

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Пошто смо на VI седници Изборног и Наставно-научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду одржаној 27. маја 2020. године одређени за чланове Комисије за припрему извештаја о докторском раду "**Полимерни нанокompозити на бази PVDF и механички активирани праха ZnO, карактеризација и примена у MEMC технологијама**" из научне области Примењена физика, коју је кандидат Адриана Пелеш Тадић предала Физичком факултету Универзитета у Београду дана 25. маја 2020. године, подносимо следећи

РЕФЕРАТ

1. Основни подаци о кандидату

1.1 Биографски подаци

Адриана Пелеш Тадић рођена је 1. августа у Београду 1984. године. Физички факултет Универзитета у Београду, смер Примењена физика и информатика, уписала је 2003. године, а дипломирала 2011. године са просечном оценом 8,20 и 10 на дипломском раду "Примена дигиталне видео камере у спектроскопији - калибрација и примене". Постдипломске, докторске, студије је уписала 2012. године на Физичком факултету Универзитета у Београду, смер Примењена и компјутерска физика. Удата је и мајка је једног детета.

Адриана Пелеш Тадић је свој научноистраживачки рад започела у Институту техничких наука САНУ, где је запослена од 2012. године у звању истраживач приправник. У звање истраживач сарадник изабрана је 11. 10. 2013. године. У периоду од 1. 6. 2012. године до 31. 12. 2019. године била је ангажована на пројекту основних истраживања ОИ172057 "Усмерена синтеза, структура и својства мултифункционалних материјала", под руководством др Владимира Павловића, редовног професора Пољопривредног факултета Универзитета у Београду.

1.2 Научна активност

У оквиру истраживачких активности на пројекту ОИ172057, финансираног од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, Адриана Пелеш Тадић се бавила технологијом и механичком активацијом прахова, синтезом полимерних композита, испитивањем утицаја параметара процесирања на структуру и својства материјала, математичким моделовањем и MEMC технологијама.

У току докторских студија, учествовала је на међународним конференцијама и објавила 6 публикација у међународним часописима (по две публикације из категорија: M21a, M22 и M23). Радови Адриане Пелеш Тадић цитирани су 32 пута (извор: WebOfScience, пресек стања 19. јуна 2020. године) не рачунајући аутоцитате.

Рецензирала је радове за два часописа: *Ceramics International* и *Science of Sintering*.

Учествовала је у организацији међународне конференције *Advanced Ceramics and Application V*, која се одржавала 21-23. септембра 2016. године у Београду.

2. Опис предатог рада

2.1. Основни подаци

Дисертација је урађена под руководством проф. др Зорана Николића, ванредног професора Физичког факултета Универзитета у Београду. Ментор испуњава услове Физичког факултета за руковођење изработом докторске дисертације јер је у наставном звању и аутор је значајног броја радова из области примењене физике, који су објављени у водећим међународним часописима. За руководиоца ове докторске дисертације именован је од стране ННВ Физичког факултета на седници одржаној 25. 3. 2019. године.

Због мултидисциплинарности и комплексности студија везаних за ову дисертацију, истраживања су спроведена у више различитих лабораторија, како у Србији тако и у Америци. Посебан допринос у остваривању ових истраживања, односно у координисању неким деловима истраживања, су дали проф. др Вера Павловић (Универзитет у Београду – Машински факултет), др Ивана Јокић (Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију), академик проф. др Зоран Ђурић (САНУ), као и проф. др Владимир Павловић (Универзитет у Београду - Пољопривредни факултет) који је био руководиоца пројекта на којем је кандидаткиња била ангажована.

Докторска дисертација “Полимерни наноконтрополимери на бази PVDF и механички активирани праха ZnO, карактеризација и примена у MEMC технологијама” кандидаткиње Адриане Пелеш Тадић је изложена у оквиру 7 поглавља са 55 слика, 11 табела и 226 референци, на укупно 124 стране (112 пагинираних страна).

2.2. Предмет и циљ рада

Предмет истраживања везаних за ову дисертацију припада области Примењене физике. Истраживања су се односила на синтезу, карактеризацију и примену полимерних наноконтрополимера на бази PVDF полимера и механички активираних праха цинк-оксида у MEMC технологијама.

Након развоја микроелектронике и интегрисаних кола почело је развијање микро-електро-механичких система [1]. Микро-електро-механички системи (MEMS) представљају системе који садрже микроелектронику којом могу да региструју, процесирају и анализирају промене у околини. За разлику од електричних кола, MEMS не мора да има чврсту и компактну структуру, већ се одликује структурама у облику мембрана, шупљина, канала, итд. MEMS чине механички елементи, сензори, појачавачи, електрични и електронски уређаји постављени на полупроводнички чип. MEMS направе су минијатурних димензија, енергетски и економски оптимални, лако се интегришу у друге системе и лако се модификују, ниског су коефицијената топлотног ширења, велике отпорности на вибрације, удар и зрачење.

Због потребе усавршавања самог MEMS-а потребно је усавршити и делове потребне за изградњу MEMS уређаја. Материјали који се углавном користе за реализацију MEMS уређаја су силицијум, полимер, метал, керамика и композитни материјали. Силицијум, као материјал који се највише користи за производњу интегрисаних кола, је финансијски повољан, висококвалитетан и из тих разлога је нашао широку примену и код MEMS-а [3-5]. Међутим, производња кристалног силицијума је релативно скупа и комплексна (потребно је пречишћавање, изразито је крт и нефлексибилан), па се из тог разлога тежи ка усавршавању материјала који би

могли да замене силицијум. Један од таквих материјала је полимер. Он је релативно једноставан за производњу (процес синтезе), што значи да се може производити у великим количинама, са унапред задатим карактеристикама. Полимери који се данас користе у производњи МЕМС-а су: полисилоксани [6, 7], полиимиди [8-10] полиуретани, полиестри [11] и др.

Имајући у виду напред наведене захтеве за квалитетном конструкцијом микро-електро-механичких система, један од циљева ове дисертације је био развијање нове методе за добијање што квалитетнијег мултифункционалног материјала, који би могао да нађе примену у изради сензора код МЕМС система. Основни типови сензора, који би се развијали на бази материјала који је испитиван у овој дисертацији, су они чија би се пиезоотпорна и пиезоелектрична својства користила за детекцију промене притиска. Поред тога, извршена истраживања би могла да се користе и за развој пиезоелектричних МЕМС хемијских и биолошких сензора заснованих на адсорпцији.

Мултифункционални полимерни нанокомполити се могу користити као различити типови сензора притиска, као појачавачи и као компоненте за микро и нано електронске механичке системе (МЕМС, НЕМС). Они су нарочито значајни у медицини, војној индустрији, као и у аеро-космонаутици. Комбиновањем различитих карактеристика полимерне матрице и пуниоца, могу се добити материјали побољшаних својстава са модификованом мултифункционалношћу, погодни за примену код сензора притиска, инфрацрвених сензора, материјала за складиштење енергије, итд.

Међу материјалима који се користе као матрице за полимерне композите нарочито су значајни поливинилиден флуорид и његови кополимери. Поливинилиден флуорид (PVDF) је семи-кристални флуорополимер ниске густине, који може испољити фероелектрична, пиезоелектрична и пироелектрична својства. Кључни фактори који утичу на његове електричне карактеристике и детерминишу његова пиезоелектрична, механичка, оптичка, електрична и термичка својства су његове поларне конформације, кристална структура и кристалинност. Све ове карактеристике зависе од начина припреме датог материјала, а у случају полимерних композита зависе и од типа додатака, величине честица као и начина њиховог дисперговања унутар полимерне матрице.

Познато је да PVDF може да кристалише у пет кристалних фаза (α , β , γ , δ и ϵ) при чему су само две пиезоактивне, β и γ . Управо је присуство ове две фазе неопходно да би се PVDF могао примењивати као сензор. Због тога је неопходно развити поступке који омогућавају стабилизацију ових фаза у широком опсегу спољашњих фактора (температура, притисак, влажност, изложеност различитим видовима зрачења). Утврђено је да се додавањем различитих керамичких материјала може значајно утицати на својства PVDF-а, при чему су у ту сврху додавани баријум-титанат, силицијум-диоксид, титан-диоксид, итд. Многа истраживања указују да се смањењем величина честица пуниоца може утицати на начин умрежавања полимерних ланаца као и генерисања жељене кристалне фазе полимерне матрице. Један од начина добијања нано честица повећане површинске активности је механичка активација. Механичка активација је са физичко-хемијске тачке гледишта сложен процес који зависи како од технолошких параметара, тако и од карактеристика полазног материјала. Применом механичке активације активност праха може се повећати у зависности од врсте активатора, времена активације, атмосфере у реакционим посудама и других параметара. При изради ове дисертације су "solution cast" методом синтетисани нанокомполити на бази PVDF и праха ZnO (који је претходно подвргнут механичкој активацији, у планетарном млину са куглицама, и тиме му је промењена структура). "Solution cast" метода је једна од најједноставнијих и најјефтинијих метода

за добијање како танких тако и дебелих филмова, за разлику од "spin coating" методе, која се много чешће употребљава. Један од циљева ове дисертације био је да се помоћу модификованих ZnO честица као пуниоца подстакне формирање фероелектричне и пиезоактивне фазе полимера (β -фаза), што је значајно за потенцијалну примену у МЕМС технологијама.

Карактеризација механички активираних прахова ZnO и добијених полимерних нанокомпозита је вршена применом већег броја савремених метода, као што су: скенирајућа и трансмисиона електронска микроскопија (СЕМ и ТЕМ), адсорпционо-десорпциона анализа (физисорпција азота), рендгенска дифракциона анализа (XRD), метода фотоелектронске спектроскопије X зрацима (XPS), Раманова спектроскопија и инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом (Fourier) трансформацијом (FTIR). Поред тих метода, за карактеризацију структуре и својстава PVDF/ZnO нанокомпозита су коришћене и додатне методе, као што су: методе испитивања електричних карактеристика (диелектричне константе и тангенса угла диелектричних губитака), метода АФМ и РФМ микроскопије, диференцијална скенирајућа калориметрија (DSC) и наноиндентација.

Значајне референце из области на коју се дисертација односи:

- [1] J. Sjöblom, R. Lindbergh, S.E. Friberg, Microemulsions - phase equilibria characterization, structures, applications and chemical reactions, *Adv. Colloid Interfac.* 65 (1996) 125–287.
- [2] J.A. Yáñez, S.W.J. Wang, I.W. Knemeyer, M.A. Wirth, K.B. Alton, Intestinal lymphatic transport for drug delivery, *Adv. Drug Delivery Rev.* 63 (2011) 923–942.
- [3] R. Strey, Microemulsion microstructure and interfacial curvature, *Colloid Polym. Sci.* 272 (1994) 1005–1019.
- [4] European Pharmacopoeia, seventh ed., Council of Europe, Strasbourg, 2010., S.A. Campbell
- [5] *Fabrication Engineering at the Micro- and Nanoscale*, Ch. 12, Oxford University Press, New York, 2008.
- [6] M. Gad-el-Hak (Ed.), *MEMS: Design and Fabrication*, Chapter 3, CRC Press, Boca Raton, FL, 2006
- [7] H. Geng (Ed.), *Semiconductor Manufacturing Handbook*, Chapter 11, McGraw-Hill, New York, NY, 2005
- [8] J.-C. Eloy, *MEMS market outlook*, Yole Development, 2011.
- [9] J.-C. Eloy, *MEMS market outlook*, Yole Development, 2012.
- [10] N. Maluf, *An introduction to micro-electro-mechanical systems engineering*, Artech House, Boston, 2000.
- [11] A. Georgiev, E. Spassova, J. Assa, G. Danev, Preparation of Polyimide Thin Films by Vapour Deposition and Solid State Reactions, *Polymer Thin Films*, Abbass A Hashim ed., 2010.

