

## Научном већу Института техничких наука САНУ

На седници Научног већа Института техничких наука САНУ од 05.05.2020. године именовани смо за чланове Комисије за стицање звања вишег научног сарадника др Сузана Филиповић, научног сарадника Института техничких наука САНУ. На основу разматрања приложене документације подносимо Научном већу следећи:

### ИЗВЕШТАЈ

#### I Биографски подаци

Сузана Филиповић (дев. Стевановић) рођена је 18. 02. 1981. године у Шапцу. Основну и средњу школу завршила је у Шапцу. Дипломирала је на Факултету за физичку хемију Универзитета у Београду, 2006. године, са просечном оценом 8,67, са темом „Утицај механичке активације на Раманове спектре  $\text{BaTiO}_3$ “, чиме је стекла стручно звање дипломирани физикохемичар. Исте године уписала је мастер студије на Факултету за физичку хемију и завршила их 2007. године са темом завршног мастер рада „Промена специфичне површине порозног  $\text{ZnO}$  током синтеровања“. Школске 2009/10. године уписала је докторске академске студије на Факултету техничких наука у Чачку, студијски програм Електротехничко и рачунарско инжењерство, модул Савремени материјали и технологије у електротехници. Завршила је студије са просечном оценом 9,75 и одбранила докторску дисертацију под називом „Утицај механичке активације на својства  $\text{MgO-TiO}_2$  електрокерамике“, 30. 01. 2015. године. Изабрана је у звање научни сарадник 30. 09. 2015. године одлуком бр. 660-01-00011/192 Министарства просвете, науке и технолошког развоја.

Запослена је у Институту техничких наука САНУ од 01. 12. 2006. године. Као сарадник института учествовала је у реализацији пројеката који је финансирало Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије и билатералне сарадње са Републиком Француском. Аутор и коаутор је више од 40 радова у научним часописима, као и више од 40 презентација на међународним и домаћим конференцијама. На основу података из Web of Science и Scopus индексних база цитираност радова је 250, од тога су 132 хетероцитата, а h-index је 8, на дан 19. 03. 2020. год.

Уже области интересовања су јој испитивање утицаја механичке активације на синтезу и синтеровање електрокерамика, методе карактеризације материјала, наноструктурни материјали, мултифероични материјали, композитни материјали и оксидна керамика.

Добитник је награде за најбољу усмену презентацију на 4. конгресу за микроскопију одржаном 2010. године у Београду, коју додељује Српско друштво за микроскопију, за рад под називом *Structural analyses of sintered MT and BZT ceramics*, као и награде за најбољи рад у секцији додељене 2016. године на конференцији ЕТРАН за рад под називом *Measurement of permittivity of solid and liquid dielectrics in coaxial chambers*.

Рецензент је часописа *Science of Sintering, Journal of Alloys and Compounds, Journal of the Serbian Chemical Society, International Journal of Mechanical Sciences, Advanced Powder Technology*. Члан је организационог одбора међународне конференције Српског керамичког друштва *Advanced ceramics and application: New Frontiers in Multifunctional Material Science and Processing* од 2012. године.

Члан је уредништва међународног часописа *Science of Sintering*.

Члан је Српског керамичког друштва и Америчког керамичког друштва.

## II Научни рад

Др Сузана Филиповић је од почетка свог рада у Институту техничких наука САНУ учествовала на два пројекта које је финансирало Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије и на једном пројекту који је финансирала САНУ. Такође је била учесник једне француско-српске билатералне сарадње, као и једне COST акције:

- 142011 Г – Проучавање међузависности у тријади "синтеза-структура-својства" за функционалне материјале (2006-2010, руководилац академик Момчило М. Ристић),
- 172057 ОИ – Усмерена синтеза, структура и својства мултифункционалних материјала (2011-2019, руководилац проф. др Владимир Б. Павловић),
- F-198 – Консолидација модерних техничких керамика (2010-2018, руководилац академик Момчило М. Ристић),
- Билатерална сарадња са Француском 4510339/2016/09/03 Интелигентни еко-материјали и нанокмозити (2016-2017),
- COST Акција СА 18112 „Mechanochemistry for Sustainable Industry“ (2019- ).

У току досадашњег научно-истраживачког рада др Сузана Филиповић, доминантна област истраживања везана је за науку о материјалима. Фокус истраживања је био синтеза и карактеризација оксидних нано- и субмикронских материјала, који налазе широку примену као рефракторна керамика, у електротехници и екологији. Бавила се проучавањем утицаја механичке активације на процесе контролисане синтезе материјала кроз реакционо синтеровање, као и параметара консолидације механички активираних смеша на процесе нуклеације, раста кристала, агрегације и физичких својстава финално добијених материјала.

Др Сузана Филиповић је од почетка своје научне каријере публиковала укупно 46 радова у међународним и домаћим часописима. Од претходног избора као аутор или коаутор публиковала је 18 радова, и то: 4 рада у међународним часописима изузетне важности (IF: 2.987, 2.987, 3.057, 3.450), 5 радова у врхунским међународним часописима (IF: 3.133, 3.779, 2.300, 3.250, 2.471), 3 рада у истакнутим међународним часописима (IF: 0.781, 1.781, 0.736), 4 рада у међународним часописима (IF: 0.667, 0.667, 0.885, 0.885) и 2 рада у домаћим часописима. Поред наведених радова, др Сузана Филиповић има 18 саопштења на међународним скуповима и једно предавање по позиву. Укупна вредност М фактора након избора у претходно звање је 126, а након нормирања по формули  $k/(1+0,2(n-7))$  износи 107,51. На основу података из Web of Science и Scopus индексних база цитираност радова је 250, од чега 132 хетероцитата

132, a h-index је 8, на дан 19. 03. 2020. Комплетна библиографија др Сузане Филиповић је дата у Прилогу 1.

## Кратка анализа објављених радова

Научно-истраживачка делатност др Сузане Филиповић је орјентисана ка синтези и карактеризацији материјала, са превасходном применом у електроници. То су углавном материјали који се користе за производњу пасивних електронских компоненти. Први и други део истраживања односе се на синтезу перовскитног магнезијум титаната и кордијерита под строго дефинисаним условима механичке активације и синтеровања у циљу добијања унапређених својстава у циљу употребе ових материјала у електронској индустрији. Трећи део односи се на добијање хијерархијски порозних керамичких структура из полимерних једињења на бази силицијума, који могу бити примењени у еколошке сврхе. Најновији радови усмерени су ка проучавању параметара синтезе на фазни састав, морфолошка и функционална својства спинелне  $MgAl_2O_4$  керамике и мултифероичних  $BaTiO_3/\alpha-Fe_2O_3$  композитних материјала у форми језгро/љуска.

Истраживања система  $MgO-TiO_2$  подразумевала су синтезу и карактеризацију перовскитног  $MgTiO_3$ . Смеша  $MgO-TiO_2$  активирана у интервалу 0–160 минута у планетарном млину у атмосфери ваздуха је даље подвргнута двостепеном синтеровању и синтеровању топлим изостатским пресовањем (HIP). Резултати ових истраживања приказани су у радовима 56, 61, 68 и 93. Показано је да се у оба случаја добија магнезијум титанат, с том разликом што је у случају узорак синтерованих HIP-ом фазни састав такав да је преко 97 %  $MgTiO_3$ , док је секундарна фаза био  $Mg_2TiO_4$ . Ови узорци поседују висок степен неуређености структуре са приближно 40 % кисеоничних ваканција. Температуре синтеровања су снижене за 150 °C, а постигнуте густине су око 90 % од теоријске вредности за узорке двостепено синтероване, а око 96 % за узорке синтероване HIP-ом. Промене диелектричне пермитивности прате тренд промене густине, док на промене у диелектричним губицима доминантан утицај има концентрација дефеката. У циљу даљег испитивања електричних својстава ових керамика, урађена је импедансна анализа. Одређен је допринос компоненте зрна и границе зрна укупној импеданси. Показано је да је укупна електрична отпорност двостепено синтерованих узорак реда величине 10 GΩ, и тиме потврђена њихова изолаторска својства. Капацитивност ових узорак опада са временом активације до 40 минута, а након тога расте, што је повезано са микроструктуром и настанком агломерата у активираним праховима. У случају узорак синтерованих HIP-ом, понашање је потпуно другачије. Ови узорци показују својства полупроводника. Отпорност зрна и границе зрна су процењени из Никвистових дијаграма и потврђено је да спадају у полупроводнике. Овакво понашање објашњено је синтеровањем у инертној атмосфери, где недостатак кисеоника доводи до редукције  $Ti^{IV+}$  у  $Ti^{III+}$  и тиме до формирања полупроводничког материјала. Даље је на овим узорцима урађена анализа пермитивности и тангенса угла губитака у широком опсегу фреквенција. Мерења су вршена применом једносмерне и наизменичне струје, са фреквенцијама до 10 GHz. Коришћене су различите технике мерења и доказана су полупроводничка

својства, са израженом нелинеарношћу и температурском зависношћу електричних параметара. На овај начин је показано да варирањем услова синтеровања магнезијум титанат може мењати својства од изолаторских до полупроводничких, чиме се проширује област примене овог материјала.

Радови 57, 64, 65, 66, 67 и 92 приказују добијање кордијеритне керамике реакцијом у чврстом стању, применом различитих метода синтеровања. У оквиру радова 57 и 67 проучавано је двостепено синтеровање стехиометријске смеше  $MgO$ ,  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$ , која је претходно активирани у високоенергетском планетарном млину у различитим временским интервалима од 0 мин (неактивирани) до 160 мин, у ваздуху. На тако припремљене смеше прахова примењено је двостепено синтеровање, и то: брзо грејање (брзином  $20\text{ }^{\circ}C/min$ ) до  $1300\text{ }^{\circ}C$ , а затим изотермски на  $1200\text{ }^{\circ}C/min$  10 часова. На основу рендгеноструктурне анализе, утврђено је да су сви узорци након синтеровања по саставу кордијерит. Постигнуте вредности густина за активирани и синтеровани узорци кретале су се у интервалу од  $1,82$  до  $2,36\text{ g/cm}^3$ . Примењени режим синтеровања довео је до образовања порозне микроструктуре, са суспендованим абнормалним растом зрна ( $<1\text{ }\mu m$ ). Диелектрична својства ових узорака показала су да се пермитивност креће у распону  $3,63$  за узорак активирани 10 минута до  $4,75$  за узорак активирани 160 мин. Диелектрични губици су мали са тангенсом угла губитака мањим од  $0,02$ . Потврђено је да доминантну улогу на промене у диелектричним својствима имају микроструктура и густина. У другом раду је механичка активација вршена у присуству етанола, у циљу сузбијања појаве агломерата и формирања оптималне микроструктуре. Смеша прахова  $MgO$ ,  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$  је млевена у истим временским интервалима. Примењено је двостепено синтеровање и то: брзо загревање до  $1300\text{ }^{\circ}C$ , изотермски на  $1200\text{ }^{\circ}C$  четири часа. СЕМ микрографије су показале да интензивно мљење у етанолу доводи до повећане хомогености и реактивности коришћених прахова. Утврђено је да овај начин активације доводи до механохемијске реакције формирања  $MgSiO_3$ . Након синтеровања добијен је кордијерит са густинама у интервалу од  $1,79$  до  $2,06\text{ g/cm}^3$  и пермитивностима од  $3,39$  до  $4,25$ . Незнатно ниже густине и пермитивности последица су краћег времена синтеровања. Значајна уштеда у потрошњи енергије је постигнута на рачун незнатног смањена функционалних својстава, применом мљења у течной средини.

Радови 64, 65, 66 и 92 баве се утицајем додатка одговарајућих адитива на синтезу и својства кордијеритне керамике. У радовима 64 и 92 адитив је био  $TeO_2$ . Показано је да је почетак процеса синтеровања и формирања кордијерита померен ка нижим температурама са продужетком времена активације. Такође је показано да додаток телур оксида додатно снижава температуре догађаја у систему. На основу фитовања пикова доказано је да механичка активација води ка интензивирању ових процеса и да продужена активација има различит утицај на синтеровање и на реакцију формирања кордијерита услед различите природе ових процеса. Ефекат механичке активације на формирање кордијерита постаје значајан након 40 минута активације. Такође је утврђено да додаток  $TeO_2$  води ка формирању порозније структуре.

Предмет истраживања у оквиру рада 65 је утицај притиска пресовања на структуру и својства кордијеритне керамике. Смеси оксида додато је 5 масених %

титанијум диоксида и након тога је активирана 10 минута. Примењени притисци за компактирање су били у интервалу од 0,5 до 6 t/cm<sup>2</sup>. Испресци су синтеровани конвенционално у пећи на 1350 °C четири часа. Показано је да густине расту са повећањем примењеног притиска. На кривама промене густине са притиском уочене су две области, што указује на постојање различитих механизма који делују на честице током компактирања. Микроструктуре снимљене на овим узорцима су у сагласности са добијеним густинама. Узорци добијени на нижим притисцима имају изражену отворену порозност, док они пресовани изнад 3 t/cm<sup>2</sup> имају затворене поре са већим областима хомогено синтерованог материјала.

