

## **НАУЧНОМ ВЕЋУ ИНСТИТУТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА**

Одлуком Научног већа Института техничких наука САНУ на седници одржаној 8. јуна 2020. године именовани смо за чланове Комисије за оцену испуњености услова за избор др Јелене (Аца) Живојиновић у звање научни сарадник. На основу документације поднете Научном већу Института техничких наука САНУ подносимо следећи

### **ИЗВЕШТАЈ**

На основу члана 20 Правилника о поступку, начину вредновања квантитативном исказивању научно-истраживачких резултата истраживача ("Службени гласник РС", бр. 24/2016, 21/2017 и 38/2017) Комисија подноси извештај који садржи следеће елементе:

#### **I. Биографски подаци**

Кандидаткиња Јелена (Аца) Живојиновић, доктор наука-технолошко инжењерство-инжењерство материјала, 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 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. Докторску дисертацију под називом "Утицај механичке активације на структуру и својства стронцијум-титанатне керамике" је одбранила 04.06.2020.

У звање истраживача сарадника изабрана је 10. октобра 2012. године, а реизабрана је у исто звање 25. априла 2017. године. На трудничком, породиљском и одсуству ради посебне неге детета је била у периоду од 2014. године до 2015. године, у трајању од 19 месеци. Области интересовања су јој: технологија прахова, кинетика синтеровања, керамички материјали, карактеризација структуре и функционалних својстава електрокерамичких материјала.

## **II. Ангажованост на пројектима**

Др Јелена Живојиновић била је ангажована на пројекту ОИ172057 под називом "Усмерена синтеза, структура и својства мултифункционалних материјала", руководиоца др Владимира Павловића, редовног професора на Пољопривредном факултету, Универзитета у Београду, под покровитељством Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

## **III. Кратка анализа научно-истраживачког рада**

У оквиру истраживачких активности на пројекту ОИ172057 кандидаткиња се бавила анализом утицаја механичке активације на еволуцију структуре и функционалних својстава недопиреног и допиреног стронцијум-титанатног ( $\text{SrTiO}_3$ ) праха и керамике.  $\text{SrTiO}_3$  као електрокерамички материјал показује добра изолаторска својства, са релативно великом диелектричном пермитивношћу и малим тангенсом диелектричних губитака. Његовим процесирањем у редукционој атмосфери или путем катјонске супституције, чак и при релативно ниским концентрацијама носилаца наелектрисања, може постати полуправодник. Стронцијум-титанат се одликује високом оптичком транспарентношћу у видљивој области, а материјали на бази  $\text{SrTiO}_3$  могу показати добра својства као UV детектори, чак и боља него конвенционални полуправодници са ужом забрањеном зоном.  $\text{SrTiO}_3$  налази примену код сензора, UV детектора, соларних ћелија, вишеслојних керамичких кондезатора (Multilayer ceramic capacitors-MLCCs), динамичке RAM меморије (Dynamic random-access memory-DRAM), итд. Све ово  $\text{SrTiO}_3$  чини погодним моделним материјалом са становиштва испитивања оптималног коришћења перовскитних материјала у електроиндустрији.

Кандидаткиња је успешно спровела истраживања која су обухватила веома широк опсег активности, од примене механичке активације и допирања до карактеризације структурних промена и функционалних својстава  $\text{SrTiO}_3$  праха и керамике. Указано је на то да правilan избор времена механичке активације полазног материјала и услова синтеровања, омогућава да се утиче на развој микроструктуре  $\text{SrTiO}_3$  керамике како би се постигло добијање одговарајуће структуре и одговарајућих електричних својстава. Такође, показано је да се допирањем стронцијум-титаната са одређеном количином мангана, уз примену механичке активације, може постићи промена диелектричних и магнетних својстава  $\text{SrTiO}_3$  поликристалне керамике. Добијени резултати и анализе су дале битан допринос у разумевању међусобне повезаности структуре и својства механички активираних  $\text{SrTiO}_3$  и  $\text{SrTiO}_3:\text{Mn}$  материјала.

Механичка активација  $\text{SrTiO}_3$  праха је вршена у високо-енергетском планетарном млину са куглама, при чему су времена активације код недопираних прахова износила: 5,

10, 30, 60, 90 и 120 минута, док је ефекат допирања разматран за активацију од 10, 30 и 120 минута. У циљу добијања система, типа  $\text{Sr}_{1-x}\text{Mn}_x\text{TiO}_3$  (SMnT) или  $\text{SrTi}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$  (STMn) једињења, у полазни  $\text{SrTiO}_3$  прах је додат манган(IV)-оксид, при чему су изабране вредности за  $x$  биле: 0,03, 0,06 и 0,12. Структурне промене механички активираних  $\text{SrTiO}_3$  прахова су анализиране различитим методама. Рендгеноструктурна анализа је указала на присуство кубног нанокристалног  $\text{SrTiO}_3$  праха, уз појаву  $\text{SrCO}_3$  и  $\text{TiO}_2$  фаза за узорке активиране дуже од 30 минута. Ритвелдовим утачњавањем уочено је да просечна величина кристалита континуално опада са повећањем времена активације, при чему је најмања величина кристалита постигнута код механички активираног праха током 120 минута ( $\sim 20 \text{ nm}$ ). Истовремено, са увећањем времена активације расте запремина мезопора и специфична површина код узорака активираних до 60 минута, након чега је њихова промена незнатна што је протумаченио као последица присутних агломерата. Раманова спектроскопска анализа је показала да је понашање  $\text{TO}_2$  и  $\text{TO}_4$  мода последица смањења величине честица, док је понашање неполарне  $\text{TO}_3$  моде другачије и приписано је релаксацији инверзионе симетрије у поликристалном  $\text{SrTiO}_3$ . UV-Vis дифузиона-рефлексиони спектри су показали да у присуству механичке активације величина енергије забрањене зоне се снижава. Поменуто померање може бити последица два ефекта: а) увећање количине  $\text{TiO}_2$  у систему, које се јавља са повећањем времена активације (показано XRD анализом), и б) увећања концентрације кисеоникових ваканција у систему (Прилог 2, редни бр. 1 публикације *Journal of Alloys and Compounds* 695 (2017) 863-870).

Почетни стадијум синтеровања има значајну улогу у добијању крајње микроструктуре материјала која дефинише функционална својства електрокерамичких материјала. Дилатометријском анализом испитивано је неизотермско синтеровање неактивираних и механички активираних  $\text{SrTiO}_3$  узорака загреваних до 1300 °C, при чему су брзине загревања  $q$  биле 10 и 20 °C/min. Примећено је да се у присуству механичке активације изглед дилатометријских кривих и њихови нагиби мењају, нарочито за активацију дужу од 30 минута, указујући на то да активација скраћује дужину дифузионих путева и доводи до постепеног скупљања унутар ширег опсега температура, у поређењу са неактивираним узорком. Наиме, код неактивираног узорка је примећено нагло скупљање након постизања неке карактеристичне температуре синтеровања, што је указало да механичка активација доводи до добијања хомогенијег и гушћег синтерованог узорка. Анализа брзине скупљања у неизотермском режиму загревања, при константој брзини загревања, показала је да се неизотермски део синтеровања код свих узорака састојао од два или више преклапајућа једностепена процеса. Примена Дорнове методе је указала на значајно смањење вредности ефективне енергије активације транспорта масе у почетном стадијуму синтеровања са порастом времена механичке активације полазног праха (Прилог 2, редни бр. 3 публикације *Science of Sintering* 51 (2019) 199-208).

Резултати који се односе на анализу недопирани  $\text{SrTiO}_3$  керамике и допираних  $\text{SrTiO}_3$  прахова и керамике су у припреми за објаву у облику два научна рада, али

представљају саставни део одбрањене докторске дисертације под називом "Утицај механичке активације на структуру и својства стронцијум-титанатне керамике".