2.3. Публикације

Из истраживања током израде докторске дисертације Адриане Пелеш Тадић директно су произашла два научна рада објављена у водећим међународним часописима ($ИФ > 1$):

1. A. Peleš, V.P. Pavlović, S. Filipović, N. Obradović, L. Mančić, J. Krstić, M. Mitrić, B. Vlahović, G. Rašić, D. Kosanović, V.B. Pavlović, Structural investigation of mechanically activated ZnO powder, Journal of Alloys and Compounds 648 (2015) 971-979, doi:10.1016/j.jallcom.2015.06.247 **M21a**

2. A. Peleš, O. Aleksić, V. P. Pavlović, V. Djoković, R. Dojčilović, Z. Nikolić, F. Marinković, M. Mitrić, V. Blagojević, B. Vlahović and V. B. Pavlović, Structural and electrical properties of ferroelectric poly(vinylidene fluoride) and mechanically activated ZnO nanoparticle composite films, Phys. Scr. 93 (2018) 105801 (11pp), <https://doi.org/10.1088/1402-4896/aad749> **M22**

2.4 . Преглед дисертације и научних резултата изложених у дисертацији

2.4.1. Увод

У уводу је дат кратак преглед микроелектромеханичких система (MEMС) и технологија и материјала који се примењују у изради сензора. Дат је и кратак приказ карактеристика полимера PVDF који се користи у изради сензора, као и приказ могућности за унапређење сензорских својстава.

2.4.2. Поглавље 1.

У првом поглављу (теоријском делу) ове дисертације кратко су представљене основне карактеристике диелектричних материјала, са посебним освртом на пиезоелектрична својства, као и физичко-хемијска својства полимера PVDF и својства цинк-оксида који је у дисертацији коришћен као пунилац унутар PVDF матрице. Такође је дат и приказ најважнијих ефеката и стадијума процеса механичке активације, као и приказ основа MEMС технологија и направа.

2.4.3. Поглавље 2.

У другом поглављу детаљно су описане методе које су коришћене приликом анализе структуре и својстава узорака разматраних у овој дисертацији. У поглављу 2.2. су наведене експерименталне методе које су коришћене за анализу узорака при изради ове дисертације. [A3], [A4].

2.4.4. Поглавље 3.

У трећем поглављу је описан начин добијања механички активираних праха ZnO и начин синтезе полимерних наноконтропозита на бази PVDF полимера и праха ZnO [A3], [A4].

2.4.5. Поглавље 4.

Поглавље 4 се односи на резултате и дискусију. Пре синтезе наноконтропозита је најпре детаљно проучен утицај механичке активације на структуру и физичка својства

ZnO [A3], [A4], [BO-1], [ВП-6], [ВП-10]. Такође је анализиран утицај механички активираних праха ZnO (као пуниоца) на механичка својства (еластичност, тврдоћа и храпавост површине, ...), електричне карактеристике и функционална својства полимерних нанокompозита на бази PVDF [A4]. Извршене су различите молекулске симулације у циљу утврђивања утицаја величине (пречника) и облика инкорпорираних честица на својства полимерних нанокompозита и добијени резултати су анализирани у овом поглављу.

Детаљно је приказана пратећа теоријска анализа која подржава примену полимера, добијених у овој дисертацији, у MEMC технологијама у виду хемијских и биолошких сензора [A1], [BO-2], [BO-3] [ВП-8], [ВП-11].

2.4.6. Поглавље 5.

У петом поглављу представљени су резултати истраживања у области пиезоелектричних MEMC хемијских и биолошких сензора заснованих на адсорпцији [A1], [BO-2], [BO-3], [ВП-8], [ВП-11].

2.4.7. Поглавље 6.

У шестом поглављу су дати закључци проистекли из докторске дисертације, а најважније ставке из тог поглавља су кратко представљене у даљем тексту.

Механичка активација је довела до опадања средње величине честица ZnO праха, уз појаву меких агломерата при најдужој активацији (следи из СЕМ анализа), промене специфичне површине праха (следи из резултата БЕТ методе), као и до промене у специфичној запремини мезо- и микропора, при чему су у праху доминирале мезопоре. Ритвелд метода показала је да је дошло до изразитог смањења величине кристалита као и до повећања микронапрезања. До оваквих промена је дошло услед стварања дефеката и пораста напрезања унутар хексагоналне структуре праха ZnO. Раманови спектри неактивираних и механички активираних прахова, добијени применом ласерске светлости таласне дужине $\lambda=633 \text{ nm}$, показали су да интензитет најјаче E2(high) моде опада са порастом времена активације, што је у складу са смањењем величине честица и кристалита у активираним праху. Пораст интензитета пика који потиче од доприноса поларних LO мода првог реда A1(LO) и E1(LO), након примене механичке активације, указује на пораст концентрације сопствених дефеката. Константовано је да повећање интензитета спектра у непосредној околини A1(LO)+E1(LO) пика може потицати и од појачаног присуства површинских оптичких фонона. Посматрајући спектре праха активираних 30 минута, примећене су велике промене у области Рамановог помераја изнад 700 cm^{-1} при чему је изглед овог дела спектра подсећао на изглед спектра у случају постојања резонантног појачања. Могућност појаве резонантног појачања мода другог реда је дискутована на основу литературних података о том ефекту. Снимања су урађена при три различите таласне дужине ласерске побуде и тиме је констатовано да при ласерској екситацији $\lambda=442 \text{ nm}$ Раманов спектар свих активираних прахова изгледа као типичан спектар резонантног Рамановог расејања за ZnO, иако је енергија фотона при овој екситацији битно нижа од вредности ширине забрањене зоне.

Након синтезе полимерних нанокompозита на бази PVDFa и праха ZnO, тако добијени узорци подвргнути су детаљним анализама које су таксативно набројане у поглављу 2.2 овог реферата. Скенирајућа електронска микроскопија (СЕМ) показала је да главну улогу у стварању сферулитне структуре имају управо честице праха ZnO.

Механичка активација је обезбедила праху да се боље диспергује, у поређењу са прахом који није механички активиран. Она је честице праха учинила ситнијим, а површину активном. Да би се утврдила присутност фаза унутар матрице, примењена је рендгеноструктурна анализа (XRD). Она показала да су у полазном PVDF-у биле присутне све три фазе (α , β , и γ -као доминантна). Након додавања праха ZnO, пикови на XRD спектру, указали су на пораст удела алфа фазе, док је након додавања механички активираног праха примећен обрнут тренд и пораст удела бета фазе. Са изведеним закључцима на основу добијених резултата XRD анализом, слажу се и резултати добијени Рамановом спектроскопијом као и FTIR анализом.

Мерењем диелектричних карактеристика у функцији температуре, примећен је пораст диелектричне пропустљивости код нанокмпозита са механички активираним ZnO прахом као пуниоцем, у поређењу са чистим полимером и нанокмпозитима са неактивираним прахом. Констатовано је да је оваква карактеристика директна последица различитог процеса кристализације PVDF матрице у присуству механички активираног пуниоца и може се закључити да је пораст диелектричне константе у директној вези са порастом удела бета фазе.

Наноиндентацијом је утврђено да механичке карактеристике узорака, као што су Јунгов модул еластичности и тврдоћа узорака, у великој мери зависе од удела бета фазе унутар њих. Храпавост узорка је одређена микроскопом атомских сила (AFM) и констатован је битан скок у вредности храпавости након додавања механички активираног праха цинк-оксида. Пиезо одговор полимерних матрица одређен је применом пиезоелектричног микроскопа, и у складу је са претходним резултатима.

Један од циљева ове дисертације био је развој материјала који поседује својства погодна за примену у биолошким и хемијским сензорима. У анализи која је приказана у овој дисертацији, разматран је FBAR сензор чији је пиезоелектрични слој направљен од нанокмпозита на бази PVDF и праха ZnO који је механички активиран 10 минута. Дебљина таквог сензора износила је $t_p=650$ nm, а осетљива површина: $A=10^{-9}$ m². За тако дефинисан сензор у дисертацији су представљени битни математички модели и приказани резултати теоријске анализе шума сензора, који потиче од стохастичке природе физичких процеса који су у основи рада адсорпционих сензора. Адсорпционо-десорпциони (АД) процеси представљају једну од основних карактеристика, које се одигравају на површини таквог сензора. Када би се такав сензор нашао у окружењу „таргет“ молекула, ови би бивали адсорбовани, а потом десорбовани са површине. На основу приказане анализе АД шума могуће је добити информације о супстанци која је адсорбована на површини као и о њеној концентрацији.

Поред поменутог математичког модела, у овој дисертацији је приказан и модел којим је могуће одредити карактеристичне фреквенције спектра експериментално добијеног АД шума, помоћу којих могу да се одреде параметри адсорбоване супстанце као и њена идентификација.

3. Списак публикација

A M21a-M23 Радови публиковани у међународним часописима

Кандидат има шест публикованих радова у међународним часописима, а од тога су четири рада публикована у часописима са импакт фактором већим од 1. Од поменутих шест радова, по два рада припадају категоријама M21a, M22 и M23.

Радови у водећим међународним часописима (импакт фактор >1)

[A1] Z. Djurić, I. Jokić, A. Peleš, Fluctuations of the number of adsorbed molecules due to adsorption–desorption processes coupled with mass transfer and surface diffusion in bio/chemical MEMS sensors. *Microelectronic Engineering* 124 (2014) 81–85, doi:10.1016/j.ceramint.2014.04.023 **M22**

[A2] D. Kosanović, J. Živojinović, N. Obradović, V.P. Pavlović, V.B. Pavlović, A. Peleš, M.M. Ristić, "The influence of mechanical activation on the electrical properties of Ba_{0.77}Sr_{0.23}TiO₃ ceramics", *Ceramics International*, 40, 8 Part A (2014) 11883-11888, doi:10.1016/j.ceramint.2014.04.023 **M21a**

[A3] A. Peleš, V.P. Pavlović, S. Filipović, N. Obradović, L. Mančić, J. Krstić, M. Mitrić, B. Vlahović, G. Rašić, D. Kosanović, V.B. Pavlović, Structural investigation of mechanically activated ZnO powder, *Journal of Alloys and Compounds* 648 (2015) 971-979, doi:10.1016/j.jallcom.2015.06.247 **M21a**

[A4] A. Peleš, O. Aleksić, V. P. Pavlović, V. Djoković, R. Dojčilović, Z. Nikolić, F. Marinković, M. Mitrić, V. Blagojević, B. Vlahović and V. B. Pavlović, Structural and electrical properties of ferroelectric poly(vinylidene fluoride) and mechanically activated ZnO nanoparticle composite films, *Phys. Scr.* 93 (2018) 105801 (11pp), <https://doi.org/10.1088/1402-4896/aad749> **M22**

Радови у осталим међународним часописима

[A5] Peles Adriana, Djordjevic Natasa, Obradovic Nina, Tadic Nenad, Pavlovic Vladimir, Influence of Prolonged Sintering Time on Density and Electrical Properties of Isothermally Sintered Cordierite-based Ceramics, *Science of Sintering*, 45 (2013) 157-164, doi: 10.2298/SOS1302157P **M23**

[A6] N. Obradović, N. Đorđević, A. Peleš, S. Filipović, M. Mitrić, V. B. Pavlović, The Influence of Compaction Pressure on the Density and Electrical Properties of Cordierite-based Ceramics, *Science of Sintering*, 47 (2015) 15-22, doi:10.2298/SOS1501015O **M23**

Б М33 Саопштење штампано у целисти са међународног скупа MIEL

Z. G. Djuric, I. M. Jokic, A. Peles, "Highly sensitive graphene-based chemical and biological sensors with selectivity achievable through low-frequency noise measurement Theoretical considerations", *Proceedings of the International Conference on Microelectronics, ICM (2014 29th International Conference on Microelectronics, MIEL 2014), IEEE, 2014, pp. 153-156, <http://dx.doi.org/10.1109/MIEL.2014.6842108>*

В М34 Учешће на међународним конференцијама и семинарима

[BO-1] Adriana Peleš, Suzana Filipović, Vera P. Pavlović, Miodrag Mitrić, Nina Obradović, Vladimir B. Pavlović, The influence of mechanical activation on the structure of ZnO, Program and the Book of Abstracts / Twelfth Young Researchers' Conference Materials Sciences and Engineering December 11-13, 2013, Belgrade, Serbia (Oral presentation), <http://www.itn.sanu.ac.rs/opus4/frontdoor/index/index/docId/695>

[BO-2] Z. Djurić, I. Jokić, A. Peleš, Highly Sensitive Graphene-based Chemical and Biological Sensors with Selectivity Achievable through Low-Frequency Noise Measurement Theoretical Considerations, 29th International conference on microelectronics, Belgrade, Serbia 12-14 May 2014 (oral presentation), <http://dx.doi.org/10.1109/MIEL.2014.6842108>

[BO-3] Adriana Peleš, Zoran Djurić and Ivana Jokić, Analysis of the low-frequency noise spectrum in graphene-based biochemical sensors and its application in analyte recognition and quantification, The Fourteenth Young Researchers' Conference Materials Sciences and Engineering, December 9-11, 2015. Belgrade (oral presentation).

[BII-1] Jelena Živojinović, Nina Obradović, Vera P. Pavlović, Vladimir B. Pavlović, Adriana Peleš, Momčilo M. Ristić, The influence of mechanical activation on the electrical properties of Ba_{0.77}Sr_{0.23}TiO₃, Advanced Ceramics and Application : new frontiers in multifunctional material science and processing : program and the book of abstracts : II Serbian Ceramic Society Conference, Sep 30th-Oct 1st, 2013, Belgrade (2013) (poster presentation) <http://www.itn.sanu.ac.rs/opus4/frontdoor/index/index/docId/387>

[BII-2]. Nina Obradović, Adriana Peleš, N. Đorđević, Smilja Marković, Miodrag Mitrić, Vladimir B. Pavlović, Influence of one activated component on the sintering process of three phase system, The Fifteenth Annual Conference YUCOMAT 2013: Programme and the Book of Abstracts (2013), (poster presentation), <http://www.itn.sanu.ac.rs/opus4/frontdoor/index/index/docId/663>

[BII-3] Nataša Đorđević, A. Mihajlović, Adriana Peleš, Nina Obradović, Vladimir B. Pavlović Influence of MoO₃ on cordierite ceramics sintering and crystallization, The Fifteenth Annual Conference YUCOMAT 2013: Programme and the Book of Abstracts (2013), (poster presentation), <http://www.itn.sanu.ac.rs/opus4/frontdoor/index/index/docId/650>

[BII-4] Nebojša Labus, J. Krstić, Adriana Peleš, Jelena Živojinović, Maria Vesna Nikolić, Density of the ZnTiO₃ nanopowder as a loose powder and as a compact obtained by different methods, Advanced Ceramics and Application : new frontiers in multifunctional material science and processing : program and the book of abstracts : II Serbian Ceramic Society Conference, Sep 30th-Oct 1st, 2013, Belgrade (2013) (poster presentation), <http://www.itn.sanu.ac.rs/opus4/frontdoor/index/index/docId/673>

[BII-5] Jelena Živojinović, Darko Kosanović, Nina Obradović, Adriana Peleš, Nebojša Labus, Suzana Filipović, Vladimir B. Pavlović, Miodrag Mitrić, Momčilo Ristić, Dilatometric Analysis of Mechanically Activated SrTiO₃ Powder, Advanced Ceramics and Application : new frontiers in multifunctional material science and processing : program and the book of abstracts : II Serbian Ceramic Society Conference, Sep 30th-Oct 1st, 2013, Belgrade (2013), (poster presentation), <http://www.itn.sanu.ac.rs/opus4/frontdoor/index/index/docId/676>

[BII-6] Adriana Peleš, Vera P. Pavlović, Nina Obradović, Jelena Živojinović, Miodrag Mitrić, Vladimir B. Pavlović, Characterization of mechanically activated ZnO powder, Advanced Ceramics and Application : new frontiers in multifunctional material science and

processing : program and the book of abstracts : II Serbian Ceramic Society Conference, Sep 30th-Oct 1st, 2013, Belgrade, (poster presentation),
<http://www.itn.sanu.ac.rs/opus4/frontdoor/index/index/docId/688>

[BII-7] Nina Obradović, Nataša Đorđević, Nebojša Labus, Adriana Peleš, Miodrag Mitrić, Vladimir B. Pavlović, Density and electrical properties of cordierite based ceramics as function of compaction pressure, Advanced Ceramics and Application : new frontiers in multifunctional material science and processing : program and the book of abstracts : II Serbian Ceramic Society Conference, Sep 30th-Oct 1st, 2013, Belgrade (2013), (poster presentation), <http://www.itn.sanu.ac.rs/opus4/frontdoor/index/index/docId/678>

[BII-8] Zoran Đurić, Ivana Jokić, Adriana Peleš, Fluctuations of the number of adsorbed molecules due to adsorption-desorption processes coupled with mass transfer and surface diffusion in bio/chemical MEMS sensors, The 39th International Conference on Micro and Nano Engineering MNE 2013, 16-19 September 2013, London, UK (Poster presentation), <http://www.itn.sanu.ac.rs/opus4/frontdoor/index/index/docId/820>

[BII-9] Vladimir B. Pavlović, Adriana Peleš, Vera P. Pavlović, V. Đoković, R. Dojčilović, M. Dukić, B. Vlahović, Piezoelectric polymer/ceramic nanostructures for mechanical energy harvesting, Advanced Ceramics and Application : new frontiers in multifunctional material science and processing : program and the book of abstracts : II Serbian Ceramic Society Conference, Sep 30th-Oct 1st, 2013, Belgrade, (poster presentation),

[BII-10] A. Peleš, S. Filipović, N. Obradović, J. Krstić, V. Pavlović, The morphological characterization of mechanically activated ZnO powder, Advanced Ceramics and Application III, 29.09.-01.10.2014, Belgrade, Serbia (poster presentation),
<http://www.itn.sanu.ac.rs/opus4/frontdoor/index/index/docId/875>

[BII-11] Zoran Djurić, Ivana Jokić and Adriana Peleš, Analyte Recognition And Quantification Based On Fluctuation Phenomena On The Active Surface Of Biochemical Sensors, The 19th Symposium on Condensed Matter Physics - SFKM 2015, Belgrade - Serbia (poster presentation), <http://www.sfkm.ac.rs/book.pdf>

[BII-12] N. Tadić, A. Peleš, N. Radić, B. Stojadinović, B. Grbić, R. Vasilić, S. Stojadinović, Photocatalytic properties of Al₂O₃/ZnO coatings formed by plasma electrolytic oxidation on aluminum substrate, Advanced Ceramics and Application IV, 21.09.-23.09.2015 Belgrade, Serbia (poster presentation),
<http://www.itn.sanu.ac.rs/opus4/frontdoor/index/index/docId/690>

Г М64 Учесће на домаћим конференцијама

[ГО-1] Suzana Filipović, Nina Obradović, Vladimir B. Pavlović, Adriana Peleš, Smilja Marković, Miodrag Mitrić, Nebojša Mitrović, Mehanohemijaska Sinteza Magnezijum Titanata, Etran 2-5 juna 2014, Vrnjačka Banja, Srbija (oral presentation),
<http://www.itn.sanu.ac.rs/opus4/frontdoor/index/index/docId/903>

4. Цитати

[A1] Z. Djurić, I. Jokić, A. Peleš, Fluctuations of the number of adsorbed molecules due to adsorption–desorption processes coupled with mass transfer and surface diffusion in bio/chemical MEMS sensors. *Microelectronic Engineering* 124 (2014) 81–85, doi:10.1016/j.ceramint.2014.04.023 **M22**

Цитиран у:

1. Negi, Shubham; Mittal, Poornima; Kumar, Brijesh; et al., Organic LED based light sensor for detection of ovarian cancer, *MICROELECTRONIC ENGINEERING* Volume: 218 Article Number: 111154 Published: OCT 15 2019

2. Acimovic, Srdjan S.; Sipova-Jungova, Hana; Emilsson, Gustav; et al., Antibody-Antigen Interaction Dynamics Revealed by Analysis of Single-Molecule Equilibrium Fluctuations on Individual Plasmonic Nanoparticle Biosensors, *ACS NANO* Volume: 12 Issue: 10 Pages: 9958-9965 Published: OCT 2018

3. Sovilj, Platon; Vujcic, Bojan; Sokola, Matija; et al., STOCHASTIC MEASUREMENT OF NOISE TRUE RMS USING TWO-BIT FLASH A/D CONVERTERS, *TEHNICKI VJESNIK-TECHNICAL GAZETTE* Volume: 24 Issue: 5 Pages: 1315-1322 Published: OCT 2017

4. Yayli, Mustafa Ozgur; Kandemir, Suheyla Yerel; Cercevik, Ali Erdem, A practical method for calculating eigenfrequencies of a cantilever microbeam with the attached tip mass, *JOURNAL OF VIBROENGINEERING* Volume: 18 Issue: 5 Pages: 3070-3077 Published: AUG 2016

5. Karparvarfard, S. M. H.; Asghari, M.; Vatankhah, R., A geometrically nonlinear beam model based on the second strain gradient theory, *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCE* Volume: 91 Pages: 63-75 Published: JUN 2015

[A2] D. Kosanović, J. Živojinović, N. Obradović, V.P. Pavlović, V.B. Pavlović, A. Peleš, M.M. Ristić, "The influence of mechanical activation on the electrical properties of Ba_{0.77}Sr_{0.23}TiO₃ ceramics", *Ceramics International*, 40, 8 Part A (2014) 11883-11888, doi:10.1016/j.ceramint.2014.04.023 **M21a**

Цитиран у:

1. Kosanovic, D.; Blagojevic, V. A.; Maricic, A.; et al., Influence of mechanical activation on functional properties of barium hexaferrite ceramics, *CERAMICS INTERNATIONAL* Volume: 44 Issue: 6 Pages: 6666-6672 Published: APR 15 2018

2. Song, Chunlin; Shi, Mengqi; Liu, Lanlan, The effect of SiO₂ doping content on microstructure and dielectric properties of 0.99Ba(0.5)Sr(0.5)TiO(3)-0.01SnO(2) ceramics, *FERROELECTRICS* Volume: 537 Issue: 1 Pages: 61-67 Published: 2018

3. Kosanovic, D. A.; Blagojevic, V. A.; Labus, N. J.; et al., Effect of Chemical Composition on Microstructural Properties and Sintering Kinetics of (Ba,Sr) TiO₃ Powders,

SCIENCE OF SINTERING Volume: 50 Issue: 1 Pages: 29-38 Published: JAN-MAR 2018

4. Singh, Laxman; Kim, Ill Won; Sin, Byung Cheol; et al., Combustion synthesis of nanostructured Ba-0.8(Ca,Sr)(0.2)TiO₃ ceramics and their dielectric properties, CERAMICS INTERNATIONAL Volume: 41 Issue: 9 Pages: 12218-12228 Part: B Published: NOV 2015

5. Ristanovic, Z.; Kalezic-Glisovic, A.; Mitrovic, N.; et al., The Influence of Mechanochemical Activation and Thermal Treatment on Magnetic Properties of the BaTiO₃-Fe_xO_y Powder Mixture, SCIENCE OF SINTERING Volume: 47 Issue: 1 Pages: 3-14 Published: JAN-APR 2015

[A3] A. Peleš, V.P. Pavlović, S. Filipović, N. Obradović, L. Mančić, J. Krstić, M. Mitrić, B. Vlahović, G. Rašić, D. Kosanović, V.B. Pavlović, Structural investigation of mechanically activated ZnO powder, Journal of Alloys and Compounds 648 (2015) 971-979, doi:10.1016/j.jallcom.2015.06.247 **M21a**

Цитиран у:

1. Carvalho, M. H.; Rizzo Piton, M.; Lemine, O. M.; et al., Effects of strain, defects and crystal phase transition in mechanically milled nanocrystalline In₂O₃ powder, MATERIALS RESEARCH EXPRESS Volume: 6 Issue: 2 Article Number: 025017 Published: FEB 2019

2. Turemis, M.; Keskin, I. C.; Kati, M. I.; et al., Optimizing Optical and Structural Properties of Nanocomposites by ZnO and BP-3, RUSSIAN JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY A Volume: 92 Issue: 9 Pages: 1762-1771 Published: SEP 2018

3. Zivojinovic, Jelena; Pavlovic, Vera P.; Kosanovic, Darko; et al., The influence of mechanical activation on structural evolution of nanocrystalline SrTiO₃ powders, JOURNAL OF ALLOYS AND COMPOUNDS Volume: 695 Pages: 863-870 Published: FEB 25 2017

4. Yakushova, N. D.; Pronin, I. A.; Averin, I. A.; et al., Research of structural properties of zinc oxide nanopowders obtained by high-energy mechanical milling (attritor) using Raman spectroscopy, Conference: 24th International Conference on Vacuum Technique and Technology (VTT) Location: St Petersburg Electrotechn Univ LETI, St Petersburg, RUSSIA Date: JUN 06-08, 2017. 24TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON VACUUM TECHNIQUE AND TECHNOLOGY Book Series: Journal of Physics Conference Series Volume: 872 Article Number: UNSP 012032 Published: 2017

5. Markovic, Smilja; Stankovic, Ana; Dostanic, Jasmina; et al., Simultaneous enhancement of natural sunlight and artificial UV-driven photocatalytic activity of a mechanically activated ZnO/SnO₂ composite, RSC ADVANCES Volume: 7 Issue: 68 Pages: 42725-42737 Published: 2017

6. Shin, JaeWook; You, Jung-Min; Lee, Jungwoo Z.; et al., Deposition of ZnO on bismuth species towards a rechargeable Zn-based aqueous battery, PHYSICAL CHEMISTRY CHEMICAL PHYSICS Volume: 18 Issue: 38 Pages: 26376-26382 Published: OCT 14 2016

7. Brankov, Marijana; Locharoenrat, Kitsakorn, Photostability testing for coumarin-153 doped ZnO thin films prepared with spin-coating technique, UKRAINIAN JOURNAL OF PHYSICAL OPTICS Volume: 17 Issue: 2 Pages: 75-80 Published: 2016

[A4] A. Peleš, O. Aleksić, V. P. Pavlović, V. Djoković, R. Dojčilović, Z. Nikolić, F. Marinković, M. Mitrić, V. Blagojević, B. Vlahović and V. B. Pavlović, Structural and electrical properties of ferroelectric poly(vinylidene fluoride) and mechanically activated ZnO nanoparticle composite films, Phys. Scr. 93 (2018) 105801 (11pp), <https://doi.org/10.1088/1402-4896/aad749> **M22**

Цитиран у:

1. Kornienko, Victoria S.; Tsipotan, Aleksey S.; Aleksandrovsky, Aleksandr S.; et al., Brownian dynamics of the self-assembly of complex nanostructures in the field of quasi-resonant laser radiation, PHOTONICS AND NANOSTRUCTURES-FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS Volume: 35 Article Number: UNSP 100707 Published: JUL 2019

[A5] Peles Adriana, Djordjevic Natasa, Obradovic Nina, Tadic Nenad, Pavlovic Vladimir, Influence of Prolonged Sintering Time on Density and Electrical Properties of Isothermally Sintered Cordierite-based Ceramics, Science of Sintering, 45 (2013) 157-164, doi: 10.2298/SOS1302157P **M23**

Цитиран у:

1. Naga, S. M.; Sayed, M.; El-Omla, M. M.; et al., Processing of electric ceramic insulators from slate rocks and MgO, MATERIALS AND MANUFACTURING PROCESSES

2. Obradovic, Nina; Pavlovic, Vera; Kachlik, Martin; et al., Processing and properties of dense cordierite ceramics obtained through solid-state reaction and pressure-less sintering, ADVANCES IN APPLIED CERAMICS Volume: 118 Issue: 5 Pages: 241-248 Published: JUL 4 2019

3. Obradovic, N.; Fahrenholtz, W. G.; Filipovic, S.; et al., The effect of mechanical activation on synthesis and properties of MgAl₂O₄ ceramics, CERAMICS INTERNATIONAL Volume: 45 Issue: 9 Pages: 12015-12021 Published: JUN 15 2019

4. Pavlovic, Marko; Andric, Ljubisa; Radulovic, Dragan; et al., Influence of Mechanical Activation of a Cordierite-Based Filler on Sedimentation Stability of Lost Foam

Refractory Coatings, SCIENCE OF SINTERING Volume: 51 Issue: 1 Pages: 15-25
Published: 2019

5. Sanad, M. M. S.; Rashad, M. M.; Abdel-Aal, E. A.; et al., Novel cordierite nanopowders of new crystallization aspects and its cordierite-based glass ceramics of improved mechanical and electrical properties for optimal use in multidisciplinary scopes, MATERIALS CHEMISTRY AND PHYSICS Volume: 162 Pages: 299-307 Published: JUL 15 2015

6. Dordevic, N.; Obradovic, N.; Kosanovic, D.; et al., Sintering of Cordierite in the Presence of MoO₃ and Crystallization Analysis, SCIENCE OF SINTERING Volume: 46 Issue: 3 Pages: 307-313 Published: 2014

[A6] N. Obradović , N. Đorđević, A. Peleš, S. Filipović, M. Mitrić, V. B. Pavlović, The Influence of Compaction Pressure on the Density and Electrical Properties of Cordierite-based Ceramics, Science of Sintering, 47 (2015) 15-22, doi:10.2298/SOS1501015O **M23**

Цитиран у:

1. Obradovic, Nina; Blagojevic, Vladimir; Filipovic, Suzana; et al., Kinetics of thermally activated processes in cordierite-based ceramics, JOURNAL OF THERMAL ANALYSIS AND CALORIMETRY Volume: 138 Issue: 5 Pages: 2989-2998 Published: DEC 2019

2. Obradovic, Nina; Pavlovic, Vera; Kachlik, Martin; et al., Processing and properties of dense cordierite ceramics obtained through solid-state reaction and pressure-less sintering, ADVANCES IN APPLIED CERAMICS Volume: 118 Issue: 5 Pages: 241-248 Published: JUL 4 2019

3. Pavlovic, Marko; Andric, Ljubisa; Radulovic, Dragan; et al., Influence of Mechanical Activation of a Cordierite-Based Filler on Sedimentation Stability of Lost Foam Refractory Coatings, SCIENCE OF SINTERING Volume: 51 Issue: 1 Pages: 15-25 Published: 2019

4. Obradovic, Nina; Gigov, Mihajlo; Dordevic, Aleksandar; et al., Shungite - a carbon-mineral rock material: Its sinterability and possible applications, PROCESSING AND APPLICATION OF CERAMICS Volume: 13 Issue: 1 Pages: 89-97 Published: 2019

5. Obradovic, Nina; Filipovic, Suzana; Dordevic, Natasa; et al., Microstructural and Electrical Properties of Cordierite-based Ceramics Obtained After Two-step Sintering Technique, SCIENCE OF SINTERING Volume: 48 Issue: 2 Pages: 157-165 Published: MAY-AUG 2016

6. Obradovic, Nina; Dordevic, Natasa; Filipovic, Suzana; et al., Reaction kinetics of mechanically activated cordierite-based ceramics studied via DTA, JOURNAL OF THERMAL ANALYSIS AND CALORIMETRY Volume: 124 Issue: 2 Pages: 667-673 Published: MAY 2016

7. Ayala-Landeros, J. G.; Saucedo-Rivalcoba, V.; Bribiesca-Vasquez, S.; et al., Influence of Corn Flour as Pore Forming Agent on Porous Ceramic Material Based Mullite: Morphology and Mechanical Properties, SCIENCE OF SINTERING Volume: 48 Issue: 1 Pages: 29-39 Published: JAN-APR 2016

[BO-2] Z. Djurić, I. Jokić, A. Peleš, Highly Sensitive Graphene-based Chemical and Biological Sensors with Selectivity Achievable through Low-Frequency Noise Measurement Theoretical Considerations, 29th International conference on microelectronics, Belgrade, Serbia 12-14 May 2014 (oral presentation), <http://dx.doi.org/10.1109/MIEL.2014.6842108>

Цитиран у:

1. Sovilj, Platon; Vujicic, Bojan; Sokola, Matija; et al., STOCHASTIC MEASUREMENT OF NOISE TRUE RMS USING TWO-BIT FLASH A/D CONVERTERS, TEHNICKI VJESNIK-TECHNICAL GAZETTE Volume: 24 Issue: 5 Pages: 1315-1322 Published: OCT 2017

ЗАКЉУЧАК

Имајући у виду актуелност теме, као и оригиналне резултате добијене у докторској дисертацији, Комисија је закључила да докторска дисертација "ПОЛИМЕРНИ НАНОКОМПОЗИТИ НА БАЗИ PVDF И МЕХАНИЧКИ АКТИВИРАНОГ ПРАХА ZnO, КАРАКТЕРИЗАЦИЈА И ПРИМЕНА У МЕМС ТЕХНОЛОГИЈАМА" коју је предала Адриана Пелеш Тадић, даје значајан допринос научној области Примењена физика и да су задовољени сви прописани услови за одобравање одбране дисертације. Део научних резултата из тезе кандидаткиње публикован је у врхунским међународним часописима, цитиран у стручној литератури и представљен на међународним конференцијама. Пошто су сви остали прописани услови за одбрану тезе задовољени,

ПРЕДЛАЖЕМО

Наставно-научном већу Физичког факултета Универзитета у Београду да усвоји овај Реферат и да одобри јавну одбрану ове докторске дисертације.

У Београду, 25. јуна 2020. године

Комисија:

др Зоран Николић,
ванредни професор, ментор,
Универзитет у Београду, Физички факултет

др Иван Белча,
редовни професор,
Универзитет у Београду, Физички факултет

др Душан Поповић,
ванредни професор,
Универзитет у Београду, Физички факултет

др Вера Павловић,
ванредни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Ивана Јокић,
виши научни сарадник,
Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију