

Факултет ТЕХНОЛОШКО-
МЕТАЛУШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/373

Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

11.01.2022.

(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације
и о одређивању ментора

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

Синтеза и карактеризација композита с полимерном матрицом на бази максена

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

Иван (Драган) Пешић

2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):

Универзитет у Београду,

Технолошко-металуршки факултет, Мастер студије, Мастер инжењер технологије

3. Година завршетка претходног нивоа студија: 2018.

4. Година уписа на докторске студије: 2018.

5. Назив студијског програма докторских студија: Инжењерство материјала

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ :

Име и презиме ментора: др Весна Радојевић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. J.Lamovec, V.Jovic, D. Randjelovic, R. Aleksic, **V. Radojevic**, *Analysis of the composite and film hardness of electrodeposited nickel coatings on different substrates*, Thin solid films, (2008), vol. 516 no. 23, pp. 8646-8654, (ISSN: 0040-6090, IF 2009=1.727, Materials Science, Coatings and Films, 11/20), doi: 10.1016/j.tsf.2008.06.035
2. R. M. Abozaid, Z. Ž. Lazarević, I. Radović, M. Gilić, D. Šević, M. S. Rabasović, **V. Radojević**, *Optical properties and fluorescence of quantum dots CdSe/ZnS-PMMA composite films with interface modifications*, Optical Materials, Volume 92, June 2019, Pages 405-410, (ISSN 0925-3467, if 2018 2,480 Materials Science, Multidisciplinary, 125/293) <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2019.05.012>
3. R. M. Abozaid, Z. Ž. Lazarević, N. Tomić, A. Milutinović, D. Šević, M. S. Rabasović, **V. Radojević**, *Optical properties CaWO₄:Nd³⁺ /PMMA composite layered structures*, Optical materials, Volume 96, October 2019, 109361, (ISSN 0925-3467, if 2018 2,480 Materials Science, Multidisciplinary, 125/293) <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2019.109361>
4. M. Curcic, B. Hadzic, M. Gilic, **V. Radojevic**, A. Bjelajac, I. Radovic, D. Timotijevic, M. Romcevi, J. Trajic, N. Romcevic, *Surface optical phonons (SOP) mode in ZnS/Poly (methyl methacrylate) nanocomposite*, Volume 115, January 2020, 113708, ISSN 1386-9477, Nanoscience & Nanotechnology 45/94 <https://doi.org/10.1016/j.physe.2019.113708>
5. Mladenović, I.O., Nikolić, N.D., Lamovec, J.S., Vasiljević-Radović, D.G., **Radojević, V.J.**: Application of the Composite Hardness Models in the Analysis of Mechanical Characteristics of Electrolytically Deposited Copper Coatings: The Effect of the Type of Substrate, -*Metals*, MDPI, vol. 11, no. 1, pp. 111, 2021 (IF(2019)=2.117) (eISSN: 2075-4701), DOI: 10.3390/met11010111.
6. Mladenović I.O., Lamovec, J.S., Vasiljević-Radović, D.G., Vasilić, R., **Radojević, V.J.**, Nikolić, N.D.: Morphology, Structure and Mechanical Properties of Copper Coatings Electrodeposited by Pulsating Current (PC) Regime on Si(111) - *Metals*, MDPI, vol. 10, no. 4, pp.488, 2020 (IF(2019)=2.117) (eISSN: 2075-4701), DOI: 10.3390/met10040488

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ 2:

Име и презиме ментора: др Милош Петровић

Звање: доцент

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. B. N. Grgur, J. Gojgić, **M. Petrović**, „A novel method of preparing the silver chloride cathode for the magnesium seawater activated primary cell“, *Journal of Power Sources* vol. 490 , 2021, ISSN: 0378-7753, DOI: 10.1016/j.jpowsour.2021.229549

2. M. M. Vuksanović, A. Egelja, T. Barudžija, N. Tomić, **M. Petrović**, A. Marinković, V. Radojević, R. Jančin Heinemann, „Inorganically modified particles FeAl-LDH@SiO₂ as reinforcement in poly (methyl) methacrylate matrix composite“, *Royal Society Open Science* vol. 8(9), September 2021, ISSN 2054-5703; IF(2020)=2,963; DOI: 10.1098/rsos.210835

3. A.A. Ashor, M. M. Vuksanović, N. Z. Tomić, **M. Petrović**, M. Dojčinović, T. Volkov Husović, V. Radojević, R. Jančić Heinemann, „Optimization of modifier deposition on the alumina surface to enhance mechanical properties and cavitation resistance“, *Polymer Bulletin* 2020, vol. 77 (7), pp. 3603-3620, July 2020, ISSN: 0170-0839, DOI: 10.1007/s00289-019-02923-8

4. G. A. Lazouzi, M. M. Vuksanović, N. Tomić, **M. Petrović**, P. Spasojević, V. Radojević, R. Jančić-Heinemann, „Dimethyl itaconate modified PMMA – alumina fillers composites with improved mechanical properties“, *Polymer Composites*, vol. 40 (5), pp. 1691-1701, May 2019, ISSN: 0272-8397, DOI: 10.1002/pc.24952

5. G. Lazouzi, M. M. Vuksanović, N. