

# НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Пошто смо на VII седници Наставно-научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду одржаној 25. 04. 2018. године одређени за чланове Комисије за припрему извештаја о докторском раду „ЕЛЕКТРИЧНЕ ОСОБИНЕ КОМПОЗИТА ИЗОТАКТИЧКОГ ПОЛИПРОПИЛЕНА (iPP) И АТАКТИЧКОГ ПОЛИСТИРЕНА (aPS) ДОБИЈЕНИХ ТРЕТМАНОМ У РАСТВОРИМА СОЛИ ПРЕЛАЗНИХ И АЛКАЛНИХ МЕТАЛА“ из научне области Физика кондензованог стања коју је кандидат ИВАН ПЕТРОНИЈЕВИЋ предао Физичком факултету у Београду дана 23. 04. 2018. године подносимо следећи

## РЕФЕРАТ

### 1. Основни подаци о кандидату

#### 1.1 Биографски подаци

Иван Петронијевић је рођен 25.2.1982. године у Крагујевцу. Матурирао на смеру електротехничар рачунара у Техничкој школи у Младеновцу 2001. године као носилац Вукове дипломе. Дипломирао је на Физичком факултету Универзитета у Београду 2010. године на смеру Примењена физика и информатика са просечном оценом 8,06 у току студија, одбравивши са оценом 10 дипломски рад под називом: „*Моделовање поликристалног узорка са унапред дефинисаним микроструктурним параметрима*“. Студент је докторских студија на Физичком факултету на смеру физика кондензоване материје и статистичка физика које је уписао школске 2010/2011 године.

Запослен је на Физичком факултету Универзитета у Београду у Лабораторији за физику кондензованог стања и физику материјала од јануара 2011. године, на пројекту „Проучавање утицаја третирања на диелектричне, оптичке и магнетне особине површина кристалних и полимерних система“, број ОН 171029, Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Био је ангажован као сарадник у настави на експерименталним вежбама из физике за студенте хемије у зимском семестру школске 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014 и 2014/2015 године.

Кандидат је одбранио тему доктората под насловом „Електричне особине композита изотактичког полипропилена (iPP) и атактичког полистирена (aPS) добијених третманом у растворима соли прелазних и алкалних метала“ пред Колегијумом докторских студија, на Физичком факултету у Београду, 18.01.2017.

#### 1.2 Научна активност

Област истраживања кандидата Ивана Петронијевића су полимерни и кристални системи. Истраживања су највећим делом обављена у Лабораторији за физику кондензованог стања и физику материјала на Физичком факултету Универзитета у Београду. Публиковао је 3 рада M21a

[A1, A2, A3], 3 рада M21 [A4, A5, A6], 3 рада M22 [A7, A8, A9], 1 рад M23 [A10], и 12 саопштења на домаћим и међународним конференцијама категорија, M33, M34, M 63 и M 64. Укупан број цитата је 22. Ангажован је на пројекту „Проучавање утицаја третирања на диелектричне, оптичке и магнетне особине површина кристалних и полимерних система“, број ОН 171029 Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

## 2. Опис предатог рада

### 2.1 Основни подаци

Дисертација је урађена под руководством др Драгане Церовић, вишег научног сарадника, запослене на Високој текстилној струковној школи за дизајн, технологију и менаџмент. Ментор испуњава услове Физичког факултета за руковођење израдом докторске дисертације јер је у научном звању и аутор је великог броја радова из области физике кондензованог стања материје који су објављени у водећим међународним часописима и презентовани на међународним и домаћим конференцијама. Теза је написана на 119 страна, не рачунајући насловну страну, захвалнице, сажетак, садржај, биографију аутора и изјаве. У тексту се налази 9 табела и 83 слике. У тези је наведена 101 референца. Докторска дисертација је подељена у 7 поглавља.

### 2.2 Предмет и циљ рада

Област истраживања које обухвата ова теза је Физика кондензоване материје и статистичка физика. Циљ рада био је развијање нове методе за синтезу нанокompозита базираних на полимерним матрицама са добром дистрибуцијом и дисперзијом металних честица, који имају одговарајуће вредности диелектричних параметара. Такође је развијена нова експериментална метода која је осетљивија на промене у електричним особинама полимерних материјала од конвенционалних диелектричних мерења. Метода се заснована на поређењу одзива добијених синусном и троугластом побудом на полимере, полимерне композите и нанокompозите.

Синтетисани нанокompозити по својим електричним особинама се могу сврстати у нанодиелектрике због чега се могу применити како за материјале за микроелектронско и оптоелектронско паковање тако и за уређаје за складиштење енергије. Развијена мерна метода може наћи индустријску примену, на пример, у детекцији промена до којих настаје код електричне изолације током времена експлоатације.

### 2.3 Публикације

У овој докторској тези су представљени резултати 2 рада објављена у часописима са импакт фактором већим од 1. У оба рада кандидат Иван Петронијевић први аутор.

**I. Petronijević**, K. Simonovic, F. Marinkovic, J. Dojčilovic, A. S. Luyt and D. Dudic, "The detection of the early stages of ageing in an LDPE+graphite composite by comparison of dielectric responses induced by sinusoidal and triangular signals", *eXPRESS Polymer Letters Vol.8, No.10 (2014) 733–744*, DOI: 10.3144/expresspolymlett.2014.76.[M21, IF = 2.965]

**Ivan Petronijevic**, Dragana Cerovic, Dusko Dudic, Jablan R. Dojcilovic, Biljana Dojcinovic, Marija Pergal, “*Dielectric spectroscopy of nanocomposites based on iPP and aPS treated in the water solutions of alkali metal salts*”, Polym. Adv. Technol. Accepted: 6 February 2018, DOI: 10.1002/pat.4289. [M22, IF = 1.964]

## 2.4 Преглед научних резултата изложених у дисертацији

Ова докторска дисертација је подељена у 7 поглавља. Прво поглавље чини осврт на циљ истраживања и опис примењених метода мерења у оквиру тезе.

У другом поглављу је изложена теорија физичких карактеристика полимера са акцентом на структуру и физичке особине iPP и aPS.

У трећем делу је дат преглед досадашњих метода синтезе нанокompозита. Указано је на важност добијања полимерних нанокompозита са уграђеним металним наночестицама са одговарајућим особинама за различите примене. Особине полимерних нанокompозита не зависе само од особина његових конституената, тј. полимера и нанопуниоца које се налазе у њима, већ и од других фактора као што су дистрибуција пуниоца и интеракција пуниоца са полимерном матрицом.

У четвртном поглављу дат је опис електричних особина полимера и полимерних нанокompозита: електричне (DC) проводности, диелектричних својстава (диелектричне пропустљивости и тангенса диелектричних губитака) и дат је приказ диелектричних релаксација. Такође су приказани модели за израчунавање ефективне диелектричне пропустљивости.

У петом делу је детаљно описана нова експериментална метода синтезе полимерних нанокompозита која је развијена у циљу добијања узорака са одређеним диелектричним особинама. Метода подразумева третирање полимерних плочица изотактичког полипропилена (iPP) и атактичког полистирена (aPS) у независним засићеним растворима соли алкалних метала (LiCl, NaCl и KCl) и прелазних метала (MnCl<sub>2</sub>, FeCl<sub>2</sub> и NiCl<sub>2</sub>) на различитим температурама (23 °C и 90 °C) и потенцијалима (+4 kV, -4 kV и потенцијал земље). Дат је приказ коришћених метода (ICP-OES, TOF-SIMS, SEM и TEM) за карактеризацију добијених полимерних нанокompозита као и за анализу утицаја различитих параметара при синтези. За одређивање електричних својстава примењене су: диелектрична спектроскопија (DS) у широком температурно фреквентном интервалу и струјно-напонска карактеристика. Приказана је развијена нова експериментална метода која је осетљивија на промене електричних особина полимерних материјала од конвенционалних диелектричних мерења, заснована на поређењу одзива, полимера као и полимерних композита и нанокompозита, добијених синусном и троугластом побудом.

У добијеним узорцима испитивано је присуство и одређена концентрација алкалних и прелазних метала. Закључено је да су више концентрације метала добијене у нанокompозитима синтетисаним на температури 90 °C при примени потенцијала од +4 kV у односу на нанокompозите синтетисане на 23 °C, потенцијалу -4 kV и потенцијалу земље. Највише концентрације су регистроване у нанокompозитима синтетисаним третирањем у засићеном воденом раствору FeCl<sub>2</sub>. Анализом слика и профила одброја добијених TOF-SIMS методом констатована је одговарајућа дисперзија и дистрибуција калијума и гвожђа у добијеним нанокompозитима. На основу SEM микрографских снимака установљено да узорци нису „запрљани“ ни површински ни запремински већим кристалима соли.

У наноконструктивима је ТЕМ методом потврђено присуство наночестица у распону од 3 до 20 nm на међусобном растојању око 100 nm. Ове честице су сферног облика са морфологијом типа језгро-омогач. Компаративна анализа резултата ТЕМ и TOF – SIMS метода указује на одговарајућу дистрибуцију и дисперзију честица.

Компаративна анализа указала је на повезаност између вредности диелектричне пропустљивости ( $\epsilon'$ ) и концентрација алкалних и прелазних метала у узорцима наноконструктива. Показано је да узорци са навећом концентрацијом метала имају највише вредности  $\epsilon'$ , а да узорци са најнижим концентрацијама имају најниже вредности  $\epsilon'$ . Анализа разлика вредности релативне диелектричне пропустљивости ( $\Delta\epsilon'$ ) узорака на бази iPP и aPS је показала је да примењени позитивни потенцијал током синтезе има већи утицај него температура на добијање узорака са вишим вредностима  $\epsilon'$ .

Поређењем температурно фреквентне зависности  $\epsilon'$  нетретираног iPP са резултатима  $\epsilon'$  наноконструктива базираних на iPP, закључено је да су вредности  $\epsilon'$  у целом температурно фреквентном опсегу више за наноконструктиве. Констатовано је да је дошло до побољшања диелектричних особина материјала односно повећања  $\epsilon'$  и смањења  $\tan \delta$ .

На основу струјно-напонске карактеристике је закључено да припремљени наноконструктиви показују веће вредности густине струје. На основу нове мерне експерименталне методе уведени су параметри ( $\Delta\phi$  и  $Y_{TRI}/Y_{SIN}$ ) осетљивији на промене у електричним особинама полимерних материјала од  $\epsilon'$  и  $\tan \delta$ , који омогућавају детектовање финих промена у диелектричним особинама полимера, наноконструктива полимера, као и код других материјала.

Последња глава ове докторске тезе је кратак закључак тезе. На крају је списак коришћених референци.

### 3. Списак публикација кандидата

#### Радови у међународним часописима

##### Радови у врхунским међународним часописима (импакт фактор >1)

[A1] Bojan Stojadinovic, Zorana Dohčević-Mitrovic, Dimitrije Stepanenko, Milena Rosic, **Ivan Petronijević**, Nikola Tasic, Nikola Ilic, Branko Matović, Biljana Stojanovic, "Dielectric and ferroelectric properties of Ho-doped BiFeO<sub>3</sub> nanopowders across the structural phase transition", *Ceramics International*, 2017, ISSN 0272-8842, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.09.038>.

[M21a, IF = 2.986]

[A2] B. Stojadinovic, Z. Dohačević-Mitrovic, N. Paunovic, N. Ilic, N. Tasic, **I. Petronijević**, D. Popovic, B. Stojanovic, "Comparative study of structural and electrical properties of Pr and Ce doped BiFeO<sub>3</sub> ceramics synthesized by auto-combustion method", *Journal of Alloys and Compounds* 657 (2016) 866-872, doi:10.1016/j.jallcom.2015.09.235.

[M21a, IF = 3.014]

[A3] L. Csóka, D. Dudic, **I. Petronijević**, C. Rozsa, K. Halasz & V. Djokovic, "Photo-induced changes and contact relaxation of the surface AC conductivity of the paper prepared from poly(ethyleneimine)–TiO<sub>2</sub> anthocyanin modified cellulose fibers", *Cellulose* (2015) 22:779–788, DOI 10.1007/s10570-014-0537-3.

[M21a, IF = 3.195]

- [A4] D. Dudic, A. S. Luyt, F. Marinkovic, **I. Petronijevic**, J. Dojčilovic, D. Kostoski, "The effect of gamma irradiation on the thermal behavior of dielectric properties of linear low-density/carbon black semiconductivocomposites", Radiation Physics and Chemistry 107 (2015) 89–94, DOI:10.1016/j.radphyschem.2014.10.003. [M21, IF = 1.207]
- [A5] **I. Petronijevic**, K. Simonovic, F. Marinkovic, J. Dojčilovic, A. S. Luyt and D. Dudic, "The detection of the early stages of ageing in an LDPE+graphite composite by comparison of dielectric responses induced by sinusoidal and triangular signals", eXPRESS Polymer Letters Vol.8, No.10 (2014) 733–744, DOI: 10.3144/expresspolymlett.2014.76. [M21, IF = 2.965]
- [A6] K. Simonovic, **I. Petronijevic**, D. Kostoski, J. Dojčilovic, A.S. Luyt and D. Dudic, "Effects of acid treatment at different temperatures on the surface dielectric properties of low-density polyethylene (LDPE)", Polymer International Volume 63, Issue 11, pages 1924–1929, November 2014, DOI: 10.1002/pi.4731. [M21, IF = 2.414]
- [A7] **Ivan Petronijevic**, Dragana Cerovic, Dusko Dudic, Jablan R. Dojcilovic, Biljana Dojcinovic, Marija Pergal, "Dielectric spectroscopy of nanocomposites based on iPP and aPS treated in the water solutions of alkali metal salts", Polym. Adv. Technol. 2018 1-8, DOI: 10.1002/pat.4289. [M22, IF = 1.964]
- [A8] D. Cerovic, **Ivan Petronijevic**, Jablan R. Dojcilovic, "Influence of temperature and fibre structure on the dielectric properties of polypropylene fibrous structures", Polym. Adv. Technol. Volume 25, Issue 3, pages 338–342, March 2014, DOI: 10.1002/pat.3245. [M22, IF = 1.964]
- [A9] S. Maletic, D. Maletic, **I. Petronijevic**, J. Dojcilovic, and D. M. Popovica, "Dielectric and infrared properties of SrTiO<sub>3</sub> single crystal doped by 3d (V, Mn, Fe, Ni) and 4f (Nd, Sm, Er) ions", Chinese Physics B Vol. 23, No. 2 (2014) 026102, DOI: http://dx.doi.org/10.1088/1674-1056/23/2/026102. [M22, IF = 1.436]

#### Радови у осталим међународним часописима

- [A10] Dragana Cerovic, Jablan Dojcilovic, **Ivan Petronijevic**, Dušan Popovic, "Comparative analysis of dielectric and structural characteristics of the samples based on polyethyleneterephthalate", Contemporary Materials, V–1,42-50, (2014), DOI: 10.7251/COMEN1401042C. [M23]

#### Радови у зборницима међународних конференција штампани у целости

1. S. Maletic, D. Cerovic, **I. Petronijevic**, M. Siljegovic, J. Dojcilovic, "Characterization ION-BEAM modified polyethyleneterephthalate membrane", IX International scientific conference contemporary materials, Banja Luka, September 4 to 5, 2016 (Conference Proceedings in the press). [M33]
2. M. Siljegovic, Z. M. Kacarevic-Popovic, A. N. Radosavljevic, S. Korica, S. Maletic and **I. Petronijevic**, "Effect of Low-Energy Ion Irradiation on Optical and Dielectric Properties of Ethylene-Norbornen", Contributed papers & Abstracts of invited lectures, Topical invited lectures, Progress reports and Workshop lectures of the 27th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases, (2014) 204-209. [M33]