У раду 66 као адитив коришћен је МоО<sub>3</sub>. Показано је да додатак молибден оксида снижава температуру формирања кордијерита за 150 °C и температуру синтеровања за 100 °C као последице појаве течно-фазног синтеровања. ДТА је указала на карактеристичне температуре у систему током грејања од собне температуре до 1400 °C. На основу Кисинцерове једначине, израчунате су енергије активације формирања пре-мулитне фазе, α- и μ- кордијерита. Смањење енергије активације првог процеса од 338 на 215 и другог процеса од 212 на 70 kJ/mol у корелацији је са порастом реактивности праха, која је последица уноса механичке енергије током млевења. Одступање од овог тренда је примећено код агломерисаног праха.

У радовима 58 и 69 обрађено је питање добијања властонитне, хијерархијски порозне керамике из прекерамичких полимера (силоксана). У овим радовима показано је да коришћењем силоксана као знатно реактивнијег извора силицијума, у односу на SiO<sub>2</sub>, властонит може да се добије на знатно нижим температурама, што је посебно значајно у циљу очувања животне средине и уштеде енергије. Такође је показано да се применом различитих органских агенаса за формирање пора (PMMA, нано целулоза, квасац и вата) могу контролисати величина и расподела пора у добијеном материјалу, који ефикасно може да се користи за уклањање тешких метала из отпадних вода. Изучаван је утицај рН вредности, контактеног времена и концентрације јона на ефикасност адсорпције јона As<sup>+5</sup>, Cr<sup>+6</sup> и фосфата. Зависност адсорпције од времена најбоље описује кинетички модел псеудо-другог реда и модел Weber-Morris, који предвиђа интра-честичну дифузију као контролу брзине читавог процеса. Измерени су високи адсорпциони капацитети, 39,97; 21,87 и 15,29 mgg<sup>-1</sup> за As<sup>+5</sup>, Cr<sup>+6</sup> и фосфатне јоне, редом, за узорак у којем је коришћен квасац као пореагент. Утврђено је да стварање великих пора повећава способност адсорбенса за уклањање загађивача, сузбијањем дифузионе отпорности супстрата.

Радови 63 и 70 обрађују утицај допирања алуминијум оксида оксидима прелазних метала. Корунд представља погодан материјал за широку примену у различитим гранама индустрије захваљујући хемијској стабилности, електричним и механичким својствима. Додатком одговарајућих адитива својства материјала могу се контролисано модификовати и прилагођавати специфичним захтевима индустрије. У том светлу, алуминијум оксид је допиран са 1 тежински % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и NiO у циљу побољшања механичких и електричних својстава. Смеше су млене у периоду од 1 час у планетарном млину, а након тога синтероване у пећи и у дилатометру. Утврђено

је да након синтеровања густине достижу вредности у интервалу  $2-3,2 \text{ g/cm}^3$ . За дате смеше, синтеровање повећава пермитивност и смањује губитке, постижући максималну пермитивност 8,32 и тангенс угла губитака 0,027 за узорак са додатком  $\text{MnO}_2$ . Мерења механичких својстава указују на значајне разлике у чврстоћи са додатком различитих оксида прелазних метала. Активирани и синтеровани узорци са додатком мангана и никла, са чврстоћом од 121 и 86 МПа, респективно, имају значајно веће вредности затезне чврстоће од осталих испитиваних узорака услед своје компактније микроструктуре.

Новија истраживања др Сузане Филиповић односе се на синтезу мултифероичних материјала са језгро/љуска структуром, на бази  $\text{BaTiO}_3/\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Ова тематика обрађена је у раду 62. У оквиру овог рада композитне структуре су синтетисане на више начина, варирајући услове припреме (метод синтезе, рН вредност на којој се реакција одиграва и температуру калцинације). Показано је да смањење рН вредности значајно снижава количину добијених једињења гвожђа, док је истовремено са снижењем рН вредности детектован чистији фазни састав. Резултати раманске спектроскопије указују на чињеницу да формирана језгро/љуска структура доводи до редукције тетрагоналности у баријум титанатној решетки као последице купловања између језгра и љуске. Ови резултати су потврђени и мерењем магнетских и диелектричних својстава у широком опсегу фреквенција 50 Hz–5 MHz.