Кандидаткиња је била саставни део тима који је испитивао утицај механичке активације на синтезу и структуру  $Ba_{0.77}Sr_{0.23}TiO_3$  (BST) система, као и на процес синтеровања. Коришћена је метода реакције у чврстом стању када су почетне компоненте биле баријум-карбонат ( $BaCO_3$ ), стронцијум-карбонат ( $SrCO_3$ ) и анатас ( $TiO_2$ ). Рендгенограми су показали да се баријум-титанатна фаза формира након 40 минута активације, док се баријум-стронцијум-титанатна ( $Ba_{0.77}Sr_{0.23}TiO_3$ ) фаза формира тек након 80 минута активације. Добијени резултати су указали да просечна димензија кристалита опада, док величине микронапрезања и минималне густине дислокација расту. Такође, предложен је и механизам настанка  $Ba_{0.77}Sr_{0.23}TiO_3$  преко интермедијарног једињења  $Ba_6Ti_{17}O_{40}$ . Расподела величина честица праха и морфологија испитиване су методом дифракције ласерске светлости на честицама (PSA) и скенирајућом електронском микроскопијом (SEM), које су потврдиле да механичка активација води ка фрагментацији честица полазног праха, формирању нових фаза и агломерата. Диференцијална термијска анализа (DTA) и термогравиметријска анализа (TGA) су омогућиле одређивање карактеристичних температура процеса који се одвијају у чврстој фази приликом загревања до 1100 °C (Прилог 2, редни бр. 4 публикације *Science of Sintering*, 44 (2012) 47-55). У другом раду који се бавио испитивањем утицаја механичке активације на процес синтеровања  $BaCO_3$ - $SrCO_3$ - $TiO_2$  система примећено је да се највеће варијације густине дешавају код BST узорака активираних до 20 минута, синтерованих на 1100 и 1200 °C. Густине BST узорака расту са увећањем температуре синтеровања и времена механичке активације, при чему је максимална достигнута густина 86.2 % (на 1400 °C) у односу на теоријску вредност. Дифрактограми су указали на постојање пет фаза:  $Ba_{0.77}Sr_{0.23}TiO_3$ ,  $BaCO_3$ ,  $SrCO_3$ ,  $TiO_2$  и баријум-цирконијум-оксида ( $BaZrO_3$ ). Дифрактограми указују на оштре и интезивне рефлексије баријум-стронцијум-титаната услед рекристализације која се одиграва током синтеровања, што је довело до закључка да се ради о реакционом синтеровању. SEM анализа је указала на униформни процес згушњавања са увећањем времена активације, као и на доминантно присуство затворене порозности (сферионизације), што је даље указало да је постигнут последњи стадијум синтеровања. Проучавањем електричних својстава синтерованих  $Ba_{0.77}Sr_{0.23}TiO_3$  узорака, утврђено је да се као доминантан утицај механичке активације извршене од 5 до 80 минута, може издвојити: опадање вредности диелектричне пермитивности ( $\epsilon_r$  max) и тангенса угла диелектричних губитака ( $\text{tg}\delta$ ), пораст  $\epsilon_r$  у фероелектричној фази за најкраће активиране узорке и опадање вредности  $\text{tg}\delta$ . Механичка активација полазних прахова води ка снижавању Кири-температура ( $T_c$ ), као и до ширења пикова на дијаграму температурске зависности  $\epsilon_r=f(t)$ , у поређењу са неактивираним узорцима (Прилог 2, редни бр. 5 публикације *Science of Sintering*, 44 (2012) 271-280). У оквиру даљих испитивања утицаја механичке активације на електрична својства  $Ba_{0.77}Sr_{0.23}TiO_3$  керамике примећено је да је оптимално време активације почетних прахова 80 минута. Ови узорци имају за 36 % ниже диелектричне губитке на 1 KHz и 57 % на 10 KHz.

у односу на неактивиран прах синтерован под истим условима ( $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 2h). Уочено је да са увећањем температуре допринос границе зрна постаје доминантнијег утицаја на електрична својства материјала у односу на зрно (Прилог 2, редни бр. 2 публикације *Ceramics International*, 40 (2014) 11883-11888).

Кандидаткиња је такође учествовала у испитивању утицаја механичке активације на структурне и микроструктурне промене у  $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2$  систему. У оквиру овог истраживања потврђено је да механичка активација води ка хомогенизацији честица праха, а енергија унешена путем активације изазива промене у кристалној структури, при чему се формирају дефекти првенствено на површини кристалне решетке, а затим и унутар ње. Анализом добијених дифрактограма утврђено је да са порастом времена механичке активације величина кристалита опада, док густина дислокација и микронапрезања се увећава (Прилог 2, редни бр. 6 публикације *Tehnika – Novi materijali*, 21 (2012) 329-333).

#### IV. Цитираност

Према индексним базама *Web of Science Core Collection* и *Scopus*, на дан 1. 6. 2020, радови др Јелене Живојиновић су цитирани 33 пута, од чега су 17 хетероцитати, док Хиршов индекс (*h* индекс) износи 4. Сви цитати су дати у прилогу 3.

#### V. Мишљење и предлог комисије

На основу упутства за разврставање и квантификацију индивидуалних научно-истраживачких резултата датих у Прилогу 2 правила о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научно-истраживачких резултата истраживача ("Службени гласник РС", бр. 24/2016 и 21/2017), резултати кандидаткиње др Јелене Живојиновић су сумирани у табели 1.

Минимални услови за стицање звања **научни сарадник** прописани истим правилником су да је у наведеном периоду кандидат остварио бар 16 бодова, од чега бар 10 морају да потичу од збира вредности индикатора M10, M20, M31, M32, M33, M41 и M42, а бар 6 бодова од збира вредности индикатора M11, M12, M21, M22 и M23. У табели 2 дат је упоредни приказ прописаних услова и остварених резултата кандидаткиње др Јелене Живојиновић, на основу којих се види да је кандидаткиња остварила већи број бодова у обе категорије. Такође, цитираност радова које је кандидаткиња објавила у претходном периоду, потврђује квалитет њеног научно-истраживачког рада и указује на актуелност проблематике којом се бави.

**Табела 1. Научно-истраживачки резултати др Јелене Живојиновић**

Индикатор	Категорија	Вредност индикатора	Број радова	Сума	Нормирано
M21	Рад у врхунском међународном часопису	8	2	16	16
M22	Рад у истакнутом међународном часопису	5	3	15	14,2
M34	Саопштење са међународног скупа штампано у изводу	0,5	7	3,5	3,5
M52	Рад у истакнутом националном часопису	1,5	1	1,5	1,5
M70	Одбрањена докторска дисертација	6	1	6	6
<b>Укупно</b>				<b>42</b>	<b>41,2</b>

**Табела 2. Минимални квантитативни захтеви за стицање звања научни сарадник и остварени резултати др Јелене Живојиновић**

За звање научни сарадник		Потребан услов $\geq$	Остварено
<b>Укупно бодова</b>		<b>16</b>	<b>41,2</b>
Обавезни (1)	M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42	10	30,2
Обавезни (2)	M11+M12+M21+M22+M23	6	30,2

На основу свега изложеног може се извести следећи

## ЗАКЉУЧАК

На основу увида у научно-истраживачку активност др Јелене Живојиновић, комисија закључује да је кандидаткиња остварила значајне резултате из области науке о материјалима. У протеклом периоду рада, кандидаткиња је показала систематичност и самосталност у научно-истраживачком раду, мултидисциплинарни приступ, као и способност за тимски рад на проектним задацима. Објављене публикације и учешћа на међународним конференцијама указују на квалитет рада у наведеној научној области.

Имајући у виду да је кандидаткиња испунила све услове прописане Правилником о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научно-истраживачких резултата истраживача Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, комисија предлаже Научном већу Института техничких наука да усвоји овај извештај и да надлежној Комисији Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије предлог да др Јелена Живојиновић буде изабрана у звање **научни сарадник**.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

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

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

Др Зорка Васиљевић, научни сарадник,  
Институт техничких наука САНУ