#### Радови на међународним конференцијама штампани у изводу

1. D. D. Cerovic, S. B. Maletic, K. A. Asanovic, F. S. Marinkovic, **I. M. Petronijevic**, J. R. Dojcilovic, "Dielectric properties of precision woven polymer mesh fabrics", *Advanced Ceramics and Applications V: New Frontiers in Multifunctional Material Science and Processing*, Serbia, Belgrade, September 21st-23rd, 2016, Book of Abstracts, Page 57, ISBN 978-86-915627-4-8. [M34]
2. Slavica B. Maletic, Dragana D. Cerovic, Filip S. Marinkovic, **Ivan M. Petronijevic**, Jablan R. Dojcilovic, "Optical response of a poly(ethylene terephthalate) membrane at various Temperatures", Serbian Ceramic Society Conference, *Advanced ceramics and application IV*, New Frontiers in Multifunctional Material Science and Processing, Program and the Book of Abstracts, Serbia, Belgrade, 21-23. September, 2015(77). ISSN 978-86-915627-3-1. [M34]
3. **Ivan Petronijevic**, Jablan Dojcilovic, Adriaan S. Luyt, Duško Dudic, "AC conductivity of iPP/WAX blend after treatment in a solution of lithium salt at a high positive electrical potential", Serbian Ceramic Society Conference, *Advanced ceramics and application IV*, New Frontiers in Multifunctional Material Science and Processing, Program and the Book of Abstracts, Serbia, Belgrade, 21-23. September, 2015(86). ISSN 978-86-915627-3-1. [M34]
4. B. Stojadinovic, Z. Dohčević–Mitrovic, N. Ilic, N. Tasic, B. Stojanovic, **I. Petronijevic**, D. Popovic, "Comparative study of structural and electrical properties of Pr and Ce doped BiFeO<sub>3</sub> ceramics synthesized by auto-combustion method", 3rd Conference of The Serbian Society for Ceramic Materials, Programme and the Book of Abstracts, June 15-17, 2015 (104). 978-86-80109-19-0. [M34]
5. **Petronijevic**, J. Dojcilovic, A.S. Luyt, D. Dudic, "Relaxation of AC conductivity of iPP/WAX blend after treatment in a solution of lithium salt at a high positive electrical potential" Fourth International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials 9-13. Mart 2015. | Poster programme P2.130. [M34]
6. D. D. Cerovic, J. R. Dojcilovic, **I. M. Petronijevic**, D. M. Popovic, "Comparative analysis of dielectric and structural characteristics of the samples based on polyethyleneterephthalate", Sixth international scientific conference Contemporary materials 2013, Program and Book of abstracts Banja Luka, 4-6. July 2013. 71. [M34]

### **Радови у зборницима домаћих конференција штампани у целости**

1. **I. Petronijević**, V. Čubrović, F. Marinković, S. Maletić, J. Dojčilović, V. Đoković, L. Csóka, D. Dudić, „Fotodielektrične osobine celuloznih vlakana sa deponovanim TiO<sub>2</sub> i antocijanima”, XII Kongres fizičara Srbije, (2013) 284. [M63]
2. V. Čubrović, S. Maletić, D. M. Popović, F. Marinković, **I. Petronijević**, J. Dojčilović, „Modifikacija površine monokristala Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kvazistacionarnim kompresionim plazma mlazom”, XII Kongres fizičara Srbije, (2013) 288. [M63]

## ЗАКЉУЧАК

На основу претходно изложеног, комисија је закључила да докторски рад „ЕЛЕКТРИЧНЕ ОСОБИНЕ КОМПОЗИТА ИЗОТАКТИЧКОГ ПОЛИПРОПИЛЕНА (iPP) И АТАКТИЧКОГ ПОЛИСТИРЕНА (aPS) ДОБИЈЕНИХ ТРЕТМАНОМ У РАСТВОРИМА СОЛИ ПРЕЛАЗНИХ И АЛКАЛНИХ МЕТАЛА“ који је предао кандидат Иван Петронијевић, представља оригиналан допринос области физике полимерних система. Током досадашњег научно-истраживачког рада кандидат Иван Петронијевић је показао висок степен самосталности у планирању и реализацији експеримената, развоју нових експерименталних метода што је верификовано кроз објављивање делова докторске дисертације у водећим међународним часописима. Како су задовољени сви прописани услови за одобравање одбране тезе предлажемо Наставно-научном већу Физичког факултета да одобри јавну одбрану докторске тезе.

У Београду, 23.05.2018. године

Чланови комисије:

---

Проф. др Јаблан Дојчиловић  
Редовни професор, Физички факултет, Београд

---

др Душан Поповић  
Ванредни професор, Физички факултет, Београд

---

др Драгана Церовић  
Виши научни сарадник,  
Висока текстилна струковна школа за  
дизајн технологију и менаџмент, Београд