне неге детета је била у периоду од 2014. године до 2015. године, у трајању од 19 месеци.

У оквиру истраживачких активности на пројекту ОИ172057 кандидаткиња се бавила анализом утицаја механичке активације на еволуцију структуре и функционалних својстава недопираног и допираног стронцијум-титанатног (SrTiO_3) праха и керамике.

Аутор је и коаутор два објављена рада у врхунском међународном часопису (M21), три рада у истакнутом међународном часопису (M22), као и рада у часопису од националног значаја (M52). Учествовала је и на шест међународних конференција.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Јелене Живојиновић, дипл. физикохемичара, под називом: **"Утицај механичке активације на структуру и својства стронцијум-титанатне керамике"** написана је на 126 страна, у оквиру којих се налази 6 поглавља, 64 слике, 17 табела и 389 литературних навода. Докторска дисертација садржи поглавља под следећим називима: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература. Поред тога, дисертација садржи Сажетак на српском и енглеском језику, Садржај, Захвалницу и прилоге прописане правилима Универзитета у Београду о подношењу докторских дисертација на одобравање. Написана дисертација по форми и садржају задовољава све стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Увод докторске дисертације представља кратак опис значаја електрокерамичких материјала на бази стронцијум-титаната, као једињења са структуром перовскитног типа, за примену у електричним, оптичким и магнетним уређајима. Истакнут је значај успостављања корелације између параметара синтезе, структурних карактеристика и својстава SrTiO_3 керамичких материјала. Такође је истакнута улога механичке активације, као методе за добијање недопираних и допираних керамичких материјала са модификованим функционалним својствима.

У Теоријском делу дат је опис структуре перовскита са посебним освртом на кристалну и електронску структуру SrTiO_3 . На основу литературног прегледа, описан је утицај сопствених дефеката и допаната на промене диелектричних својстава стронцијум-титаната, као и утицај на индуковање магнетних својстава у SrTiO_3 . Након кратког приказа примене електрокерамике на бази SrTiO_3 , дат је опис основних стадијума и ефеката процеса механичке активације. Такође је дат литературни преглед који се односи на механичку активацију SrTiO_3 прахова у високо-енергетском планетарном млину, као и преглед који се односи на синтеровање електрокерамике, са посебним освртом на синтеровање система на бази SrTiO_3 у различитим температурским и атмосферским условима.

Експериментални део обухватио је опис основних целина при организацији целокупног експерименталног рада. Након описа услова механичке активације недопираних SrTiO_3 прахова и прахова допираних манган(IV)-оксидом (MnO_2), дато је објашњење начина пресовања и услова синтеровања неактивираних и активираних SrTiO_3 прахова. Дилатометријска метода је примењена за праћење брзине денсификације испресака недопираних SrTiO_3 прахова са променом времена механичке активације у почетном стадијуму синтеровања. Наведене су и инструменталне технике које су коришћене у анализи утицаја механичке активације на микро- и кристалну структуру недопираних и допираних SrTiO_3 прахова, као и на структуру, диелектрична и магнетна својства SrTiO_3 недопираних и допираних керамике.

Резултати и дискусија су организовани у пет потпоглавља.

У првом потпоглављу, које садржи седам одељака, представљена је анализа резултата и дискусија утицаја механичке активације на: расподелу величина честица, морфологију, специфичну површину, кристалну структуру, фононске спектре и енергију забрањене зоне недопираних SrTiO_3 прахова, као и на густину испресака. Применом дифракције ласерске светлости на честицама, показано је да је механичка активација довела до уситњавања честица полазног праха и до шире расподеле величина честица при дужим временима активације. Резултати електронске микроскопије (SEM и TEM), који су показали микроструктурне и морфолошке промене полазног и механички активираних прахова, су

