

НАУЧНОМ ВЕЋУ ИНСТИТУТА ЗА ФИЗИКУ У БЕОГРАДУ

Извештај комисије за избор др Новице Пауновића у звање виши научни сарадник

На седници Научног већа Института за физику у Београду одржаној 28.06.2022. именовани смо у комисију за избор др Новице Пауновића у звање виши научни сарадник.

Прегледом материјала који нам је достављен, као и на основу личног познавања кандидата и увида у његов рад и публикације, Научном већу Института за физику у Београду подносимо овај извештај.

1. БИОГРАФСКИ И СТРУЧНИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Новица Пауновић је рођен 21.11.1974. у Пожаревцу. Средњу школу је завршио у Великом Градишту. Физички факултет у Београду, на смеру Теоријска и експериментална физика, завршио је 1999. године, са просеком 9,39. Дипломирао је на теми “Диелектричне особине гама-зраченог полиетилена и полипропилена ниске густине”. Од 2000. године ради као стипендиста Министарства за науку, технологију и развој Републике Србије у Институту за физику у Земуну, Центар за физику чврстог стања и нове материјале. У Институту за физику је формално запослен од 12.03.2002. године. Магистрирао је 2003. године на Физичком факултету, са темом “Утицај допирања на инфрацрвене спектре $\text{La}_{1-y}\text{A}_y\text{Mn}_{1-x}\text{B}_x\text{O}_3$ ($\text{A}=\text{Ba}, \text{Sr}$; $\text{B}=\text{Cu}, \text{Zn}, \text{Sc}$) манганита”, за који је добио и Студентску награду Института за физику за 2004. годину за најбољи магистарски рад. Одлуком Научног већа Института за физику од 11.05.2004. године стекао је звање истраживач-сарадник Института за физику. Докторску дисертацију под називом “Магнетизам у оксидним наноматеријалима” одбранио је 04.07.2013. на Физичком факултету Универзитета у Београду. У научно звање научни сарадник изабран је 18.12.2013. на основу одлуке Комисије за стицање научних звања. У научно звање научни сарадник реизабран је 24.06.2019. на основу одлуке Комисије за стицање научних звања. Ангажован је у Лабораторији за наноструктуре у Институту за физику у Београду. Др Новица Пауновић има 41 рад у међународним часописима и 3 патента у Заводу за интелектуалну својину Републике Србије.

2. ПРЕГЛЕД НАУЧНЕ АКТИВНОСТИ

Научно-истраживачки рад др Новице Пауновића одвија се у области физике чврстог стања, и усмерен је углавном на проучавању материјала методама инфрацрвене и оптичке спектроскопије, као и магнетним мерењима. У наставку су укратко описане главне активности Н. Пауновића у оквиру истраживачких тема

Напомена: Звездицом () су означени радови публиковани у периоду након претходног избора у звање.*

2.1. Магнетизам у оксидним наноматеријалима

Разређени магнетни оксиди, тј. оксиди допирани малим процентом магнетних елемената, а који показују феромагнетно уређење на собној температури, представљају једну од најактуелнијих области истраживања у физици чврстог стања. Кандидат је проучавао феномен феромагнетног уређења на собној температури у нанокристалним узорцима CeO_2 допираног гвожђем и празеодимијумом, као и HfO_2 допираног итријумом. За испитивање и карактеризацију узорака су коришћене различите експерименталне технике: магнетна мерења, рендгенска анализа, Раманова, инфрацрвена, XPS и Месбауреова спектроскопија, AFM мерења и фотолуминесценција.

У случају $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ допираних CeO_2 нанокристала, магнетна мерења су показала да узорци испољавају феромагнетно уређење. Истраживање је показало да у узорцима долази до појачања феромагнетног уређења када се повећа валенца гвожђа са Fe^{2+} на Fe^{3+} . Раман мерења су показала да F_{2g} мод показује неочекивано омекшавање и асиметрично ширење при Fe допирању и порасту валенце од Fe^{2+} ка Fe^{3+} , што се може објаснити ефектом спрезања електрона и молекулских вибрација. Понашање Рамановог F_{2g} мода указује да долази до делимичне делокализације $\text{Ce } 4f^1$ и $\text{Fe } 3d$ електрона, и њиховог трансфера на $\text{Ce(Fe)-O(V}_O\text{)-Ce(Fe)}$ везе, доводећи до промене константе силе и резултујући у омекшавању и ширењу Рамановог мода. Коришћењем Аленове формуле, одређена је константа електрон-фонон спрезања за недопирани и Fe-допирани узорке, као и густина стања на Фермијевом нивоу. На основу добијене вредности густине стања на Фермијевом нивоу се може закључити да је Стонеров критеријум за феромагнетизам вишеструко испуњен, што све значи да је зонска теорија феромагнетизма, односно модел трансфера наелектрисања, примењив у Fe-допираним CeO_2 узорцима. Даља истраживања су показала да се феромагнетно уређење у нанокристалном CeO_2 може испољити и у форми суперпарамагнетизма.

У случају Pr-допираних CeO_2 нанокристала, магнетним мерењима је установљено да недопирани нанокристали CeO_2 показују особине феромагнетизма на собној температури, али да Pr допирање доводи до драстичног уништавања тог феромагнетизма. Показано је да са Pr допирањем садржај кисеоничних ваканције расте, али да насупрот томе феромагнетизам слаби. Ово је било изненађујуће понашање, обзиром да се у нанокристалним оксидима појава феромагнетизма повезивала са постојањем кисеоничних ваканција. Уништење феромагнетизма у Pr-допираним узорцима је објашњено као последица изражене сегрегације Pr^{3+} јона на површини нанокристала, и конверзије једноструко заузетих кисеоничних ваканција

(F^+ центара) у незаузете ваканције (F^{2+} центре), и њиховом способношћу/немогућношћу да успоставе дугодометно феромагнетно уређење преко механизма везаних магнетних поларона. Рад са Pr допираним CeO_2 , објављен у часопису *Nanoscale* са импакт фактором 6.233, је од стране едитора RSC Publishing групе, одабран у један од 20 најбољих/најинтересантнијих радова који су у јулу 2012. године објављени у свих осамдесетак часописа RSC Publishing групе. Према Web of Science, овај рад је до сада цитиран преко 118 пута.

Након одбране докторске дисертације и избора у звање научни сарадник, наставио је истраживања на оксидним наноматеријалима. Проучаване су наночестице HfO_2 допираним итријумом, различитим методама као што су магнетна мерења, рендгенска анализа, Раманова спектроскопија и XPS мерења. Испитивања су показала да са порастом садржаја итријума долази до фазне трансформације из моноклиничне у тетрагоналну и кубну фазу, а с друге стране да у узорцима постоји дефицит кисеоника, односно формирају се кисеоничне ваканције. Магнетним мерењима је установљено постојање феромагнетизма на собној температури. Овај феромагнетизам потиче од кисеоничних ваканција, услед трансфера електрона са дефектних стања кисеоничних ваканција на празна 5d стања хафнијума. Установљено је да феромагнетно уређење благо јача у тетрагоналној фази, услед пораста садржаја кисеоничних ваканција. Са појавом кубне фазе долази до значајног слабљења феромагнетизма. Ово је објашњено тиме што у кубној фази долази до формирања дефектних комплекса итријума и кисеоничних ваканција различитих наелектрисања $((V_O-Y_{Hf})^+)$, $(V_O-Y_{Hf})^{++}$ и $(V_O-Y_{Hf})^0$), при чему ови комплекси формирају дефектна стања у близини валентне зоне. Формирањем ових стања онемогућава се механизам трансфера електрона са дефектних стања кисеоничних ваканција на празна 5d стања хафнијума, што доводи до ученог слабљења феромагнетизма у кубној фази. Овим радом су по први пут потврђена претходна теоријска истраживања у литератури која су указивала на такав сценарио.

Резултати истраживања из ове области приказани су у следећим радовима:

- * Z. D. Dohčević-Mitrović, N. Paunović, B. Matović, P. Osiceanu, R. Scurtu, S. Aškrabić, and M. Radović, "Structural dependent room-temperature ferromagnetism in yttrium doped HfO_2 nanoparticles" *Ceram. Int.* 41 (5, Part B), 6970-6977 (2015).
- Novica Paunović, Zorana Dohčević-Mitrović, Rareș Scurtu, Sonja Aškrabić, Marija Prekajski, Branko Matović and Zoran V. Popović "Suppression of inherent ferromagnetism in Pr-doped CeO_2 nanocrystals" *Nanoscale*, 2012, 4, 5469-5476.
- N. Paunović, Z. V. Popović and Z. D. Dohčević-Mitrović "Superparamagnetism in iron-doped CeO_{2-y} nanocrystals" *J. Phys. Condens. Matter* 24 (2012) 456001.

- Z. V. Popović, Z. D. Dohčević-Mitrović, N. Paunović, and M. Radović "Evidence of charge delocalization in $\text{Ce}_{1-x}\text{Fe}_x^{2+(3+)}\text{O}_{2-y}$ nanocrystals ($x=0, 0.06, 0.12$)" *Phys. Rev. B* 85, 014302 (2012).
- Z.D.Dohčević-Mitrović, N. Paunović, M. Radović, Z. V. Popović, B. Matović, B. Cekić, and V. Ivanovski "Valence state dependent room-temperature ferromagnetism in Fe-doped ceria nanocrystals" *Applied Physics Letters* 96, 203104 (2010).
- M. Radović, N. Paunović, Z. Dohčević- Mitrović, M. Šćepanović, B. Matović, Z. V. Popović "Effect of Fe^{2+} (Fe^{3+}) doping on structural properties of CeO_2 nanocrystals" *Acta Physica Polonica A*, 116, 84-87 (2009).

2.2. Примена инфрацрвене спектроскопије за проучавање плазмон-фонон интеракције у различитим системима

Инфрацрвена (ИЦ) спектроскопија представља моћну неструктивну методу за карактеризацију и проучавање материјала. У средњем делу ИЦ спектра се може користити за идентификацију доприноса појединих молекулских веза, док у далеком ИЦ делу спектра за проучавање рецимо фононских (вибрационих) и структурних особина. Уколико су у материјалу присутни носиоци наелектрисања, тада ће и они дати свој карактеристични допринос спектрима, одакле се могу извући бројне корисне информације, као што је рецимо постојање евентуалне интеракције између плазмона и фонона. Кандидат је методу ИЦ спектроскопије користио за проучавање врло широке палете узорака, почевши од различитих материјала, преко различитих карактеристика енергијског процепа (изолатори, полупроводници, проводници), као и различитих физичких форми узорака, као што су монокристали, поликристали, танки филмови, или наночестични системи. У далеком ИЦ делу спектра, проучавање се типично врши коришћењем одговарајућих модела диелектричне функције. У случају наночестичних система, ти се модели морају додатно прилагодити услед постојања порозности у материјалу, што се врши имплементирањем одговарајућих апроксимација ефективне средине, као што су Бругеманова или Максвел-Гарнетова.

Проучавана је плазмон-фонон интеракција у нанокристалним узорцима делимично инвертованих MgFe_2O_4 спинела синтерованих на различитим температурама. Мерења су показала да инфрацрвени рефлексних спектри испољавају тзв. Друдеов допринос, који је указивао на присуство слободних носилаца, што је пружио основ за проучавање плазмон-фонон интеракције у овом материјалу. У ту сврху развијена су два модела за анализу, спрегнути плазмон-фонон, и неспрегнута плазмон-фонон модел, у комбинацији са Бругемановом апроксимацијом ефективне средине, чијим је поређењем било могуће установити утицај плазмон-фонон интеракције. У спектрима су идентификована четири мода

карактеристична за спинеле, који се у литератури означавају као ν_1 , ν_2 , ν_3 , ν_4 . Фитовањем рефлексионих ИЦ спектра горе поменути моделима је установљено да су модови ν_1 и ν_3 јаче спрегнути са плазмонама него ν_2 мод. Јаче спрезање ν_1 и ν_3 фонона са плазмоном је објашњено постојањем тзв. *antisite* дефеката. У инверзним спинелима услед инверзије долази до формирања позитивно наелектрисаних тетраедарских $[\text{Fe}_{\text{tetra}}^{3+}]^+$ и негативно наелектрисаних октаедарских $[\text{Mg}_{\text{octa}}^{2+}]^-$ *antisite* дефектних центара. У случају ν_1 и ν_3 модова који су доминантно тетраедарске природе, формирање позитивно наелектрисаних $[\text{Fe}_{\text{tetra}}^{3+}]^+$ *antisite* дефеката доводи до јачег спрезања са слободним електронима, за разлику од ν_2 мода који је октаедарске природе, па се због постојања негативно наелектрисаних $[\text{Mg}_{\text{octa}}^{2+}]^-$ *antisite* дефеката слабије спреже са слободним носиоцима. Сличан приступ је примењен и у истраживању Nd-допираних CeO_{2-y} нанокристала. Показано је да се F_{2u} мод монокристалног CeO_2 у наночестичним узорцима цепа на два ТО-ЛО мода услед постојања дугодометног Кулоновог поља које доводи до цепања поларног мода у нанокристалним узорцима, а са смањивањем димензија честица Друдеов допринос постаје значајан, доводећи да појаве плазмонског мода. Коришћењем спрегнутог и неспрегнутог плазмон-фонон модела за диелектричну функцију као и случају MgFe_2O_4 , установљено је да се оба ЛО фононска мода спрежу са плазмоном. Са порастом допирања, показано је да долази до јачег плазмон-ЛО фонон спаривања. Применом неспрегнутог модела за диелектричну функцију је омогућено проучавање структуре неспрегнутог плазмонског мода у допираним узорцима. Утврђено је да са порастом допирања, долази до смањења енергије и пригушења плазмона, што указује на постојање полупроводник-метал прелаза.

Истраживани су и наночестични узорци ZnO допирани Al_2O_3 добијени на два начина, преципитационим методом коју је следила калцинација и хидротермалном методом. Поред других метода карактеризације, коришћена је и инфрацрвена спектроскопија. Анализом ИЦ спектра, установљено је да долази до интеракције плазмона и фонона, те утврђена веза између концентрације слободних носилаца, оптичких параметара, и начина припреме узорака. Проучавани су поликристални узорци ZnSnSb_2 допираних манганом. Установљено је присуство високе концентрације слободних носилаца услед постојања дефеката, нарочито цинка. Анализом ИЦ спектра, установљено је јасно постојање плазмон-фонон интеракције. Нађено је да три фонона B_2 симетрије интерагују са плазмом, што доводи до промене њихових позиција, а детаљнија анализа тога је дала увид и у разне друге параметре материјала. Испитивани су монокристални узорци PbTe допирани силицијумом. ИЦ спектри су показали постојање плазмон-фонон спрезања, које је упоређено са теоријским предвиђањима. Истраживање је такође указало да при PbTe допирању са Si , долази до локализације електрона у околини Si атома, као последица појаве Te-SiTe кластера кубне симетрије. Проучавани су

монокристални узорци $\text{Zn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$. Анализа ИЦ спектра је извршена моделом у ком долази до интеракције плазмона са два фонона, и нађено одлично поклапање теорије и експеримента. Утврђено је постојање MnAs кластера, и нађена релација између концентрације слободних носилаца и оптичких параметара. Проучавани су танки филмови CdTe различитих дебљина синтетисаних методом високо-вакуумског напаравања. За анализу ИЦ рефлекссионих спектра је коришћен модел слојевите структуре који се састоји од три средине: супстрата, танког филма и ваздуха. Откривено је да долази до интеракције површински оптичког фонона и плазмона која настаје због смањења димензија кристала кадмијум–телурида до нанометарског нивоа

Резултати истраживања из ове области приказани су у следећим радовима:

- * Novica Paunović, Zorana Dohčević-Mitrović, Dejan M. Djokić, Sonja Aškračić, Saša Lazović, Ann Rose Abraham, Balakrishnan Raneesh, Nandakumar Kalarikkal, Sabu Thomas, "Revealing plasmon-phonon interaction in nanocrystalline MgFe_2O_4 spinels by far-infrared reflection spectroscopy", *Materials Science in Semiconductor Processing*. 149, 106889 (2022)
- * Maja Romcevic, Novica Paunovic, Uros Ralevic, Jelena Pesic, Jelena Mitric, Jelena Trajic, Lukasz Kilanski, Witold Dobrowolski, Irina Valentinovna Fedorchenko, Sergey Fedorovich Marenkin, Nebojsa Romcevic, "Plasmon – Phonon interaction in $\text{ZnSnSb}_2 + \text{Mn}$ semiconductors", *Infrared Physics & Technology* 108, 103345 (2020).
- * N. Romcevic, B. Hadzic, M. Romcevic, N. Paunovic, D. Sibera, U. Narkiewicz, I. Kuryliszyn-Kudelska, J. L. Ristic-Djurovic and W. D. Dobrowolski, "Structural and optical properties of $\text{ZnO-Al}_2\text{O}_3$ nanopowders prepared by chemical methods", *Journal of Luminescence* 224, 117273 (2020).
- * J. Trajic, N. Paunovic, M. Romcevic, V. E. Slynko, J. L. Ristic-Djurovic, W. D. Dobrowolski and N. Romcevic, "Far infrared spectra of Si doped PbTe single crystals", *Optical Materials* 91, 195-198 (2019).
- * J. Mitric, N. Paunovic, M. Mitric, B. Vasic, U. Ralevic, J. Trajic, M. Romcevic, W. D. Dobrowolski, I. S. Yahia and N. Romcevic, "Surface optical phonon – Plasmon interaction in nanodimensional CdTe thin films", *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures* 104, 64-70 (2018).
- * M. Radović, Z. Dohčević-Mitrović, N. Paunović, S. Bošković, N. Tomić, N. Tadić, and I. Belča, "Infrared study of plasmon–phonon coupling in pure and Nd-doped CeO_{2-y} nanocrystals" *J. Phys. D: Appl. Phys.* 48 (6), 065301 (2015).

- * N. Romcevic, M. Romcevic, W. D. Dobrowolski, L. Kilanski, M. Petrovic, J. Trajic, B. Hadzic, Z. Lazarevic, M. Gilic, J. L. Ristic-Djurovic, N. Paunovic, A. Reszka, B. J. Kowalski, I. V. Fedorchenko, and S. F. Marenkin, "Far-infrared spectroscopy of $\text{Zn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$ single crystals: Plasma damping influence on plasmon – Phonon interaction" J. Alloys Compd. 649, 375-379 (2015).

2.3. Примена инфрацрвене и оптичке спектроскопије за карактеризацију различитих система

Проучавани су далеки ИЦ рефлексioni спектри наночестичног CeO_2 допираног бакром. Спектри су анализирани 4-параметарским моделом диелектричне функције, уз урачунат и допринос слободних носилаца наелектрисања. У спектрима су идентификована 4 фононска мода, који су корелисани и интерпретирани уз помоћ DFT калкулација које су такође спроведене. Коришћени модел је комбинован са генерализованом Бругемановом апроксимацијом ефективне средине која поред порозности узима у обзир и елонгацију пора, што је омогућило да се утврди и утицај овог параметра на ИЦ спектре. С друге стране, наночестични CeO_2 је проучаван и као потенцијални адсорбент за пречишћавање отпадних вода, конкретно за уклањање неколико селектованих азо боја (Reactive Orange 16, Methyl Orange, Mordant Blue 9). Поред проучавања кинетике адсорпционог процеса, извршене су и различите карактеризације узорка. Трансмисиони спектри у средњем делу ИЦ спектра су искоришћени за анализу узорака пре и после адсорпције боја. Поред осталог, анализом ИЦ спектра је закључено и да су адсорпциона својства CeO_2 повезана са стварањем бидентатних мостова између сулфатних група загађивача и Ce^{4+} катјона, што је омогућило да се успешно опише механизам адсорпције. Као потенцијални адсорбенти су такође изучавани и WO_3/TiO_2 композитни нанофилмови добијени процесом плазма електролитичке оксидације, који су под дејством видљиве и ултраљубичасте светлости показали знатно побољшане фотокаталитичке особине при разградњи органских загађивача (Rhodamine 6G и Mordant Blue 9) у односу на чист TiO_2 . Ово побољшање је објашњено као последица боље апсорпције светлости, већег адсорпционог афинитета, повећане ефикасности сепарације наелектрисања, као и веће брзине настанка ОН радикала.

Проучавани су наночестични прахови YVO_4 допираних еуропијумом, за што су коришћене различите методе карактеризације. У далеком ИЦ делу спектра регистрована је појава површинских оптичких фонона и различитих мулти-фононских процеса. Утицај Еу јона се одражава кроз мулти-фононске процесе и повезан је са трансфером енергије са YVO_4 решетке на Еу јоне. У случају наночестичних узорака $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ допираних еуропијумом, ИЦ спектроскопијом је установљено да долази до померања свих модова у односу на њихов положај у

макроскопским узорцима. Овај померај приписан је појави електрон–фонон интеракције која настаје као последица смањења кристала гадолинијум–цирконата до нанометарског нивоа. Проучавани су механохемијски синтетисани узорци $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$. Применом далеке инфрацрвене и Раман спектроскопије су проучена вибрациона својства овог система и одређен утицај дужине времена млевења на формирање $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ нанокристала. Испитивана су својства нанопрахова YAG:Dy (итријум алуминијум граната допираног јонима диспрозијума) и поређена са особинама YAG нанопраха и YAG монокристала. Коришћењем далеке ИЦ спектроскопије установљено је да допирање YAG диспрозијумом не утиче значајно на вибрације решетке, али да доводи до смањења учестаности фонона у односу на учестаности фонона YAG нанопраха и YAG монокристала. Проучаване су особине core-shell (језгро-омотач) ZnO-ZnS материјала. ИЦ спектроскопијом је установљено постојање оптичких фонона горње површине у ZnO, док је постојање површинских оптичких фонона утврђено и у ZnS и у core-shell ZnO-ZnS структури. Проучавани су и композити титанијум-карбида и полиметил метакрилата, где су из далеких ИЦ спектра добијене вредности ТО фононских модова, што је поређењем са теоријским вредностима добијеним DFT методом омогућило асигнацију модова. ИЦ спектроскопија је такође искоришћена и за проучавање ласерски модификованих MnO наночестица, као и карактеризацију LiFePO₄ катодног материјала. Проучавани су и танки филмови CuSe₂ наночестица у матрици селена, при чему су оптичке особине истраживане спектроскопијом у ултраљубичастом и видљивом делу спектра, као и фотолуминесцентном спектроскопијом.

Резултати истраживања из ове области приказани су у следећим радовима:

- * Jelena Pešić, Andrijana Šolajić, Jelena Mitrić, Martina Gilić, Ivan Pešić, Novica Paunović, Nebojša Romčević, "Structural and optical characterization of titanium–carbide and polymethyl methacrylate based nanocomposite", Optical and Quantum Electronics 54 (6), 354 (2022).
- * J. Mitrić, N. Paunović, M. Mitrić, J. Ćirković, M. Gilić, M. Romčević and N. Romčević, "Surface optical phonon and multi – phonon transitions in YVO₄:Eu³⁺ nanopowders", Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures 134, 114923 (2021).
- * B. Hadzic, B. Matovic, M. Randjelovic, R. Kostic, M. Romcevic, J. Trajic, N. Paunovic and N. Romcevic, "Phonons investigation of ZnO@ZnS core-shell nanostructures with active layer", Journal of Raman Spectroscopy 52 (3), 616-625 (2021).

- * B. Babic, B. Hadzic, I. Kuryliszyn-Kudelska, N. Paunovic, B. Vasic, W. D. Dobrowolski and M. Romcevic, "Far-infrared spectroscopy of laser power modified MnO nanoparticles", Optoelectronics and Advanced Materials - Rapid Communications 13 (5-6), 376-379 (2019).
- * Z. Lazarević, G. Križan, J. Križan, M. Mitrić, N. Paunović, A. Milutinović and N. Romčević, "Synthesis and spectroscopic characterisation of LiFePO₄ cathode materials", Optoelectronics and Advanced Materials - Rapid Communications 13 (3-4), 228-234 (2019).
- * J. Trajic, M. Romcevic, N. Paunovic, M. Curcic, P. Balaz, and N. Romcevic, "Far-infrared study of the mechanochemically synthesized Cu₂FeSnS₄ (stannite) nanocrystals," Infrared Physics & Technology 90, 66-69 (2018).
- * J. Mitrić, J. Križan, J. Trajić, G. Križan, M. Romčević, N. Paunović, B. Vasić, and N. Romčević, "Structural properties of Eu³⁺ doped Gd₂Zr₂O₇ nanopowders: Far-infrared spectroscopy" Optical Materials 75, 662-665 (2018).
- * Zorana Dohčević-Mitrović, Stevan Stojadinović, Luca Lozzi, Sonja Aškrabić, Milena Rosić, Nataša Tomić, Novica Paunović, Saša Lazović, Marko G. Nikolić, and Sandro Santucci, "WO₃/TiO₂ composite coatings: Structural, optical and photocatalytic properties" Mater. Res. Bull. 83, 217-224 (2016).
- * J. Trajić, M. S. Rabasović, S. Savić-Šević, D. Šević, B. Babić, M. Romčević, J. L. Ristić-Djurović, N. Paunović, J. Križan, and N. Romčević, "Far-infrared spectra of dysprosium doped yttrium aluminum garnet nanopowder" Infrared Physics & Technology 77, 226-229 (2016).
- * Z. V. Popović, M. Grujić-Brojčin, N. Paunović, M. M. Radonjić, V. D. Araújo, M. I. B. Bernardi, M. M. de Lima, and A. Cantarero, "Far-infrared spectroscopic study of CeO₂ nanocrystals" J. Nanopart. Res. 17 (1), 23 (2015).
- * Nataša M. Tomić, Zorana D. Dohčević-Mitrović, Novica M. Paunović, Dušan Ž Mijin, Nenad D. Radić, Boško V. Grbić, Sonja M. Aškrabić, Biljana M. Babić, and Danica V. Bajuk-Bogdanović, "Nanocrystalline CeO_{2-δ} as Effective Adsorbent of Azo Dyes" Langmuir 30 (39), 11582-11590 (2014).
- * Martina Gilić, Milica Petrović, Jovana Ćirković, Novica Paunović, Svetlana Savić-Sević, Željka Nikitović, Maja Romčević, Ibrahim Yahia, Nebojša Romčević, "Low-temperature photoluminescence of CuSe₂ nano-objects in selenium thin films", Processing and Application of Ceramics 11(2), 127-135 (2017).

2.4. Примена инфрацрвене спектроскопије за карактеризацију биолошких узорака

Извршено је проучавање и карактеризација микроструктуре зрна киноа (сорти *Puno* и *Titicaca*), коришћењем раманске и инфрацрвене спектроскопије. Проучаване су спектроскопске особине котиледона и перисперма зрна. Раманска спектроскопија је показала да се могу уочити значајне разлике у спектрима између различитих делова зрна, као и између различитих сорти, а које потичу углавном од амидних група и кристала фитина. У средњем делу ИЦ спектра су идентификовани пикови који потичу од различитих веза и група, али је установљено да се не може направити диференцијација између делова односно сорти зрна.

Проучаван је утицај јаким магнетних поља (340 mT) на процес клицања зрна пшенице, као и њихове ИЦ спектре. Установљено је да примена магнетног поља доводи до значајно бржег процеса клицања. У ИЦ спектрима у средњем делу ИЦ опсега, установљено је постојање разлика у О-Н и С=О пиковим, као и да се ове разлике могу корелисати са дужином експозиције.

Резултати истраживања из ове области приказани су у следећим радовима:

- * Borisz Czekusa, Ilinka Pećinar, Ivana Petrović, Novica Paunović, Slađana Savić, Zorica Jovanović, Radmila Stikić, "Raman and Fourier transform infrared spectroscopy application to the Puno and Titicaca cvs. of quinoa seed microstructure and perisperm characterization", Journal of Cereal Science 87, 25-30 (2019).
- * Saša Ćirković, Jasmina Bačić, Novica Paunović, Tamara B. Popović, Alexander M. Trbovich, Nebojša Romčević, and Jasna L. Ristić-Djurović, "Influence of 340 mT static magnetic field on germination potential and mid-infrared spectrum of wheat" Bioelectromagnetics 38 (7), 533-540 (2017).

2.5. Манганати са колосалном магнетоотпорношћу

Манганати мешане валенце који се описују општом формулом $R_{1-x}A_xMnO_3$, (где је R неки од елемената ретких земаља, као што су La, Pr, Nd, Sm, док је A двовалентни елемент као што је Ca, Sr или Ba) су једињења са перовскитном (ABO_3) структуром. Погодно допирани манганати при снижавању температуре прелазе из стања парамагнетног изолатора у стање феромагнетног метала. С друге стране, примена магнетног поља доводи до значајног смањења отпорности. У неким случајевима, као што су оптимално допирани танки слојеви $La_{1-x}Ca_xMnO_3$ могу да промене своју отпорност за преко 100000% под дејством магнетног поља од неколико тесла, од куда је и потекао назив “колосална магнетоотпорност”. Н. Пауновић се овом проблематиком углавном бавио пре доктората и претходног избора у звање, али се овој проблематици поново вратио и једним радом након претходног избора у звање.

Н. Пауновић је проучавао различите серије ових материјала, а главне технике проучавања су биле инфрацрвена спектроскопија, као и магнетна и електрична мерења. Проучавани су инфрацрвени рефлексионни спектри $\text{La}_{1-y}\text{A}_y\text{Mn}_{1-x}\text{B}_x\text{O}_3$ ($\text{A}=\text{Ba}, \text{Sr}$; $\text{B}=\text{Cu}, \text{Zn}, \text{Sc}$; $0 < y \leq 0.3$, $0 \leq x \leq 0.1$), у далеком и средњем инфрацрвеном опсегу, и различитим температурама. Анализа је вршена фитовањем на основу модела диелектричне функције који је укључивао класичне осцилаторе (тзв. 3-параметарски модел) као и Друдеев допринос од слободних носилаца. При повећању садржаја x В-допанта на спектрима се може уочити тенденција да раздвајање модова постаје израженије, што указује на пораст ромбоедарске деформације. С друге стране, код $\text{La}_{0.83}\text{Sr}_{0.17}\text{Mn}_{0.90}\text{Zn}_{0.10}\text{O}_3$ узорка је уочено драстично смањење ромбоедарске деформације са снижавањем температуре и преласком у феромагнетну фазу, при чему долази до потпуног спајања $\text{A}_u^1/\text{E}_u^1$ дублета модова у један мод. У серији узорака $\text{La}_{1-y}[\text{Sr}(\text{Ba})]_y\text{Mn}_{1-x}[\text{Cu}(\text{Zn})]_x\text{O}_3$, поред инфрацрвених, вршена су и електрична а делимично и магнетна мерења, која су показала постојање неколико фазних прелаза. Ово је указало да надметање између краткодометних корелација и феромагнетне интеракције двоструке измене може довести до фазног прелаза између феромагнетног металичног у феромагнетно орбитално/наелектрисано уређено доменско стање. За серију узорака $\text{La}_{1-y}\text{A}_y\text{Mn}_{1-x}\text{B}_x\text{O}_3$ ($\text{A}=\text{Ba}, \text{Sr}$; $\text{B}=\text{Cu}, \text{Cr}, \text{Co}$) вршена су електрична мерења у широком температурном опсегу. У ову сврху Н. Пауновић је конструисао апаратуру за мерење електричне отпорност у опсегу од собних до криогених температура, укључујући и креацију софтвера за мерење. Мерења су показала постојање двоструког пика у зависности електричне отпорности од температуре, што је објашњено као последица напрезања Мп-О-Мп мреже и расејања услед постојања насумичних потенцијала уведених Мп допирањем. У каснијем периоду, и након избора у претходно звање, Н. Пауновић се вратио овој теми, у раду посвећеном проучавању серије $\text{Ca}_{1-x}\text{Gd}_x\text{MnO}_3$ наночестичних манганата, где је испитиван утицај гадолинијума на угао Мп-О веза и деформацију MnO_6 октаедара. Инфрацрвеном спектроскопијом, као и другим техникама, је установљено да Gd допирање, услед постојања Јан-Телеровог ефекта доводи до нагињања MnO_6 октаедара око све три осе, и ово је корелисано са количином Mn^{3+} у систему.

Резултати истраживања из ове области приказани су у следећим радовима:

- * Milena Rosić, Dejan Zagorac, Dušan Milivojević, Novica Paunović, Jelena Zagorac, Zorana Dohčević-Mitrović, and Branko Matović, "Theoretical and experimental study of octahedral tilting of $\text{Ca}_{1-x}\text{Gd}_x\text{MnO}_3$ ($x = 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$) nanometric powders" J. Alloys Compd. 678, 219-227 (2016).
- N. Paunović, Z. V. Popović, A. Cantarero and F. Sapina "Influence of Mn site doping on electrical resistivity of polycrystalline $\text{La}_{1-y}\text{A}_y\text{Mn}_{1-x}\text{B}_x\text{O}_3$ ($\text{A}=\text{Ba}, \text{Sr}$; $\text{B}=\text{Cu}, \text{Cr}, \text{Co}$) manganites" Science of Sintering 40, 55-61 (2008)

- Z. V. Popović, A. Cantarero, W. H. A. Thijssen, N. Paunović, Z. Dohčević-Mitrović and F. Sapina "Short range charge/orbital ordering in $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{1-z}\text{B}_z\text{O}_3$ (B=Cu,Zn) manganites" J. Phys.: Condens. Matter 17 (2005) 351–360.
- Z. V. Popović, A. Cantarero, W. H. A. Thijssen, N. Paunović, Z. Dohčević-Mitrović and F. Sapina "Novel phase transitions in optimally doped manganites" Physica B 359-361 (2005) 1276-1278.
- G. De Marzi, Z. V. Popović, A. Cantarero, Z. Dohčević-Mitrović, N. Paunović, J. Bok, and F. Sapina "Effect of A-site and B-site substitution on the infrared reflectivity spectra of $\text{La}_{1-y}\text{A}_y\text{Mn}_{1-x}\text{B}_x\text{O}_3$ (A=Ba,Sr; B=Cu,Zn,Sc; $0 < y \leq 0.3$; $0 \leq x \leq 0.1$) manganites" Phys. Rev. B 68, 064302 (2003).

2.6. Истраживање мултифероика BiFeO_3

Мултифероични материјали привлаче пуно пажње због њихових мулти-функционалних својстава и интересантних физичких особина. Међу мултифероицима, BiFeO_3 заузима веома истакнуто место, зато што испољава и фероелектричне и магнетне особине изнад собне температуре (Киријева температура $T_C \approx 1150$ K, Нелова температура $T_N \approx 640$ K). Ове особине чине BiFeO_3 посебно занимљивим за примене у областима као што су микроелектроника, дигитално снимање, магнетни сензори, а посебно за фероелектричне меморије.

Проучаване су диелектричне и фероелектричне особине (на собној температури) BiFeO_3 керамика допираних Рг и Се јонима. Установљено је да је у случају највеће концентрације допаната, дошло до делимичне структурне фазне трансформације из ромбодарске у орторомбичну и псеудотетрагоналну фазу, што је довело до промена у фероелектричним и диелектричним својствима ових материјала. Диелектрична и фероелектрична својства BiFeO_3 керамике су побољшана Рг допирањем због смањења концентрације кисеоничних ваканција и струје цурења. У случају узорака допираних церијумом, установљено је да 3 mol% допирање церијумом доводи до побољшања диелектричних и фероелектричних особина, док даље допирање доводи до деградације диелектричних и фероелектричних особина услед појаве параелектричне псеудотетрагоналне фазе и присуства проводне секундарне $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ фазе.

Проучавана је спин-фонон интеракција недопираних BiFeO_3 нанокристала, коришћењем раманске спектроскопије и магнетних мерења. Рамански спектри су проучавани у широком температурном опсегу, изнад и испод Нелове температуре ($T_N \approx 640$ K), све до криогених температура. Установљено је да двофононски модови испод T_N испољавају аномално отврдњавање и девијацију од анхармоничног понашања. Ово је објашњено као последица спин-двофонон интеракције, обзиром

да је познато да су ови модови осетљиви на антиферомагнетно уређење. Применом теорије средњег поља на интеракцију између најближих суседа (Хајзенбергов хамилтонијан), добијена је линеарна веза између уоченог двофононског померања испод T_N и спин-спин корелационе функције, што је омогућило да се квантификује спин-фонон интеракција и одреди јачина спин-фонон спрезања за двофононске модове. Магнетна мерења су открила коегзистенцију антиферомагнетне и феромагнетне фазе испод T_N . Показано је да присуство две магнетне фазе не доводи до појаве магнетних фрустрација у нанокристалном BiFeO_3 , што је оправдало примену теорије средњег поља, и да додатно потпомаже спин-двофонон спрезање, као и да су двофононски рамански модови испод T_N доминантно спрегнути са антиферомагнетним уређењем.

Резултати истраживања из ове области приказани су у следећим радовима:

- * Bojan Stojadinović, Dejan M. Djokić, Novica Paunović, Ivica Živković, Luka Ćirić, Vladan Kusigerski, Zorana Dohčević-Mitrović, "Unveiling the spin-phonon coupling in nanocrystalline BiFeO_3 by resonant two-phonon Raman active modes", Materials Science and Engineering: B 274, 115444 (2021).
- * B. Stojadinović, Z. Dohčević-Mitrović, N. Paunović, N. Ilić, N. Tasić, I. Petronijević, D. Popović, and B. Stojanović, "Comparative study of structural and electrical properties of Pr and Ce doped BiFeO_3 ceramics synthesized by auto-combustion method" J. Alloys Compd. 657, 866-872 (2016).

2.7. Примена магнетних мерења за карактеризацију различитих материјала

Испитивани су нанопрашкасти узорци $\text{Zn}_{0.95}\text{Co}_{0.05}\text{O}$, у циљу бољег разумевања њихових магнетних особина и њихове корелације са кристалном и електронском структуром, а поред магнетних мерења коришћене су и друге технике као што су XRD, EXAFS или XPS. Магнетна мерења су показали да узорци на собној температури показују слаб феромагнетни допринос који је упоредив са дефектима индукованим феромагнетизмом у недопираном ZnO , али да парамагнетизам доминира. Установљено је да нема појаве додатног феромагнетног уређења магнетних момената Co јона, и да су узорци парамагнетни све до 5 K. Установљено је да се Co^{2+} јони супституционално уграђују у Zn решетку, као и да Co^{2+} јони не показују тенденцију Co-Co кластерисања и формације комплекса Co са кисеоничним ваканцијама.

Проучавани су узорци MnFe_2O_4 ферита добијених коришћењем две различите механохемијске руте синтезе, прве полазећи од $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, и друге од $\text{Fe}(\text{OH})_3$ прекурсора, као и коришћењем различитих времена активације млевењем. Обе методе су резултовале добијањем нанокристалних узорака спинелне структуре, који су испитивани различитим методама, као што су XRD, Раман, EDS и друге. Магнетна мерења су показала да различите руте синтезе при краћим временима

активације (до 12 h) дају узорке различите магнетизације, али да обе руте након 25 h активације дају сличне вредности сатурационе магнетизације, те да се највећи део синтезе одвија у интервалу 12-25 h. Хистерезисне петље су показале одсуство коерцитивног поља, што је указало да су честице у суперпарамагнетном стању.

Резултати истраживања из ове области приказани су у следећим радовима:

- * Ivana Radisavljević, Nikola Novaković, Branko Matović, Novica Paunović, Mirjana Medić, Nenad Bundaleski, Velibor Andrić, and Orlando M. N. D. Teodoro, "Comprehensive studies of structural, electronic and magnetic properties of $Zn_{0.95}Co_{0.05}O$ nanopowders" Mater. Res. Bull. 74, 78-84 (2016).
- Z.Ž. Lazarević, Č. Jovalekić, A. Recnik, V.N. Ivanovski, M. Mitrić, M.J. Romčević, N. Paunović, B.Đ. Cekić, N.Ž. Romčević "Study of manganese ferrite powders prepared by a soft mechanochemical route" Journal of Alloys and Compounds, (2011), vol. 509 Issue 41, 9977-9985

3. ЕЛЕМЕНТИ ЗА КВАЛИТАТИВНУ ОЦЕНУ НАУЧНОГ ДОПРИНОСА КАНДИДАТА

3.1. Квалитет научних резултата

3.1.1. Научни ниво и значај резултата, утицај научних радова

Др Новица Пауновић је до сада објавио 41 рад у међународним часописима са ISI листе. Такође, др Пауновић је самостални аутор 3 патента (M92) у Заводу за интелектуалну својину Републике Србије (докази у прилогу). Од укупног броја радова, 8 је објављено у категорији M21a, 14 у категорији M21, 14 у категорији M22 и 5 у категорији M23. Поред ових радова објавио је и 1 поглавље M13 у тематском зборнику водећег међународног значаја, као и 4 рада у категорији M34, и 1 у категорији M64. У периоду након претходног избора у научно звање, др Новица Пауновић је објавио 26 радова категорије M20. Од тог броја, 3 је објављено у категорији M21a, 10 у категорији M21, 11 у категорији M22 и 2 у категорији M23. Поред ових радова објавио је и 1 поглавље M13 у тематском зборнику водећег међународног значаја, као и 2 рада у категорији M34.

Најзначајнији радови др Новице Пауновића су (број цитата на основу базе Web of Science):

1. Z.D.Dohčević-Mitrović, N. Paunović, M. Radović, Z. V. Popović, B. Matović, B. Cekić, and V. Ivanovski "Valence state dependent room-temperature ferromagnetism in Fe-doped ceria nanocrystals" Applied Physics Letters 96, 203104 (2010).
DOI: 10.1063/1.3431581
M21, IF= 3.841, 38 цитата

2. Novica Paunović, Zorana Dohčević-Mitrović, Rareș Scurtu, Sonja Aškračić, Marija Prekajski, Branko Matović and Zoran V. Popović "Suppression of inherent ferromagnetism in Pr-doped CeO₂ nanocrystals" *Nanoscale*, 2012, 4, 5469-5476.

DOI: 10.1039/c2nr30799e

M21a, IF= 6.233, 118 цитата

3. N. Paunović, Z. V. Popović and Z. D. Dohčević-Mitrović "Superparamagnetism in iron-doped CeO_{2-y} nanocrystals" *J. Phys. Condens. Matter* 24 (2012) 456001.

DOI: 10.1088/0953-8984/24/45/456001

M21, IF= 2.546, 11 цитата

4. Z. D. Dohčević-Mitrović, N. Paunović, B. Matović, P. Osiceanu, R. Scurtu, S. Aškračić, and M. Radović, "Structural dependent room-temperature ferromagnetism in yttrium doped HfO₂ nanoparticles" *Ceram. Int.* 41 (5, Part B), 6970-6977 (2015).

DOI: 10.1016/j.ceramint.2015.02.002

M21, IF=2.758, 15 цитата

5. Novica Paunović, Zorana Dohčević-Mitrović, Dejan M. Djokić, Sonja Aškračić, Saša Lazović, Ann Rose Abraham, Balakrishnan Raneesh, Nandakumar Kalarikkal, Sabu Thomas, "Revealing plasmon-phonon interaction in nanocrystalline MgFe₂O₄ spinels by far-infrared reflection spectroscopy", *Materials Science in Semiconductor Processing*, 149, 106889 (2022)

DOI: 10.1016/j.mssp.2022.106889

M21, IF=3.927, без цитата

У првом раду, проучавани су нанокристални узорци CeO₂ допирани гвожђем у стању мешане валенце Fe²⁺/Fe³⁺. У раду су анализиране магнетне и структурне особине, Раман и Месбауерови спектри. Мерењима је установљено да узорци испољавају феромагнетно уређење на собној температури. Истраживање је показало да у узорцима долази до појачања феромагнетног уређења када се повећа валенца гвожђа са Fe²⁺ на Fe³⁺. Раман мерења су показала да F_{2g} мод показује неочекивано омекшавање и асиметрично ширење при Fe допирању и порасту валенце од Fe²⁺ ка Fe³⁺, што се може објаснити ефектом спрезања електрона и молекулских вибрација. Такође је установљено да такозвани својствени вакантни модови, који потичу од кисеоничних ваканција, расту са порастом Fe валенце. У раду је показано да се феромагнетно уређење успоставља посредством кисеоничних ваканција путем механизма измене преко F центара, и да јако зависи од валентног стања Fe допанта, те да се може повезати са појавом комплекса Fe³⁺–V_O–Fe³⁺. Др Пауновић је у овом раду дао кључни допринос кроз мерења и анализу магнетних особина, као и у писању рада.

У другом раду анализиране су магнетне, структурне, Раман и XPS особине Pr допираних нанокристала CeO₂. Откривено је да недопирани нанокристали CeO₂

показују особине феромагнетизма на собној температури, али да Rг допирање доводи до драстичног уништавања тог феромагнетизма. Показано је да са Rг допирањем садржај кисеоничних ваканција расте, али да насупрот томе феромагнетизам слаби. Ово је било изненађујуће понашање, обзиром да се у нанокристалним оксидима појава феромагнетизма повезивала са постојањем кисеоничних ваканција. Уништење феромагнетизма у Rг-допираним узорцима је објашњено као последица изражене сегрегације Pr^{3+} јона на површини нанокристала, и конверзије једноструко заузетих кисеоничних ваканција (F^{2+} центара) у незаузете ваканције (F^{2+} центара), и њиховом способношћу/немогућношћу да успоставе дугодометно феромагнетно уређење преко механизма везаних магнетних поларона. Након публикације рада, сличан ефекат уништавања магнетизма је примећен и бројним другим системима, а механизам који је предложен у раду за објашњење тога, се сада рутински користи за објашњење утицаја различитих форми ваканција на феромагнетизам. Др Пауновић је у овом раду дао кључни допринос у свим фазама рада, извршио мерења и анализу магнетних особина, али извршио и анализу и свих осталих резултата мерења, као и писање рада.

У трећем раду су проучаване магнетне особине недопираних и $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ допираних нанокристала CeO_2 , на различитим температурама и у различитим магнетним пољима 0-10 Т. Откривено је да узорци показују суперпарамагнетно понашање које се може описати отежињеном Ланжвеновом функцијом. Овакво понашање су потврдила и мерења магнетизације при хлађењу у магнетном пољу (FC) односно нултом магнетном пољу (ZFC), где су ZFC/FC криве показале јасну бифуркацију на 40 К, са температуром блокирања на 20 К, што је све у складу са суперпарамагнетним понашањем. Др Пауновић је у раду дао кључни допринос у свим фазама рада, почевши од свих мерења, преко развоја модела и софтвера за анализу, обраде и анализе резултата, до самог писања рада.

