

НАУЧНОМ ВЕЋУ ИНСТИТУТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА САНУ

На седници Научног већа Института техничких наука САНУ одржаној 10.01.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научног рада и испуњености услова за избор у звање *научни саветник* др Смиље Марковић, вишег научног сарадника Института техничких наука САНУ. На основу анализе достављеног материјала и увида у досадашњи рад кандидата, подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографски подаци

Др Смиља Марковић рођена је 22.08.1968. године у Београду. Дипломирала је 1997. год. на Факултету за Физичку хемију Универзитета у Београду, са радом на тему „Испитивање особина фаза натријумдисиликата“. На истом факултету је магистрирала 2003. год. са радом на тему „Синтеза и карактеризација политипова карнегита“. Докторску дисертацију под називом „Синтеза и карактеризација $BaTi_{1-x}Sn_xO_3$ прахова и вишеслојних керамичких материјала“ одбранила је 2008. год. на Факултету за Физичку хемију Универзитета у Београду.

Др Смиља Марковић је у периоду од 01.04.1998. до 01.04.1999. год. радила као истраживач приправник на Факултету за Физичку хемију, Универзитета у Београду. Од 02.04.2001. год. запослена је у Институту техничких наука САНУ. Звање истраживач сарадник стакла је 2003. год., по одлуци Министарства за науку и заштиту животне средине 2008. год. стакла је звање научни сарадник (решење бр. 06-00-69/745 од 24.12.2008. године) а 2012. год. звање виши научни сарадник (решење бр. 06-00-75/777 од 27.06.2012. године).

Ангажована је на пројекту из интегралних и интердисциплинарних истраживања из области хемије које финансира Министарство за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије, налази се у А2 категорији истраживача. До сада је, као аутор или коаутор, објавила укупно 65 публикација. Од тога је 55 међународних публикација, и то: три рада категорије М13 (Монографска студија/поглавље у књизи или рад у тематском зборнику водећег међународног значаја) сва три рада су из серије *Ceramics Transactions* коју објављује издавач Wiley; један рад је категорије М14 (Монографска студија/поглавље у књизи или рад у тематском зборнику међународног значаја) објављен код издавача Atlantis Press, Springer Verlag; 11 радова је категорије М21а (Рад у међународном часопису изузетних вредности); 17 радова је категорије М21 (Рад у врхунском међународном часопису); 11 радова је категорије М22 (рад у истакнутом међународном часопису); 12 радова је категорије М23 (Рад у међународном часопису), аутор је монографије националног значаја (М42) и 9 радова објављених у часописима националног значаја (М52). Укупни импакт фактор објављених радова је 95,599. Осим тога, Др Марковић је одржала једно предавање по позиву, на конференцији *Advanced Ceramics and Application V, Belgrade, Serbia, September 21–23, 2016*, и има 93 саопштења на домаћим и међународним

конференцијама. Коаутор је једног патента на националном нивоу, који је уписан у Регистар патената Завода за интелектуалну својину под бројем **54574**.

Научни радови кандидата др Смиље Марковић су у међународним научним часописима (преба доступним подацима у бази SCOPUS на дан 25.12.2016. год.) цитирани 459 пута, без аутоцитата 410 пута (сви цитати су афирмативни); 13 радова је цитирано више од 13 пута (Хиршов фактор, $h = 13$).

Члан је Друштва за истраживање материјала Србије, а од септембра 2016. год. члан је Председништва Друштва за истраживање материјала Србије. Такође је члан Друштва физикохемичара.

Активно учествује у раду одбора међународних научних конференција, и то у периоду 2013–2016. год. као Председник Научно-организационог одбора конференције са међународним учешћем, Young Researchers' Conference Materials Sciences and Engineering, у организацији Друштва за истраживање материјала Србије и Института техничких наука САНУ, такође, у периоду 2012–2016. год. члан Организационог одбора међународне конференције, YUCOMAT, коју организује Друштво за истраживање материјала Србије.

Др Марковић учествује у раду уређивачких одбора: од 2013. до 2016. год. била је Уредник укупно четири Програма и Књиге апстраката конференције са међународним учешћем, Young Researchers' Conference Materials Sciences and Engineering, у организацији Друштва за истраживање материјала Србије и Института техничких наука САНУ (Program and the Book of Abstracts/Young Researchers' Conference Materials Sciences and Engineering, Belgrade, Serbia; organized by Materials Research Society of Serbia and Institute of Technical Sciences of SASA; editor Smilja Marković). Осим тога, била је гост уредник часописа Техника – Нови материјали, свеске: 2/2014, 2/2015, 3/2015, 4/2015, и 1/2016.

Др Смиља Марковић је рецензент радова у 16 међународних часописа са *ISI* листе и једног домаћег часописа: Chemical and Biochemical Engineering Quarterly; Hemijska industrija; International Journal of Modern Physics B; Journal of Industrial and Engineering Chemistry; Journal of the Serbian Chemical Society; Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers; Journal of Thermal Analysis and Calorimetry; Materials Chemistry and Physics; Materials Science and Engineering B; Materials Science and Engineering C; Nano; Physics and Chemistry of Minerals; Processing and Application of Ceramics; Research on Chemical Intermediates; Solid State Sciences; Science of Sintering; Tehnika – Novi materijali.

Др Марковић је у својству ментора или коментора непосредно руководила изразом три докторске дисертације и два мастер рада. Такође је била и екстерни оцењивач три докторске дисертације.

Области интересовања др Марковић су: перовскитни материјали, и то $\text{BaTi}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$ и $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{Ru}_x\text{O}_{12}$, њихова синтеза и синтеровање; дизајнирање функционално градијентних материјала (ФГМ), синтеровање ФГМ са жељеним микроструктурним карактеристикама, оптимизација процеса синтеровања применом модела коначних елемената и мастер синтеринг криве, карактеризација ФГМ; фотокатализа; синтеза материјала на бази цинк оксида са побољшаним фотокаталитичким својствима под утицајем видљиве светлости; $\text{ZnO}:\text{Co}$, $\text{ZnO}:\text{Fe}$, $\text{ZnO}:\text{Zr}$, итд. корелација кристалне структуре (са посебним акцентом на тачкасте дефекте) са оптичким особинама (апсорпција/рефлексија, енергија процепа, фотолуминисценција); хидроксиапатит, карактеризација прахова и синтерованих густих керамика.

2. Анализа научно-истраживачког рада

Од почетка своје научне каријере С. Марковић је као аутор или коаутор објавила укупно 65 публикација. Од тога је 55 међународних публикација, и то: три рада категорије M13 (Монографска студија/поглавље у књизи или рад у тематском зборнику водећег међународног значаја) сва три рада су из серије *Ceramics Transactions* коју објављује издавач Wiley; један рад је категорије M14 (Монографска студија/поглавље у књизи или рад у тематском зборнику међународног значаја) објављен код издавача Atlantis Press, Springer Verlag; 11 радова је категорије M21a (Рад у међународном часопису изузетних вредности); 17 радова је категорије M21 (Рад у врхунском међународном часопису); 11 радова је категорије M22 (рад у истакнутом међународном часопису); 12 радова је категорије M23 (Рад у међународном часопису), аутор је монографије националног значаја (M42) и 9 радова објављених у часописима националног значаја (M52). Укупни импакт фактор објављених радова је 95,599. Након избора у звање виши научни сарадник, др Смиља Марковић објавила је 36 публикација, при чему је 25 радова штампано у међународним часописима са *ISI* листе и то: 6 радова категорије M21a, 10 радова је категорије M21, пет радова је категорије M22 и четири рада је категорије M23. Њихов укупни импакт фактор је 55,943. Радови су експерименталног карактера, просечан број аутора по раду је 5,92 а просечан импакт фактор по раду је 2,24.

Досадашњи рад С. Марковић сврстава се у област науке о материјалима а може се поделити на пет истраживачких области: (1) креирање, процесирање и карактеризација перовскитних материјала, и то баријум титанат станатних ($BaTi_{1-x}Sn_xO_3$, BTS) прахова, као и синтерованих хомогених и функционално градијентних материјала (ФГМ) и калцијум бакар титанатних ($CaCu_3Ti_4O_{12}$, CCTO) прахова и синтерованих керамика; (2) карактеризација нано-прахова и синтерованих биокерамичких материјала на бази калцијум фосфата (хидроксиапатита, калцијум дефицитарног хидроксиапатита, карбонатног хидроксиапатита и кобалтом супституисаног хидроксиапатита), припрема биокерамичких ФГМ са градијентом фазног састава, корелација микроструктуре/фазног састава и механичких карактеристика; (3) синтеза и карактеризација цинк оксидних прахова са побољшаним оптичким и фотокаталитичким особинама; (4) одређивање расподеле величина честица методом дифракције ласерске светлости и (5) одређивање термичких особина различитих неорганичких и органичких једињења методама диференцијалне сканирајуће калориметрије, диференцијалне термичке анализе и термогравиметрије, уз употребу масене спектрометрије и термомеханичке анализе.

Кратка анализа објављених радова

Истраживачка област (1) односи се на научни рад који је директан наставак докторске дисертације С. Марковић и обухвата перовскитне материјале. Акцент је на проучавању фазних трансформација и кристалне структуре перовскитних материјала типа ABO_3 и $AB'S''O_{12}$ који представљају значајне материјале узимајући у обзир њихова електронска и оптоелектронска својства која их чине погодним за различиту индустријску примену.

Баријум титанат (БТ, $BaTiO_3$) је типични представник једињења типа ABO_3 који је познат по својим изузетним диелектричним, фeroелектричним и пиезоелектричним

својствима. Акценат радова **16** и **24** јесте на проучавању утицаја садржаја јона калаја у кристалној структури баријум титаната на фазне трансформације и структурне промене које директно утичу на диелектричне карактеристике баријум титанат станатних керамичких материјала. Проучавани су баријум титанат станатни (БТС, $\text{BaTi}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$) керамички материјали у чијој кристалној структури се повећава садржај калаја од $x = 0, 0.025, 0.05, 0.07, 0.10, 0.12, 0.15$ до 0.20 . Прахови су синтетисани реакцијом у чврстом стању на температури од $1420\text{ }^\circ\text{C}$. Детаљна анализа кристалне структуре БТС прахова урађена је на основу рендгенске дифракционе анализе (XRD), неутронске дифракционе анализе (NPD), трансмисионе електронске микроскопије (TEM), високорезолуционе трансмисионе електронске микроскопије (HRTEM), електронске дифракције са одабране површине (SAED), док је уређење кристалне структуре на тзв. средњем домету анализирано методом Раманске спектроскопије. Резултати добијени Ритвелдовом методом потврђени су HRTEM и SAED анализом.

Резултати анализе NPD података Ритвелдовом методом показали су да систематско повећање садржаја калаја у кристалној структури $\text{BaTi}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$ доводи до еволуције фазног састава, и то: кристална структура БТ праха ($x = 0$) је тетрагонална, са просторном групом $P4mm$; БТС прахови састава $0.025 \leq x \leq 0.07$ садрже тетрагоналну ($P4mm$) и орторомбичну ($Amm2$) кристалну фазу; БТС прахови са $x = 0.1$ и 0.12 садрже смешу ромбоударске ($R3m$) и кубичне ($Pm3m$) кристалне фазе, док су прахови са $x = 0.15$ и 0.20 кубичне ($Pm3m$) симетрије.

У оквиру истраживачке области (1) урађена је и синтеза и карактеризација неорганске оксидне керамике $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ са потенцијалном применом у електронској индустрији [1]. Прах $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ синтетисан је методама реакције у чврстој фази и механохемијски. Синтетисани прахови су анализирани методама XRD и FESEM, а такође је одређена и расподела величина честица. Синтерабилност прахова је проучавана употребом термичког микроскопа. Прахови су униаксијално пресовани у цилиндричне испреске и синтеровани неизотермски до $1100\text{ }^\circ\text{C}$, примењиване су брзине загревања од $2, 5, 10$ и $20\text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$. Симљене криве скупљања током неизотермског синтеровања коришћене су да би се одредили услови конвенционалног изотермског и двостепеног синтеровања. Методом двостепеног синтеровања узорци су загревани до $1070\text{ }^\circ\text{C}$ и након задржавања на тој температури од 10 минута хлађени су до $1020\text{ }^\circ\text{C}$ и изотермски синтеровани 20 сати. Микроструктура припремљених керамичких материјала проучавана је методом FE-SEM, електричне карактеристике проучаване су у средњој области фреквенција ($42\text{ Hz} - 5\text{ MHz}$) и микроталасној области. Корелисане су електричне карактеристике и микроструктура припремљених $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ керамика. Показано је да метода процесирања $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ прахова као и услови синтеровања значајно утичу на електричне карактеристике ових електрокерамика. Оптимизацијом горе наведених услова могуће је припремити електрокерамику са квалитетним особинама у микроталасној области, што је изузетно битно за примену у мобилној телефонији.

Значајан сегмент рада др Смиље Марковић су функционално градијентни материјали (ФГМ) како БТС тако и калцијум фосфатни; она се бави развојем стратегије синтеровања ФГМ применом приступа мастер синтеринг криве (МСЦ) и модела коначних елемената (ФЕМ). Да би БТС ФГМ могли да се користе као компоненте у електронској индустрији веома је битно да имају квалитетну микроструктуру са одређеном средњом величином зрна и густином, као и без дефеката. Током свог рада на дизајнирању и процесирању БТС ФГМ,

др Марковић је користила најједноставније и најјефтиније поступке (који се такође користе и у највећим светским фабрикама за производњу баријум титанатних компоненти за електронску индустрију), униаксијално пресовање прахова и синтеровање. Овај приступ, услед различите кинетике синтеровања градираних слојева који имају различит хемијски састав, може да доведе до појаве значајних техничких проблема као што су дисторзија компонената, савијање, деламинација, појава пукотина и микроструктурних оштећења. Своје истраживачке активности С. Марковић је усмерила на предвиђање процеса синтеровања сваког од градираних слојева у ФГМ и дизајнирање стратегије синтеровања која је омогућила припрему веома квалитетних електричних компонената без макро- и микроструктурних дефеката. У својим истраживањима С. Марковић је користила приступ мастер синтеринг криве и резултате добијене током неизотермског синтеровања у термичком микроскопу. На основу МСЦ и експерименталних података (скупљање и густина) израчунате су енергије активације процеса синтеровања сваког од појединачних слојева у оквиру ФГМ. Једном формирана МСЦ за одређени материјал може се користити за стратегију процеса синтеровања. На основу развијене стратегије синтеровања креиране су ФГМ компоненте без макро- и микроструктурних дефеката, које су показале веома добре диелектричне карактеристике, велику отпорност границе зрна и одсуство струје цурења. Резултати су објављени у оквиру референци 4 и 131.

Резултати остварени у оквиру истраживачке области (1) објављени су у радовима [1, 4, 16, 24], као и у Монографији националног значаја [131]. Из теме (1) произашла је и докторска дисертација др Љиљане Веселиновић, којој је др Марковић била ментор; као и мастер рад Андреја Гараја, коме је др Марковић била коментор.

Истраживачка област (2) односи се на наноструктурне прахове и синтероване биокерамичке материјале на бази калцијум фосфата (хидроксиапатит, калцијум дефицитарни хидроксиапатит и карбонатни хидроксиапатит), припрему биокерамичких ФГМ са градијентом фазног састава, као и на корелацију микроструктуре/фазног састава са механичким карактеристикама калцијум фосфатних керамика.

У оквиру ове области рађено је на оптимизацији микроструктурних особина биокерамичких материјала на бази хидроксиапатита ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, ХАП), паралелном оптимизацијом метода синтезе и применом конвенционалног и двостепеног синтеровања. Осим тога, одређиване су и функционалне особине синтерованих материјала. Контролом поступака синтезе наноструктурних прахова хидроксиапатита различите стехиометрије (Са/Р односа) и применом одговарајућих услова двостепеног синтеровања направљен је значајан напредак на пољу процесирања материјала на бази хидроксиапатита и заустављања раста зрна у крајњој фази синтеровања, и генерално у области биокерамичких материјала на бази хидроксиапатита.

Применом методе двостепеног синтеровања на наноструктурни прах калцијумом дефицитарног ХАП (Са/Р = 1,63), синтетисаног хидротермалним процесирањем, значајно је снижена температура на којој се може припремити густи бифазни калцијум фосфат. Осим тога, применом двостепеног синтеровања постигнуто је да се просечна величина зрна задржи на 375 nm, што је значајно мање од просечне величине зрна која се добија при конвенционалним синтеровањем истог праха, и која износи 1400 nm. Анализа фазног састава двостепено синтерованих материјала показала је да је добијен двофазни калцијум

фосфат, који је осим фазе хидроксиапатита садржао и нискотемпературску β -фазу трикалцијум фосфата. Овај резултат је веома значајан са аспекта понашања синтерованог материјала у биолошком окружењу. Анализом механичких особина утврђено је да се са смањењем просечне величине зрна и контролом фазног састава побољшава и тврдоћа (са 4,5 на 4,9 GPa) и ломна жилавост (са 0,9 на 1,11 MPa·m^{1/2}) бифазног калцијум фосфата, што је међу најбољим саопштеним вредностима у литератури [131].

У наставку рада на систему калцијум дефицитарног ХАП дошло се до важних сазнања о синтеровању овог материјала различитим брзинама загревања; констатовано је да повећање брзине загревања поспешује процес синтеровања. Ови резултати су корелисани са фазним трансформацијама које се дешавају у систему калцијум дефицитарног ХАП и еволуцијом њиховог фазног састава. Проучавањем микроструктурних карактеристика утврђено је да расподела величина зрна постаје знатно униформнија и да се просечна величина зрна смањује са повећањем брзине загревања са 2 на 20 °C/мин. Осим тога, са повећањем брзине загревања експоненцијално се смањује садржај трикалцијум фосфата у синтерованом материјалу. На овај начин показано је да се жељени однос биоактивности и биокомпатибилности у истом материјалу може креирати једноставном променом брзине загревања [131].

Применом методе двостепеног синтеровања на стехиометријски хидроксиапатит (Ca/P = 1,67) на температурама од 900/850 °C добијен је густо монофазни хидроксиапатит са просечном величином зрна од 75 nm, што представља изузетно значајан резултат у области биокерамичких материјала. Осим тога, утврђен је и механизам синтеровања као дифузно-вискозни ток при дифузији по границама зрна, такође је израчуната и енергија активације процеса синтеровања (око 410 kJ/mol) применом методе мастер синтеринг криве. Указано је на значај микроструктурног уређења појединачних наночестица за понашање током процеса синтеровања. Даљом применом различитих услова двостепеног и конвенционалног синтеровања припремљен је низ потпуно густих материјала са различитом просечном величином зрна [10, 131].

Анализа електричних особина густог синтерованог хидроксиапатита са просечном величином зрна у интервалу од микрометарског до нанометарског нивоа урађена је методом импедансне спектроскопије у области фреквенција од 42 Hz до 5 MHz, и опсегу температура од 800 до 1050 °C, у циклусу грејање/хлађење. Утврђено је да се смањењем просечне величине зрна на нанометарски ниво може побољшати високотемпературска електрична проводљивост хидроксиапатита. Раздвојени су доприноси проводљивости унутрашњости зрна (који зависе од природе материјала) и доприноси граница зрна (који зависе од микроструктуре) и одређене су енергије активације за ове врсте проводљивости. Утврђено је да се у наведеној области температура проводљивост одвија механизмом миграције хидроксилних јона, и да побољшање проводљивости потиче од смањења дифузионих растојања код наноструктурног материјала и одсуства дехидроксилације у кристалној структури хидроксиапатита услед нижих температура процесирања [22].

Коришћењем претходних искустава и одређених услова двостепеног синтеровања, 900/850 °C, припремљени су функционално градијентни материјали. Као прво градирано су трослојни и петослојни испресци од стехиометријског и калцијум дефицитарног хидроксиапатита. Почетни и крајњи слој у оба материјала био је исти, док се састав међуслојева мењао, садржавајући различит однос стехиометријског и калцијум дефицитарног хидроксиапатита (80/20, 50/50, 20/80). Двостепено синтеровање је омогућило

добијање наноструктурних синтерованих материјала различите густине (од потпуно густих до 40 % порозности) и фазног састава (различит однос ХАП и β -трикалцијум фосфата утврђен је методама раманске и инфрацрвене спектроскопије). Таква градијентна расподела микроструктурних и хемијских карактеристика условила је и градијентну промену механичких особина (тврдоћа и модул еластичности), која значајно приближава механичке особине оваквих материјала реалним особинама природног коштаног ткива (које такође има хијерархијску структуру) [23, 131].

Проучаван је утицај различите концентрације јона цирконијума на раст кристала и карактеристике хидроксиапатита. ХАП је синтетисан хемијском преципитацијом, уз услов да молски однос (Ca + Zr)/P увек буде 1,67, при чему је удео цирконијума вариран од 0 до 10 mol. % у односу на Ca. Утврђено је да са повећањем садржаја цирконијума до 10 mol. % долази до значајног смањења у просечној дужини/ширини честица са око 150/20 nm до 45/10 nm. При томе долази и до значајног пораста у специфичној површини материјала, и то са 74 до 137 m²/g. Испитивањем неизотермског синтеровања до 1300 °C утврђено је да је могуће спречити реакцију између хидроксиапатита и цирконијум оксида услед ранијег дешавања фазне трансформације унутар самог нестехиометријског хидроксиапатита. При садржају цирконијума од 10 mol. % утврђено је да потпуна трансформација ХАП у β -трикалцијум фосфат доводи до стресом-индуковане трансформације из тетрагоналног у моноклинични цирконијум оксид. Испитивањем биолошког одговора ових материјала утврђено је да њихова биокомпатибилност није нарушена [25].

Резултати остварени у оквиру истраживачке области (2) објављени су у радовима [10, 22, 23, 25], као и у Монографији националног значаја [131]. Из теме (2) произашла је и докторска дисертација др Миодрага Лукића, коме је др Марковић била ментор.

Истраживачка област (3) односи се на синтезу и карактеризацију цинк оксидних прахова са побољшаним оптичким и фотокаталитичким особинама [21, 37, 133, 137].

Применом хидротермалног процесирања и варирањем рН вредности реакционе смеше, синтетисане су цинк оксидне честице контролисане морфологије и величине. Утврђено је да се величина и морфологија честица мењају од микрометарских штапићастих форми (рН 8–10), преко субмикрометарских елипсоидних честица (рН 11) до наноструктурних сфероидних честица (рН 12–13).

Анализом оптичких својстава свих синтетисаних прахова ZnO уочене су карактеристичне рефлексоне криве, са границом апсорпције на око 380 nm (видљива област спектра), али са јасно дефинисаном разликом у проценту апсорпције у видљивој области спектра. Такође, уочено је да у рефлексиним спектрима синтетисаних прахова цинк оксида постоји мало померање у вредности енергије процепа (E_{bg}) реда величине 0,06 eV ка црвеној области спектра, као и да се вредност E_{bg} смањује са повећањем средње величине честица од наносфера до микрометарских штапићастих форми. У поређењу са компактним тзв. *bulk* ZnO материјалом, и микрометарске и нанометарске честице, синтетисане хидротермалним процесирањем, показују померање E_{bg} вредности ка црвеној области спектра за 0,20 eV, што значи и повећање процента апсорпције видљиве светлости [37, 137].

Микроталасним процесирањем синтетисан је монофазни прах ZnO хексагоналне кристалне структуре, вурцитног типа, величине честица у интервалу од 36 до 133 nm, са средњом величином честица од 67 nm. Утврђено је да су честице цинк оксидог праха униформне, сфероидног облика са делимичном појавом агломерације.

У наставку рада припремљени су композити са полиетилен оксидом (PEO) као фотосензибилним полимером. Коришћен је PEO молекулских маса од 200000, 600000 и 900000 g/mol. У сва три случаја, однос ZnO:PEO у композиту био је 95:5 мас. %. Синтетисани прахови су анализирани методама рендгенске дифракције (XRD), раманске спектроскопије, сканирајуће електронске микроскопије (FE-SEM), UV-Vis дифузионе рефлексионе спектроскопије и фотолуминисценције. Уочено је да су се у кристалној структури ZnO формирали тачкасти дефекти (кисеоничне ваканције и интерстиције цинка). Утврђено је да композитни прахови зарджавају морфологију и униформност честица полазног ZnO, тј. да прахови PEO не доводе до накнадне агрегације или агломерације, и да су величине честица приближно исте као и код полазног цинк оксидног праха.

Израчуната вредност енергетског процепа за полазни прах ZnO је 3,23 eV, што се разликује од 3,37 eV - вредности која се најчешће наводи у литератури за *bulk* ZnO материјал. Овај податак показује да је енергетски процеп полазног праха ZnO померен у видљиву област спектра (384 nm), и да су побољшане оптичке карактеристике за примену при деловању видљиве светлости. Појава смањења енергетског процепа објашњена је применом микроталасног процесирања при синтези ZnO, којим су, због веома кратког времена трајања синтезе и велике енергије унете у систем, у кристалној структури цинк оксидних честица креирани тачкасти дефекти (кисеоничне ваканције и интерстиције цинка) који повећавају апсорпцију светлости. Присуство тачкастих дефеката потврђено је фотолуминисцентним мерењима. Осим тога, утврђено је да без обзира на молекулску масу, PEO не утиче на величину енергетског процепа цинк оксидних композита.

Утицај молекулске масе PEO на фотокаталитичку активност композита ZnO/PEO испитан је посредством обезбојавања раствора метиленско плавог при директним деловањем видљиве светлости. У сва три случаја утврђена је велика ефикасност након 6 сати озрачивања, такође је утврђено да је највећа ефикасност при употреби PEO молекулске масе 600000 g/mol. Побољшана ефикасност g/mol објашњена је: (1) тачкастим дефектима унетим у кристалну структуру ZnO микроталасним процесирањем, и (2) присуством PEO као извора кисеоничних интерстиција [21, 133].

Резултати остварени у оквиру истраживачке области (3) објављени су у радовима [21, 37, 133, 137]. Осим тога, из теме (3) произашла је докторска дисертација др Ане Станковић као и мастер рад Владимира Рајића.

Истраживачка област (4) одређивање расподеле величина честица методом дифракције ласерске светлости. У овом аспекту својих активности С. Марковић се не бави рутинским анализама, већ својим знањем и искуством колегама, из великог броја научних институција у Србији као и различитих факултета, помаже у одређивању оптималних услова деагломерације и дисперговања прахова да би се добили резултати који одговарају стварном стању, с обзиром да је показано да метода није универзална већ да свака врста прашкастих материјала захтева специфичан третман пре саме анализе [139].

Др Марковић је детаљним анализама расподеле величина честица органских и неорганских материјала допринела успешној реализацији докторских дисертација, помажући ауторима код решавања различитих научно-истраживачких проблема. У тим дисертацијама су јој се аутори захвалили (др Дарко Косановић, др Сузана Филиповић, о чему сведоче захвалнице достављене у прилогу 3) а такође постоје и заједничке публикације [5,6,8,17,18,19,20,34,36,44,46,47].

Треба нагласити да је рад [139], који је објављен 2012. год. у домаћем часопису Техника – Нови материјали (у свесци на енглеском језику) који није на *ISI* листи (али је доступан *online*), до сада веома запажен, цитиран је више од 40 пута (овај број цитата није ушао у коначни збир од 459 јер се рад не налази у бази SCOPUS).

Истраживачка област (5) одређивање термичких особина различитих неорганских и органских једињења методама диференцијалне сканирајуће калориметрије, диференцијалне термијске анализе и термогравиметрије, уз употребу масене спектрометрије и термомеханичке анализе. Као и у случају истраживачке области (4) и у области (5) др Марковић углавном сарађује са студентима докторских студија и помаже им да анализирају термијске особине различитих органских и неорганских материјала. На овај начин остварена је сарадња са следећим колегама током израде њихових докторских дисертација:

Бојана Баланч, ТМФ, Универзитет у Београду [7],

Катарина Ћирић, ИНН Винча [9],

Сузана Филиповић, Институт техничких наука САНУ [34],

Дарко Косановић, Институт техничких наука САНУ [17],

Лазар Калуђеровић, Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду [35].

Избор од пет најзначајнијих научних остварења, које према Прилогу 1, **Елементи за квалитативну оцену научног доприноса кандидата**, тачка 1.1 *Извештај Комисије за писање реферата*, из Правилника о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије („Службени гласник РС“, бр. 110/05, 50/06-исправка, 18/10 и 112/15), кандидат предлаже за анализу надлежном матичном одбору је:

1. **S. Marković**, V. Rajić, A. Stanković, Lj. Veselinović, J. Belošević-Čavor, K. Batalović, N. Abazović, S.D. Škapin D. Uskoković, Effect of PEO molecular weight on sunlight induced photocatalytic activity of ZnO/PEO composites, *Solar Energy* 127 (2016) 124-135. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.01.026> M21, (IF): 3.469, (2014.). Категорије: Energy & Fuels (21/89) <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X16000487>
2. **S. Marković**, M.J. Lukić, S. D. Škapin, B. Stojanović, D. Uskoković, Designing, fabrication and characterization of nanostructured functionally graded HAp/BCP ceramics, *Ceramics International* 41 (2015) 2654-2667. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.10.079> M21, (IF): 2.605, (2014.). Категорије:

Materials science, Ceramics (4/26) (3 hetero citata)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884214016046>

3. Lj. Veselinović, M. Mitrić, L. Mančić, M. Vukomanović, B. Hadžić, **S. Marković**, D. Uskoković, The effect of Sn for Ti substitution on the average and local crystal structure of $\text{BaTi}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 0.20$), *Journal of Applied Crystallography* 47 (2014) 999-1007. doi:10.1107/S1600576714007584_M21, (IF): 3.343, (2012.). Kategorije: Crystallography (4/23) (3 hetero citata)
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1107/S1600576714007584/abstract>
4. Lj. Veselinović, M. Mitrić, M. Avdeev, **S. Marković**, D. Uskoković, New insights into $\text{BaTi}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 0.20$) phase diagram from neutron diffraction data, *Journal of Applied Crystallography* 49 (2016) 1726-1733. DOI: <http://dx.doi.org/10.1107/S1600576716013157>. M21, (IF): 2.570, (2015.). Kategorije: Crystallography (7/26)
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1107/S1600576716013157/abstract>
5. M.J. Lukić, S. D. Škapin, **S. Marković** and D. Uskoković, Processing route to fully dense nanostructured HAp bioceramics: from powder synthesis to sintering, *Journal of the American Ceramic Society*, 95 (11) (2012) 3394-3402. DOI: 10.1111/j.1551-2916.2012.05376.x. M21a, (IF): 2.272, (2011.). Kategorije: Materials Science, Ceramics (2/25) (4 heterocitata)
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1551-2916.2012.05376.x/full>

3. Квалитативна оцена научног доприноса

3.1 Показатељи успеха у научном раду

Др Марковић је члан Друштва за истраживање материјала Србије, а од септембра 2016. год. члан је Председништва Друштва за истраживање материјала Србије. Такође је члан Друштва физикохемичара.

Активно учествује у раду одбора међународних научних конференција, и то у периоду 2013–2016. год. као Председник Научно-организационог одбора конференције са међународним учешћем, Young Researchers' Conference Materials Sciences and Engineering, у организацији Друштва за истраживање материјала Србије и Института техничких наука САНУ, такође, у периоду 2012–2016. год. члан Организационог одбора међународне конференције, YUCOMAT, коју организује Друштво за истраживање материјала Србије.

Др Марковић учествује у раду уређивачких одбора: од 2013. до 2016. год. била је Уредник укупно четири Програма и Књиге апстраката конференције са међународним учешћем, Young Researchers' Conference Materials Sciences and Engineering, у организацији Друштва за истраживање материјала Србије и Института техничких наука САНУ (Program and the Book of Abstracts/Young Researchers' Conference Materials Sciences and Engineering,

Belgrade, Serbia; organized by Materials Research Society of Serbia and Institute of Technical Sciences of SASA; editor Smilja Marković). Осим тога, била је гост уредник часописа Техника – Нови материјали, свеске: 2/2014, 2/2015, 3/2015, 4/2015, и 1/2016.

Др Смиља Марковић је рецензент радова у 16 међународних часописа са *ISI* листе и једног домаћег часописа: Chemical and Biochemical Engineering Quarterly; Хемijsка индустрија; International Journal of Modern Physics B; Journal of Industrial and Engineering Chemistry; Journal of the Serbian Chemical Society; Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers; Journal of Thermal Analysis and Calorimetry; Materials Chemistry and Physics; Materials Science and Engineering B; Materials Science and Engineering C; Nano; Physics and Chemistry of Minerals; Processing and Application of Ceramics; Research on Chemical Intermediates; Solid State Sciences; Science of Sintering; Tehnika – Novi materijali.

3.2 Ангажованост у развоју услова за научни рад, образовање и формирање научних кадрова

Др Марковић је у својству ментора или коментора непосредно руководила израдом три докторске дисертације и два мастер рада:

1. (ментор) Љиљана Веселиновић, „Кристална структура и електричне карактеристике $BaTi_{1-x}Sn_xO_3$ и $CaCu_3Ti_{4-x}Ru_xO_{12}$ перовскитних материјала“, докторска дисертација одбрањена 27.09.2016. год. Факултет за физичку хемију, Универзитет у Београду.
2. (ментор) Миодраг Лукић, „Двостепено синтеровање, фазне трансформације, електричне и механичке особине наноструктурних биокерамичких материјала на бази хидроксиапатита“, докторска дисертација одбрањена 28.12.2014. год. Факултет за физичку хемију, Универзитет у Београду.
3. (коментор) Ана Станковић, „Корелација функционалних и физичко-хемијских својстава прахова ZnO добијених различитим методама синтезе“, докторска дисертација одбрањена 03.10.2014. год. Факултет за физичку хемију, Универзитет у Београду.
4. (ментор) Владимир Рајић, „Синтеза и карактеризација фотокаталитички активног композита ZnO -полиетиленоксид“, мастер рад одбрањен 06.12.2013. год. Факултет за физичку хемију, Универзитет у Београду.
5. (коментор) Андреј Гарај, „Диелектричне особине $BaTi_{1-x}Sn_xO_3$ ($0 \leq x \leq 0.1$) керамичких материјала синтерованих у атмосфери ваздуха и аргона“, мастер рад одбрањен 28.09.2015. год. Факултет за физичку хемију, Универзитет у Београду.

Наведени докторски и мастер радови урађени су у оквиру подпројекта „Наноструктурни синтеровани материјали побољшаних својстава и функционално градијентни материјали“, чији је др Марковић руководио, а у оквиру пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја III45004.

Др Марковић је детаљним анализама расподеле величина честица и/или термијских карактеристика органских и неорганских материјала допринела успешној реализацији докторских дисертација, помажући ауторима код решавања различитих научно-истраживачких проблема. У тим дисертацијама су јој се аутори захвалили (др Дарко Косановић, др Сузана Филиповић, о чему сведоче захвалнице достављене у прилогу 3) а такође постоје и заједничке публикације.

3.3 Међународна сарадња

У периоду 01.01.2008.–31.12.2009. год. учествовала је на пројекту билатералне научне и технолошке сарадње између Републике Србије и Републике Словеније (Институт техничких наука САНУ, руководилац проф. др. Драган Ускоковић и Институт Јожеф Стефан, Љубљана, руководилац проф. др Данило Суворов; назив пројекта: „Дизајнирање функционалних материјала на молекуларном и нано нивоу“, тј. Designing of Functional Materials on Molecular and Nano Level).

У периоду 01.01.2012.–31.12.2013. руководила је билатералним пројектом научне и технолошке сарадње између Републике Србије и Републике Словеније (Институт техничких наука САНУ, руководилац др. Смиља Марковић и Институт Јожеф Стефан, Љубљана, руководилац проф. др Срећо Шкапин; назив пројекта: „Наноструктурно дизајнирање вишефункционалних и синтерованих функционално градијентних електричних и биолошких материјала“, тј. Nanostructural Designing of Multifunctional and Sintered Electrical and Biological Functionally Graded Materials, евиденциони број пројекта 651-03-1251/2012-09/06).

Резултат ове вишегодишње сарадње су многобројни заједнички радови публиковани у међународним часописима изузетне вредности: *Journal of the American Ceramic Society* (2012) и *Journal of the European Ceramic Society* (2011); врхунским међународним часописима: *Solar Energy* (2016), *Materials Research Bulletin* (2015), *Ceramics International* (2015), *Powder Technology* (2012), *Materials Letters* (2012), *Biomedical Materials* (2011) и *Journal of Applied Crystallography* (2010); као и радови у истакнутим међународним часописима *Materials Science & Engineering B* (2012) и *Journal of Materials Science* (2011).

Др Марковић је 2015. год. започела сарадњу са др Максимом Авдејевим из Браговог института, у оквиру аустралијског центра за нуклеарну науку и технологију (Maxim Avdeev, Bragg Institute, Australian Nuclear Science and Technology Organisation, Kirrawee DC, Australia). Резултат досадашње сарадње је заједничка публикација у врхунском међународном часопису *Journal of Applied Crystallography* (2016).

3.4 Организација научног рада

Од почетка рада у ИТН САНУ др Смиља Марковић је учествовала на следећим пројектима које је финансирало Министарство за науку тј. Министарство за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије:

Из основних истраживања:

1431 – Молекуларно дизајнирање монолитних и композитних материјала (2002–2005, руководилац пројекта проф. др Драгољуб Ускоковић, научни саветник у Институту техничких наука САНУ).

142006 – Синтеза функционалних материјала са контролисаном структуром на молекуларном и нано нивоу (2006–2010, руководилац проф. др Драган Ускоковић, научни саветник у Институту техничких наука САНУ).

Из интегралних и интердисциплинарних истраживања

III45004 – Молекуларно дизајнирање наночестица контролисаних морфолошких и физичко-хемијских карактеристика и функционалних материјала на њиховој основи (2011–2016, руководилац пројекта проф. др Драгољуб Ускоковић, научни саветник у пензији, Институт техничких наука САНУ). У оквиру пројекта III45004, од 2011. год. до данас, др Смиља Марковић руководи подпројектом „Наноструктурни синтеровани материјали побољшаних својстава и функционално градијентни материјали“.

У периоду 01.01.2012.–31.12.2013. руководила је билатералним пројектом научне и технолошке сарадње између Републике Србије и Републике Словеније (Институт техничких наука САНУ, руководилац др. Смиља Марковић и Институт Јожеф Стефан, Љубљана, руководилац проф. др Срећо Шкапин; назив пројекта: „Наноструктурно дизајнирање вишефункционалних и синтерованих функционално градијентних електричних и биолошких материјала“, тј. Nanostructural Designing of Multifunctional and Sintered Electrical and Biological Functionally Graded Materials, евиденциони број пројекта 651-03-1251/2012-09/06).

Др Смиља Марковић је одговорна за организовање рада и одржавање уређаја који припадају капиталној опреми и то (1) уређаја за одређивање расподеле величина честица на бази дифракције ласерске светлости (Particle size analyzer, Mastersizer 2000, Malvern Instruments Ltd., UK) и (2) уређаја за термичку карактеризацију (ДТА/ТГ, ДСЦ, дилатометар, уз могућу употребу масеног спектрометра, Setsys, SETARAM Instrumentation, Caluire, France). Карактеризација на овим уређајима је омогућена свим заинтересованим сарадницима из НИО и факултета у Србији и Црној Гори.

Др Смиља Марковић је члан организационих одбора међународних скупова и то: (1) од 2013. до 2016. год. као Председник Научно-организационог одбора конференције са међународним учешћем, Young Researchers' Conference Materials Sciences and Engineering, у организацији Друштва за истраживање материјала Србије и Института техничких наука САНУ, (2) у периоду 2012–2016. год. члан Организационог одбора међународне конференције, YUCOMAT, коју организује Друштво за истраживање материјала Србије.

3.5 Квалитет научних резултата

Научни радови кандидата др Смиље Марковић су, у међународним научним часописима (према доступним подацима у бази SCOPUS, до сада цитирани 459 пута, без аутоцитата 410 пута (сви цитати су афирмативни); 13 радова је цитирано више од 13 пута (Хиршов фактор, $h = 13$). Списак литературе у којој су цитиране публикације кандидата налази се у прилогу 2 приложеног материјала.

Након избора у звање виши научни сарадник, др Смиља Марковић објавила је 36 публикација, при чему је 25 радова штампано у међународним часописима са *ISI* листе и то: 6 радова категорије M21a, 10 радова је категорије M21, пет радова је категорије M22 и четири рада је категорије M23. Њихов укупни импакт фактор је 55,943. Радови су експерименталног карактера, просечан број аутора по раду је 5,92 а просечан импакт фактор по раду је 2,24.

Од укупног броја публикација, 65, С. Марковић је први аутор на 20; након избора у претходно звање, у односу на 25 публикација штампаних у међународним часописима, први је аутор на 3 рада. Међутим, као што је предходно истакнуто, кандидаткиња је веома посвећена научном раду са млађим сарадницима, где је њена улога у едукацији и директној

помоћи при експерименталном раду и тумачењу резултата значајна. На основу руковођења докторатима и мастер радовима проистекло је 6 радова на којима је др Марковић коаутор. На 16 публикација др Марковић је коаутор на основу детаљних анализа расподеле величина честица методом дифракције ласерске светлости и/или детаљних анализа термијских карактеристика материјала. Њено усавршавање и научна свестраност довели су до даљег развоја научних кадрова, као и до успешне реализације научних истраживања у Србији, Црној Гори и Словенији.

ЗАКЉУЧАК

Анализа постигнутих резултата др Смиље Марковић показује да се њен научноистраживачки рад може окарактерисати као веома успешан, продуктиван и прогресиван.

Евидентан је веома широк истраживачки интерес и мултидисциплинарност кандидата. До сада је објавила 65 публикација, од тога је 55 у међународним часописима. Након избора у претходно звање, виши научни сарадник, објавила је 25 публикација у међународним часописима са укупним импакт фактором 58,518, просечним бројем аутора по раду 5,96 и просечним импакт фактором 2,25. Укључујући и остале категорије публикација које је др Марковић објавила у временском периоду после избора у претходно звање, њена научна компетентност је 233 бода и значајно превазилази квантитативне критеријуме за избор у звање научни саветник, задате Правилником о стицању научних звања. Резултати кандидата су афирмативно цитирани 410 пута.

Оригинални научни допринос др Смиље Марковић се првенствено огледа у значају њених публикација, које покрећу важна питања у оквиру области науке о материјалима, а односе се на креирање и карактеризацију функционално градијентних материјала, пре свега баријум титанатних, који имају значајну примену у електронској индустрији, али и калцијум-фосфатних са потенцијалном применом у биомедицини. Осим тога, значајан допринос С. Марковић је и у корелацији кристалне структуре са електронским и опто-електронским карактеристикама индустријски значајних материјала као што су баријум титанат станатни и цинк оксидни материјали.

Др Смиља Марковић је током свог научног рада показала способност руковођења научним радом и успешност у креирању научних кадрова. Тренутно руководи подпројектом у оквиру интегралног и интердисциплинарног пројекта III45004. Као коментор или ментор била је ангажована у изради три докторске дисертације и два мастер рада. Захваљујући свестраности у научним дисциплинама, организаторским способностима и посвећености, успела је да оствари, и током дугог низа година задржи, сарадњу са великим бројем истраживача из Србије, Црне Горе, као и Словеније и Аустралије.

Имајући у виду оригиналност истраживања С. Марковић, значајан допринос научним сазнањима, квалитет публикованих резултата и способност да организује научно-истраживачки рад, а у складу са Правилником о стицању научних звања, чланови Комисије са задовољством

ПРЕДЛАЖУ

Научном већу Института техничких наука САНУ да овај Извештај усвоји, потврди испуњеност услова и предложи надлежној Комисији Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, да др Смиља Марковић буде изабрана у звање *Научни саветник*.

У Београду,
07.02.2017.

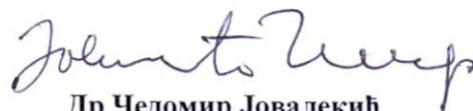
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



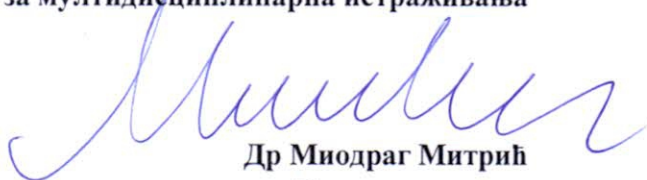
Др Лидија Манчић
Научни саветник,
Институт техничких наука САНУ



Проф. др. Никола Цвјетићанин
Редовни професор
Факултет за физичку хемију, Универзитет у Београду



Др Чедомир Јовалекић
Научни саветник
Институт за мултидисциплинарна истраживања



Др Миодраг Митрић
Научни саветник
ИНН Винча