корелисани са резултатима BET (Brunauer-Emmett-Teller) методе којом је утврђено да се највиша вредност специфичне површине постиже при активацији у трајању од 60 минута. Анализиран је и утицај активације на густине испресака. Детаљна анализа рендгенограма активираних прахова је омогућила процену утицаја механичке активације на величину кристалита и појаву микронапрезања. Показано је да је примењена механичка активација омогућила формирање кубног нанокристалног SrTiO_3 праха, са величином кристалита која опада до ~ 20 nm при најдужем времену активације. Уочена је и промена вредности параметра кристалне решетке a , што је посредно указало и на могуће промене концентрације кисеоничних ваканција. У циљу даљег сагледавања структурних промена, примењена је и Раманова спектроскопска анализа, којом је праћен утицај механичке активације на промене у фононском спектру прахова. Уочене су Раманове моде првог и другог реда, при чему су промене у појединим Рамановим пиковима са увећањем времена активације указале на појаву поларних микро- и нанорегиона, који су индуковани присуством дефеката. Анализом оптичких својстава кристалних материјала је показано да се вредности енергије забрањене зоне у малој мери снижавају са увећањем времена механичке активације.

У другом потпоглављу описани су резултати и анализа утицаја механичке активације на почетни стадијум синтеровања пресованих недопираних SrTiO_3 прахова синтерованих у дилатометру. Уочено је да се при порасту времена механичке активације температура почетка скупљања испреска значајно смањује. Запажене су и промене у брзини скупљања, што је дискутовано са становишта утицаја механичке активације на почетну густину испреска, као и на присуство линијских и тачкастих дефеката, чије кретање и међусобна интеракција утичу на дифузионе процесе током синтеровања. Примена Дорнове методе је указала на значајније смањење вредности ефективне енергије активације транспорта масе у почетном стадијуму синтеровања са порастом времена механичке активације полазног праха.

Треће потпоглавље посвећено је анализи утицаја механичке активације на структуру и својства недопираних SrTiO_3 керамике. Након анализе вредности густина добијених керамичких материјала, на основу резултата SEM методе је анализиран и утицај активације на величину зрна у синтерованим узорцима. Рендгенском дифракционом анализом је констатована појава смањења вредности параметра решетке a , у односу на њену вредност код прахова, што је повезано са смањењем концентрације дефеката услед релаксације система током синтеровања. Извршена је корелација између запажених структурних промена и промена у диелектричним својствима. Наиме, константовано је да се вредност релативне диелектричне пермитивности керамичких узорака на собној температури мења у складу са променама густине узорака, величине зрна, као и променама у области границе зрна. Промене релативне диелектричне пермитивности су корелисане и са променама које се јављају у Рамановим спектрима. Повећана асиметрија TO_2 моде и са тим повезане веће вредности q фактора код кратко активираних узорака су указале на јачу интеракцију TO_2 моде са диполним моментима у локалним поларним регионима, услед чега је могла бити очекивана и већа вредност релативне диелектричне пермитивности на собној температури у тим узорцима. На основу запажене промене q фактора се могло очекивати даље снижење вредности релативне диелектричне пермитивности са порастом активације до 90 минута, што је и измерено. Међусобна неусагласеност у тренду промене фактора q и релативне диелектричне пермитивности за узорке активираних током 120 минута је указала на то да се код ових узорака утицај других фактора (густина, порозност, величина зрна) на вредност диелектричне пермитивности може сматрати доминантнијим од утицаја локализованих тачкастих дефеката.

Четврто потпоглавље се бави проучавањем структуре и својстава неактивираних и активираних SrTiO_3 прахова допираних манган(IV)-оксидом. У циљу добијања $\text{SrTiO}_3\text{:Mn}$ система, типа $\text{Sr}_{1-x}\text{Mn}_x\text{TiO}_3$ или $\text{SrTi}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ једињења, у полазни прах стронцијум-титаната је додат MnO_2 , при чему су изабране вредности за x биле: 0,03, 0,06 и 0,12. У оквиру анализе расподеле величина честица применом дифракције ласерске светлости, примењено је померање максимума криве ка мањим величинама честица код узорака са $x \leq 0,06$, у односу на

недопиране прахове са истим временом активације, док се у присуству највише концентрације допанта ($x=0,12$) максимум криве расподеле благо помера у супротном смеру. Вредности специфичних површина допираних SrTiO_3 прахова су мање у односу на недопиране прахове, што је протумачено присуством већих MnO_2 честица и већим степеном агломерисаности, у складу са резултатима SEM анализе. Иако није примећен једнозначни тренд промене специфичне површине са променом концентрације допанта, констатовано је да за време активације $t_A \leq 30$ минута и концентрацију допанта $x \leq 0,06$ вредност специфичне површине расте са порастом x , што према литературним подацима може бити повезано са уградњом допанта у решетку SrTiO_3 . Дифрактограми су показали присуство кубне структуре у свим допираним SrTiO_3 праховима, уз једва приметан најјачи пик MnO_2 једињења. Примећено је извесно смањење параметра решетке a код свих допираних прахова (неактивираних и активираних), у односу на недопиране прахове. Поређење тих резултата са резултатима Раманове анализе је указало на могућу уградњу Mn јона у структуру SrTiO_3 решетке, првенствено у површинским слојевима честица. На основу дифузионо-рефлексионе спектроскопије констатовано је да вредност енергије забрањене зоне опада са порастом концентрације MnO_2 , као и са увећањем времена активације. Литературни преглед је указао да уочене разлике у вредности енергије забрањене зоне код допираних прахова могу бити последица нарушавања периодичности Ti^{4+} јона.

У оквиру петог потпоглавља представљени су резултати и дискусија проучавања утицаја допирања на структуру и својства SrTiO_3 керамике добијене из неактивираних и механички активираних прахова. Примећено је да код синтерованих допираних узорака вредности густина опадају са повећањем концентрације MnO_2 у полазним смешама, а расту са увећањем времена активације. На основу морфолошке анализе уочено је да величина зрна опада са порастом концентрације допанта код узорака са истим временом активације. Овај тренд је протумачен све доминантнијом уградњом Mn^{4+} јона на местима Ti^{4+} јона. На основу Ритвелдове анализе дифрактограма, констатовано је да је степен опадања параметра решетке a са увећањем времена активације у случају најнижих концентрација допанта ($x=0,03$) мањи у односу на узорке са $x=0,06$ и $0,12$. Ово је протумачено тиме да је у случају најниже концентрације допанта ($x=0,03$) присутан битан допринос супституције Sr^{2+} јона Mn^{2+} јонима. Са друге стране, увећање концентрације допанта води доминантнијој замени Ti^{4+} јона Mn^{4+} јонима. Такође је уочен нижи степен кристаличности код допиране активираних SrTiO_3 керамике, у односу на недопирану керамику, што је приписано додатној дисторзији кристалне структуре која је последица супституције јона у случају допирања. Раманова спектроскопска анализа је указала да механичка активација доводи до ефективно веће уградње допанта у решетку стронцијум-титаната, али је примећено да при вишим концентрацијама допанта долази до заостајања Mn_3O_4 фазе. Диелектрична мерења код допиране SrTiO_3 керамике показала су више вредности релативне диелектричне пермитивности за $x=0,03$, у односу на недопирану керамику, при чему је процењено да је ово последица не само већих густина, већ и доприноса уградње Mn^{2+} јона на положајима Sr^{2+} јона у решетки. Међутим, код допираних неактивираних узорака и узорака са временом активације $t_A \leq 30$ минута уочено је да се са увећањем концентрације допанта ($x=0,06$ и $0,12$) релативна диелектрична пермитивност снижава, при чему је процењено да је на то утицала доминантнија уградња Mn^{4+} јона на положајима Ti^{4+} јона. Магнетна мерења су указала да допирање SrTiO_3 манганом индукује магнетно понашање, при чему је примећено да специфична магнетизација расте са увећањем: времена механичке активације, концентрације допанта и јачине магнетног поља.

У петом поглављу дати су Закључци проистекли из докторске дисертације. Истакнути су најважнији доприноси рада и указано је на то да механичка активација недопираних и допираних SrTiO_3 прахова води до структурних промена по свим хијерархијским нивоима, тако да су функционална својства овако добијених керамичких материјала директна последица тих промена. Оптимална електрична својства се могу постићи правилним избором времена механичке активације, као и одговарајућих услова синтеровања. Допирање SrTiO_3

одређеном количином мангана омогућава добијање материјала са одређеним магнетним својствима без значајнијег нарушавања диелектричних својстава.