У четвртном раду, наночестице HfO_2 допираног итријумом проучаване су различитим методама као што су магнетна мерења, рендгенска анализа, Раманова спектроскопија и XPS мерења. Испитивања су показала да са порастом садржаја итријума долази до фазне трансформације из моноклиничне у тетрагоналну и кубну фазу, а с друге стране да у узорцима постоји дефицит кисеоника, односно кисеоничне ваканције. Магнетна мерења су показала постојање феромагнетизма на собној температури. Установљено је да феромагнетно уређење благо јача у тетрагоналној фази а да знатно слаби са појавом кубне фазе. Ово је објашњено формирањем дефектних комплекса итријума и кисеоничних ваканција различитих наелектрисања $((\text{V}_\text{O}-\text{Y}_{\text{Hf}})^+, (\text{V}_\text{O}-\text{Y}_{\text{Hf}})^{++} \text{ и } (\text{V}_\text{O}-\text{Y}_{\text{Hf}})^0)$, при чему ови комплекси формирају дефектна стања у близини валентне зоне. Ово пак доводи до онемогућавања механизма трансфера електрона са дефектних стања кисеоничних ваканција на празна 5d стања хафнијума који је одговоран за постојање

феромагнетизма, што доводи до ученог слабљења феромагнетизма. Овим радом су по први пут потврђена претходна теоријска истраживања у литератури која су указивала на такав сценарио. Овај рад представља наставак кандидатових истраживања магнетизма у наночестичним системима након доктората. Др Пауновић је у овом раду дао кључни допринос у свим фазама рада, почевши од мерења и анализе магнетних особина, као и анализе осталих резултата мерења, до писања самог рада.

У петом раду, методом инфрацрвене спектроскопије извршено је проучавање плазмон-фонон интеракције у нанокристалним узорцима делимично инвертованих MgFe_2O_4 спинела синтерованих на различитим температурама и различитих степена инверзије. Мерења су показала да инфрацрвени рефлексиих спектри испољавају тзв. Друдеев допринос, који је указивао на присуство слободних носилаца, што је пружио основ за проучавање плазмон-фонон интеракције у овом материјалу. У ту сврху развијена су два модела за анализу (укључујући и развој софтвера за фитовање), спрегнути плазмон-фонон, и неспрегнути плазмон-фонон модел, у комбинацији са Бругемановом апроксимацијом ефективне средине, чијим је поређењем било могуће установити утицај плазмон-фонон интеракције. У спектрима су идентификована четири мода карактеристична за спинеле, који се у литератури означавају као ν_1 , ν_2 , ν_3 , ν_4 . Фитовањем рефлексиих инфрацрвених спектра горе поменутих модела је установљено да су модови ν_1 и ν_3 јаче спрегнути са плазмонама него ν_2 мод. Помоћним мерењима Раман спектра извршена је процена степена инверзије, и установљено да инверзија расте са температуром синтеровања. Такође је установљено да са температуром синтеровања опадају пригушења плазмона и фонона, као последица боље кристаличности узорака и смањеног расејања плазмона односно фонона. Јаче спрежање ν_1 и ν_3 фонона са плазмом је објашњено постојањем тзв. *antisite* дефеката. У инверзним спинелима услед инверзије долази до формирања позитивно наелектрисаних тетраедарских $[\text{Fe}_{\text{tetra}}^{3+}]^+$ и негативно наелектрисаних октаедарских $[\text{Mg}_{\text{octa}}^{2+}]^-$ *antisite* дефектних центара. У случају ν_1 и ν_3 модова који су доминантно тетраедарске природе, формирање позитивно наелектрисаних $[\text{Fe}_{\text{tetra}}^{3+}]^+$ *antisite* дефеката доводи до јачег спрежања са слободним електронима, за разлику од ν_2 мода који је октаедарске природе, па се због постојања негативно наелектрисаних $[\text{Mg}_{\text{octa}}^{2+}]^-$ *antisite* дефеката слабије спреже са слободним носиоцима. У раду су по први пут презентовани и анализирани рефлексиих спектри MgFe_2O_4 у далеком инфрацрвеном опсегу, и шта више, по први пут анализирана плазмон-фонон интеракција у породици спинела. Др Пауновић је у овом раду дао кључан допринос у свим фазама рада, почевши од мерења инфрацрвених спектра, преко развоја модела и софтвера за анализу, до анализе резултата и писања самог рада.

3.1.2. Цитираност научних радова кандидата

Према Web of Science бази на дан 17.06.2022. године, сви радови кандидата су цитирани укупно 524 пута, а 497 без аутоцитата, док h-индекс износи 13 (доказ у прилогу).

3.1.3. Параметри квалитета радова и часописа

Битан елемент за процену квалитета научних резултата је и квалитет часописа у којима су радови објављени, односно њихов импакт фактор – ИФ. У категорији M21a, M21, M22 и M23, кандидат је објавио радове у следећим часописима, где су подвучени импакт фактори чланака које је кандидат објавио у периоду након стицања претходног научног звања:

- 1 рад у Nanoscale (ИФ: 6.233)
- 1 рад у Materials Science and Engineering: B (ИФ: 4.706)
- 1 рад у Langmuir (ИФ: 4.457)
- 1 рад у Materials Science in Semiconductor Processing (ИФ: 3.927)
- 1 рад у Applied Physics Letters (ИФ: 3.841)
- 2 рада у Physical Review B (ИФ: 3.774, 3.327)
- 1 рад у Journal of Cereal Science (ИФ: 3.616)
- 2 Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures (ИФ: 3.57, 3.176)
- 5 радова у Journal of Alloys and Compounds (ИФ: 3.133, 3.133, 3.014, 2.289, 2.135)
- 1 рад у Journal of Raman Spectroscopy (ИФ: 3.133)
- 1 рад у Journal of Luminescence (ИФ: 3.006)
- 2 рада у Optical Materials (ИФ: 2.779, 2.687)
- 1 рад у Journal of Physics D: Applied Physics (ИФ: 2.772)
- 1 рад у Ceramics International (ИФ: 2.758)
- 3 рада у Infrared Physics and Technology (ИФ: 2.638, 2.313, 1.713)
- 1 рад у Journal of the European Ceramic Society (ИФ: 2.575)
- 2 рада у Journal of Physics: Condensed Matter (ИФ: 2.546, 2.145)
- 2 рада у Materials Research Bulletin (ИФ: 2.446, 2.446)
- 1 рад у Journal of Nanoparticle Research (ИФ: 2.278)
- 1 рад у Optical and Quantum Electronics (ИФ: 2.084)
- 1 рад у Bioelectromagnetics (ИФ: 2.0)
- 1 рад у Processing and Application of Ceramics (ИФ: 1.152)
- 1 рад у Physica B: Condensed Matter (ИФ: 0.908)
- 1 рад у Materials Science Forum (ИФ: 0.498)
- 2 рада у Science of Sintering (ИФ: 0.486, 0.481)
- 2 рада у Optoelectronics and Advanced Materials - Rapid Communications (ИФ: 0.452, 0.452)
- 2 рада у Acta Physica Polonica A (ИФ: 0.433, 0.433)

Укупна сума импакт фактора свих радова кандидата је 101.945, а од претходног избора у звање 69.841. Часописи у којима је кандидат објављивао су по свом угледу веома цењени у областима којима припадају. Међу њима, посебно се истичу: Nanoscale, Materials Science and Engineering: B, Langmuir, Materials Science in Semiconductor Processing, Applied Physics Letters, Physical Review B, Journal of Alloys and Compounds.

Додатни библиометријски показатељи квалитета часописа у којима је кандидат објављивао радове је дат у следећој табели, датој за М20 радове објављене након претходног избора у звање. Она садржи импакт факторе (ИФ) радова, М поене радова по српској категоризацији научноистраживачких резултата, као и импакт фактор нормализован по импакту цитирајућег чланка (СНИП). У табели су дате укупне вредности, као и вредности свих фактора усредњених по броју чланака и по броју аутора по чланку.

	ИФ	М	СНИП
Укупно	69.841	171	25.23
Усредњено по чланку	2.686	6.577	0.970
Усредњено по аутору	8.709	21.137	3.122

3.1.4. Степен самосталности и степен учешћа у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству

Др Новица Пауновић је био самостално задужен за увођење технике магнетних мерења у Центру за физику чврстог стања и нове материјале Института за физику. Магнетна мерења престављају потпуно нову технику у Институту за физику, која је омогућена набавком магнетометра са вибрационим узорком, у оквиру програма Националног инвестиционог плана. У том смислу је било потребно извршити инсталирање, уходавање и одржавање овог великог и комплексног експерименталног уређаја, са врло јаким магнетним пољима до 14 тесла, суперпроводним и криогеним системима, који при томе поседује и низ надоградњи које су по први пут лансиране управо на овом експерименталном уређају. Др Новица Пауновић је био самостално задужен за успостављање и одржавање овог система, као и овладавање мерним техникама са којима истраживачи у Центру за физику чврстог стања и нове материјале и Институту за физику до тада нису имали искустава, што је успешно обавио.

Др Пауновић је значајно допринео сваком раду на којем је учествовао. У оквиру своје експертизе за магнетизам и инфрацрвену спектроскопију, учествовао је у осмишљавању и формулацији проблема, добијању експерименталних података методама магнетних мерења и инфрацрвене спектроскопије, развијању модела и програма за анализу ових података, анализи и тумачењу резултата и писању радова.

3.1.5. Награде

Др Пауновић је добитник награде Института за физику у Београду за најбољи магистарски рад за 2004. годину.

Прилог: плакета награде

3.2. Ангажованост у формирању научних кадрова

Др Новица Пауновић је сарађивао и помагао (кроз обуку и анализу резултата инфрацрвене спектроскопије) при изради мастер рада Тијане Радовановић.

Прилог: прва страна и захвалница у мастер раду MSc Тијане Радовановић

Др Новица Пауновић је био коаутор експерименталних задатака за српске физичке олимпијаде 2013. и 2016. године (доказ у прилогу).

Такође, био је члан редакције Младог физичара у периоду 2004-2006 (доказ у прилогу).

3.3. Нормирање броја коауторских радова, патената и техничких решења

Свих 29 радова кандидата објављени након претходног избора у звање припадају категорији експерименталних радова у природно-математичким наукама, који често садрже већи број експерименталних техника и коаутора. Од ових радова, 14 радова има до 7 аутора и они се признају са пуним бројем бодова. 15 радова има више од 7 аутора и они су нормирани у складу са правилом о нормирању броја коауторских радова.

Укупан број поена др Пауновића у релевантном периоду пре нормирања износи 179, а након нормирања 148.815, што је далеко изнад захтеваног броја бодова за избор у звање виши научни сарадник.

3.4. Руковођење пројектима, потпројектима и пројектним задацима

Др Пауновић је у периоду 2008/2009 руководио иновационим пројектом “Пластична кеса са фрикционим пољем”, финансираним од стране Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије (доказ у прилогу).

На пројекту ОИ171032 Министарства просвете, науке и технолошког развоја, који је трајао од 2011 до 2019. године, у периоду 2011-2019 руководио је пројектним задатком који се односи на испитивање магнетних особина нанооксидних материјала на бази церијум диоксида и хафнијум диоксида (доказ у прилогу).

3.5. Активност у научним и научно-стручним друштвима

Др Новица Пауновић је регистровани иноватор у Регистру иновационе делатности Министарства просвете, науке и технолошког развоја (доказ у прилогу).

Био је члан организационог одбора конференције Nanoelli09, одржаној од 31. августа до 3. септембра 2009. године у Београду (доказ у прилогу).

Рецензент је у међународним часописима Journal of Materials Chemistry C, Journal of Alloys and Compounds, Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, Materials Research Express, Processing and Application of Ceramics, Optoelectronics and Advanced Materials–Rapid Communications (доказ у прилогу).

3.6. Утицај научних резултата

Утицај научних резултата кандидата је наведен у одељку 3.1 овог документа. Пун списак радова је такође дат, а подаци о цитираности са интернет странице Web of Science базе су дати након списка свих радова.

3.7. Конкретан допринос кандидата у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству

За више детаља о доприносу кандидата у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству погледати одељак 3.1.1. Научни ниво и значај научних резултата, утицај научних радова и 3.1.4. Степен самосталности и степен учешћа у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству.

3.8. Уводна предавања на конференцијама, друга предавања и активности

Др Пауновић је одржао предавање по позиву у Друштву за керамичке материјале Србије, у Београду 2012. године (доказ у прилогу).

Одржао је предавање по позиву на “Workshop in strongly correlated electron systems” у Београду 2022. године (доказ у прилогу).

4. ЕЛЕМЕНТИ ЗА КВАНТИТАТИВНУ ОЦЕНУ НАУЧНОГ ДОПРИНОСА КАНДИДАТА

Остварени резултати у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања:

Категорија	М бодова по раду	Број радова	Укупно М бодова	Нормирани број М бодова
M13	7	1	7	7
M21a	10	3	30	22.179
M21	8	10	80	66.143
M22	5	11	55	46.766
M23	3	2	6	6
M34	0.5	2	1	0.727

Поређење са минималним квантитативним условима за избор у звање виши научни сарадник:

Минимални број М бодова	Неопходно	Остварено, број М бодова без нормирања	Остварено, нормирани број М бодова
Укупно	50	179	148.815
M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42+M90	40	178	148.088
M11+M12+M21+M22+M23	30	171	141.088

Према Web of Science бази на дан 17.06.2022. године, сви радови кандидата су цитирани укупно 524 пута, а 497 без аутоцитата, док h-индекс износи 13.

5. ЗАКЉУЧАК

Имајући у виду постигнуте резултате кандидата представљене у овом извештају, закључили смо да кандидат испуњава све квантитативне и квалитативне критеријуме за избор у научно звање виши научни сарадник који су прописани Правилником о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, те да број објављених публикација знатно премашује минималне прописане квантитативне услове за избор у звање виши научни сарадник. На основу свега наведеног, предлагемо Научном већу Института за физику да усвоји овај извештај и подржи избор др Новице Пауновића у звање виши научни сарадник.

У Београду, 12.07.2022. године

Чланови комисије

др Зорана Дохчевић-Митровић
научни саветник
Институт за физику у Београду

др Соња Ашкрабић
виши научни сарадник
Институт за физику у Београду

др Стеван Стојадиновић
редовни професор
Физички факултет у Београду

5. ЗАКЉУЧАК

Имајући у виду постигнуте резултате кандидата представљене у овом извештају, закључили смо да кандидат испуњава све квантитативне и квалитативне критеријуме за избор у научно звање виши научни сарадник који су прописани Правилником о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, те да број објављених публикација знатно премашује минималне прописане квантитативне услове за избор у звање виши научни сарадник. На основу свега наведеног, предлагемо Научном већу Института за физику да усвоји овај извештај и подржи избор др Новице Пауновића у звање виши научни сарадник.

У Београду, 12.07.2022. године

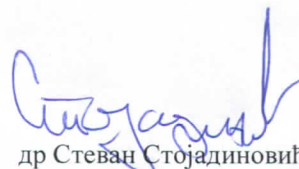
Чланови комисије



др Зорана Дохчевић-Митровић
научни саветник
Институт за физику у Београду



др Соња Ашкрабић
виши научни сарадник
Институт за физику у Београду



др Стеван Стојадиновић
редовни професор
Физички факултет у Београду