Структурне и морфолошке промене током синтеровања механички активираних смеша  $\text{MgO}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  описане су у радовима 59 и 71. Овде је циљ био да се одреде оптимални услови млевења и синтеровања за добијање чистог магнезијум алумината који има широку примену како у електроници, тако и као ватростални материјал. Због своје отпорности на радиоактивно зрачење често се користи и за прављење језгара за фузионе реакторе. Међутим, у свим наведеним примерима потребно је достићи велике густине, готово теоријске. У том смислу, смеша оксида је прво механички активирана у млину у различитим временским интервалима, па након пресовања синтерована у дилатометру на  $1500^\circ \text{C}$  и топлим пресовањем на  $1450^\circ \text{C}$ . Резултати су показали да се синтеровањем у дилатометру достижу густине од око 78 % од теоријске, док се топлим пресовањем постижу густине  $\sim 100\%$  и без израженог абнормалног раста зрна, што је посебно значајно за побољшање механичких својстава. Такође, механичка активација снижава температуру почетка синтеровања за око  $100^\circ \text{C}$ . У наставку истраживања вариране су температуре синтеровања смеше оксида млевене 1 час. Узорци су синтеровани у температурском интервалу од 1200 до  $1600^\circ \text{C}$ . Монофазни систем је детектован у узорку синтерованом на  $1400^\circ \text{C}$ , док неактивирани поседује трагове полазних компоненти.

### III Цитираност

На основу података из Web of Science и Scopus индексних база цитираност радова је 250, од чега 132 хетероцитата, а h-index је 8, на дан 19. 03. 2020. Списак цитата дат је у Прилогу 2.

#### IV Руковођење пројектима, потпројектима и задацима

Др Сузана Филиповић је руководила потпројектним задатаком *Проучавање параметара синтезе и консолидације на функционална својства електрокерамичких материјала* на пројекту 172057 ОИ – Усмерена синтеза, структура и својства мултифункционалних материјала (руководилац пројекта проф. др Владимир Б. Павловић), у периоду 2011–2019. године, финансираног од стране Министарства за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије.

Такође, у оквиру пројекта француско-српске билатералне сарадње “Интелигентни еко-материјали и нанокмозити“ под бројем 4510339/2016/09/03, а у периоду 2016–2017. године, руководила је истраживањима везаним за *Оптимизацију параметара синтезе нанокмозита на бази прекерамичких полимера*.

#### V Учешће у међународној сарадњи

Др Сузана Филиповић је учесник у међународној сарадњи са Централним универзитетом у Чешкој Републици чији је руководилац Prof. Dr. Karel Maca (Central European Institute of Technology, Brno University of Technology, Brno, Czech Republic). Ова сарадња обухвата истраживања из области савремених метода синтеровања, одакле је проистекло неколико радова категорија M21a, M21, M22 и саопштења на међународним скуповима.

Др Сузана Филиповић учествује и у међународној сарадњи са Центром за истраживање материјала Универзитета у Мисурију (Prof. Dr. William Fahrenholtz, Missouri University of Science and Technology, USA). У оквиру ове сарадње испитује се утицај параметара синтезе и консолидације на добијање ултрагусте спинелне керамике магнезијум алумината. На основу ове сарадње остварени су значајни резултати који су публиковани у више међународних радова M21a и M23.

Др Сузана Филиповић је иницијатор сарадње са Институтом за физику Пољске академије наука (Dr. hab. Lukasz Kilanski, Institute of Physics, Polish Academy of Sciences, Warsaw, Poland). У оквиру сарадње испитују се магнетска својства мултифероичних материјала.

#### VI Табела постигнутих резултата од 2006. до 2020.

Ознака групе	Број радова	Вредност индикатора	Укупна вредност
M14	1	4	4
M21a	4	10	40
M21	10	8	80
M22	8	5	40
M23	17	3	51
M29a	1	1,5	1,5
M32	1	1,5	1,5
M34	41	0,5	20,5
M52	5	1,5	7,5
M53	1	1	1
M64	3	0,2	0,6
M70	1	6	6
Укупно			253,6