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

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

SrTiO₃ као електрокерамички материјал показује добра изолаторска својства, са релативно великом диелектричном пермитивношћу и малим тангенсом диелектричних губитака. Одређеним процесирањем, нпр. у редукционој атмосфери, или путем катјонске супституције, SrTiO₃ може постати полупроводник. Стронцијум-титанат се одликује високом оптичком транспарентношћу у видљивој области, а материјали на бази SrTiO₃ могу показати добра својства као UV детектори, чак и боља него конвенционални полупроводници са ужом забрањеном зоном. SrTiO₃ налази примену у изради сензора, UV детектора, соларних ћелија, вишеслојних керамичких кондензатора (*multilayer ceramic capacitors-MLCCs*), динамичких RAM меморија (*Dynamic random-access memory-DRAM*), итд. Све ово чини SrTiO₃ погодним моделним материјалом са становишта испитивања оптималног коришћења перовскитних материјала у електроиндустрији. Функционална својства SrTiO₃ у великој мери зависе од присутности дефеката, величине зрна и морфологије микроструктурних конституената, што је са друге стране у уској вези са избором методе синтезе и радним параметрима током процесирања материјала.

У оквиру ове дисертације су извршена врло опсежна истраживања утицаја механичке активације на структурне модификације и промену својстава SrTiO₃ прахова и керамике, док су у постојећој научној литератури таква истраживања слабо заступљена. Такође је у оквиру ове дисертације извршена анализа сумарног дејства механичке активације и допирања, што је допринело даљем разјашњавању и разумевању међусобне повезаности структуре и функционалних својстава механички активираних SrTiO₃ и SrTiO₃:Mn материјала. Са становишта добијања оваквих напредних савремених материјала, предност употребе механичке активације за добијање SrTiO₃ нано-прахова је у њеној релативној једноставности и економичности, при чему се добијају модификоване структуре са повећаном површинском активношћу и нижом температуром синтеровања система, односно са побољшаним физичко-хемијским својствима.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације кандидат Јелена Живојиновић спровела је опсежан преглед релевантне стручне и научне литературе. Већи део прегледане литературе је објављен у врхунским међународним часописима, а обухвата научне радове везане за механичку активацију и синтеровање недопираних и допираних керамичких материјала на бази SrTiO₃, као и оптимизацију диелектричних и магнетних својстава недопираних и допираних SrTiO₃ керамичких узорака. У склопу литературних навода налазе се и радови кандидата Јелене Живојиновић, који су проистекли из истраживања у оквиру ове дисертације, објављени у међународним часописима. У дисертацији је наведено укупно 389 референци.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру ове докторске дисертације коришћене су следеће експерименталне методе:

- У циљу смањења величине честица полазног праха, повећања њихове површинске активности, убрзања релевантних процеса транспорта масе током синтеровања и

снижења температуре синтеровања SrTiO_3 керамике, коришћена је метода механичке активације почетног праха SrTiO_3 , у планетарном млину у трајању од 5, 10, 30, 60, 90 и 120 минута. Механичка активација је коришћена и за проучавање могућности супституције јона стронцијума и титана у кристалној структури SrTiO_3 јонима мангана, при чему су коришћена времена активације била од 10, 30 и 120 минута. У том циљу анализиран је утицај различитих концентрација манган(IV)-оксида на промене у структури и својствима SrTiO_3 праха и керамике.

- Квалитативном и квантитативном рендгено-структурном анализом (XRD) прахова и синтерованих узорака вршена је идентификација присутних фаза, као и анализа утицаја механичке активације и присуства допанта на вредности параметара решетке, просечну димензију кристалита и величину микронапрезања.
- За проучавање морфологије честица SrTiO_3 прахова и зрна унутар керамике коришћена је метода скенирајуће електронске микроскопије (SEM). Додатне структурне анализе су извршене и применом трансмисионе електронске микроскопије (TEM) и енергетско-дисперзивне спектрометрије (EDS). На основу компјутерске обраде снимљених микрографија, процењен је утицај активације и присуства допанта на облик честица, просечну величину честица и агломерата, присутност ерозија на површини честица и сл.
- Расподела величина честица је разматрана PSA методом (Particle size analysis - PSA), помоћу ласерског анализатора величина честица, да би се проценило које величине честица доминирају у SrTiO_3 праху за дато време механичке активације и дату концентрацију допанта. Резултати PSA и SEM анализа су корелисани са резултатима XRD анализе.
- У циљу даљег сагледавања структурних промена, примењена је и Раманова спектроскопска анализа, којом је праћен утицај механичке активације и допанта на фононске спектре у праху и синтерованим узорцима. Уједно је проверено и да ли изабрана времена механичке активације доводе до промена у кристалној структури у смислу појаве локалног одступања од идеалне кубне структуре, услед смањења димензија честица и пораста микронапрезања.
- UV-Vis спектроскопија је коришћена за испитивање оптичких својстава, при чему је одређен утицај механичке активације на рефлексивне спектре и енергију забрањене зоне полазног и механички активираних недопираних и допираних SrTiO_3 прахова.
- N_2 -физисорпција је употребљена за добијање адсорпционо-десорпционих изотерми за почетни прах и механички активираних недопираних и допираних SrTiO_3 прахове. Анализа добијених изотерми је одредила утицај механичке активације и допанта на вредности специфичне површине прахова применом BET (Brunauer-Emmett-Teller) једначине, као и утицај на вредности специфичне запремине микропора по методи Дубинин-Радушкевич (Dubinin-Radushkevich) и специфичне запремине мезопора по Баррет-Џојнер-Халенда (Barrett-Joyner-Halenda) методи. Укупна специфична запремина пора одређена је методом Гуревича (Gurevich). На основу облика и међусобног положаја адсорпционо-десорпционих изотерми идентификован је доминантни тип пора у праховима.
- Дилатометријском методом је испитиван утицај механичке активације на неизотермски и изотермски део синтеровања. Анализиране су промене: релативног скупљања узорака, температуре почетка скупљања и брзине скупљања, у функцији времена активације, у неизотермским условима, за различите брзине загревања. Разматран је утицај механичке активације на параметре кинетике почетног стадијума синтеровања.
- Сва наведена испитивања структурних промена (у праху и керамици), као и промена у кинетици процеса синтеровања, су корелисана са даљим проучавањем електричних својстава добијене недопираних и допираних керамике. Мерења диелектричних својстава керамичких узорака су првенствено обухватила одређивање вредности

релативне диелектричне пермитивности (ϵ_r) и тангенса угла диелектричних губитака ($\tan \delta$) у зависности од фреквенције на собној температури, на основу чега су процењени оптимални опсези времена механичке активације за добијање одговарајућих функционалних електрокерамичких материјала.

- Мерења магнетних својстава допираних керамичких узорака су обухватила праћење промене специфичне магнетизације са увећањем времена механичке активације, концентрације допанта и јачине магнетног поља.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати експерименталног рада, као и њихова анализа и дискусија, доприносе додатном разумевању међусобне повезаности структуре и својстава механички активираних недопираних и допираних материјала на бази стронцијум-титаната. Овако добијени материјали унапређених физичко-хемијских својстава, добијени оптимизацијом услова синтезе и процесирања, могу бити добра основа за њихову потенцијалну примену, а свакако представљају смерницу у будућим истраживањима механичке активације и синтеровања недопираних и допираних SrTiO_3 материјала за постизање дефинисаних структура одговарајућих напредних електричних и магнетних својстава. Научна верификација резултата је потврђена њиховим објављивањем у међународним часописима.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Научни рад који је кандидат спроводио током израде докторске дисертације је објединио обиман литературни преглед, осмишљавање и оптимизацију синтезе материјала, карактеризацију материјала и функционалних својстава. Кандидат је постигао значајне резултате и показао висок степен аналитичности, систематичности и креативности у раду и превазилажењу конкретних проблема током различитих фаза израде докторске дисертације. На основу досадашњег рада и изнетих чињеница, Комисија сматра да је кандидат Јелена Живојиновић, дипл. физикохемичар, показала велику истрајност и самосталност у научно-истраживачком раду.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У докторској дисертацији кандидата Јелене Живојиновић под називом **"Утицај механичке активације на структуру и својства стронцијум-титанатне керамике"** истичу се следећи научни доприноси:

- објашњење утицаја механичке активације на различите структурне нивое SrTiO_3 праха;
- утврђивање утицаја механичке активације на процес допирања;
- успостављање корелације између промена у структури недопираних и допираних SrTiO_3 прахова и добијених својстава дисперзног система;
- утврђивање утицаја механичке активације на процес синтеровања и структуру недопираних и допираних SrTiO_3 керамике;

- утврђивање међузависности унутар тријаде процесирање-структура-својства за механички активiranу недопирану и допирану стронцијум-титанатну керамику;
- допринос сазнањима везаним за услове оптимизације процесних параметара у циљу формирања диелектрика са већом густином и бољим електричним својствима, као и шире - у циљу добијања материјала са унапред задатим електрофизичким својствима, зависно од захтева које одређени тип примене у електроници налаже;
- допринос ширем сагледавању односа структуре и својстава код диелектричних материјала перовскитне структуре.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сprovedена истраживања обухватају веома широк опсег активности, од примене механичке активације и допирања до обимне карактеризације структурних промена и функционалних својстава SrTiO₃ праха и керамике. Увидом у литературу која се односи на примену SrTiO₃ као електрокерамичког материјала утврђен је велики утицај параметара синтезе на процес добијања оваквих материјала, као и на њихова функционална својства. Детаљним прегледом литературе утврђено је да постоји релативно мали број радова у којима је испитиван утицај механичке активације на структурне промене и електрична својства механички активiranог SrTiO₃ праха, док анализа утицаја механичке активације на допирање и промене настале у структури стронцијум-титаната допираног манганом готово да није рађена. Стога, ова докторска дисертација представља важан научни допринос, али и могући помак са практичног аспекта, пре свега због економске исплативости примене методе механичке активације за добијање нано-кристалних диелектричних материјала на бази SrTiO₃, са циљано модификованом структуром и унапред задатим својствима.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Јелена Живојиновић је потврдила научни допринос резултата добијених у току израде ове докторске дисертације њиховим објављивањем у часописима међународног значаја. Из дисертације су проистекли следећи радови:

Рад у врхунском међународном часопису (M21):

1. **Živojinović, J.**, Pavlović, V.P., Kosanović, D., Marković, S., Krstić, J., Blagojević, V.A., Pavlović, V.B.: The Influence of Mechanical Activation on Structural Evolution of Nanocrystalline SrTiO₃ Powders, *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 695, pp. 863-870, 2017 (IF 3.779) (ISSN 0925-8388).

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.10.159>

Рад у истакнутом међународном часопису (M22):

1. **Živojinović, J.**, Pavlović, V.P., Labus, N.J., Blagojević, V.A., Kosanović, D., Pavlović, V.B.: Analysis of the Initial-Stage Sintering of Mechanically Activated SrTiO₃, *Science of Sintering*, vol. 51, pp. 199-208, 2019 (IF 0.736) (ISSN: 0350-820X).

DOI: [10.2298/SOS1902199Z](https://doi.org/10.2298/SOS1902199Z)

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега наведеног, Комисија је мишљења да докторска дисертација **"Утицај механичке активације на структуру и својства стронцијум-титанатне керамике"** кандидата Јелене Живојиновић, дипл. физикохемичара представља оригиналан и значајан научни допринос у области истраживања Технолошко инжењерство, што је потврђено објављивањем резултата у врхунском међународном часопису и истакнутом међународном часопису. Комисија сматра да су предмет и циљеви докторске дисертације у потпуности испуњени и да дисертација под називом **"Утицај механичке активације на структуру и својства стронцијум-титанатне керамике"** задовољава све потребне критеријуме, као и да је Кандидат показао висок степен самосталности и 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 Јелене Живојиновић, дипл. физикохемичара, и да их изложи на увид јавности у законски предвиђеном року, као и да Реферат упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, па да након завршетка процедуре позове Кандидата на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 10. фебруар 2020. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Ђорђе Јанаћковић, редовни професор,
Универзитет у Београду,
Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Вера Павловић, ванредни професор,
Универзитет у Београду,
Машински факултет

.....
Др Рада Петровић, редовни професор,
Универзитет у Београду,
Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Владимир Павловић, редовни професор,
Универзитет у Београду,
Пољопривредни факултет

.....
Др Дарко Косановић, виши научни сарадник,
Институт техничких наука САНУ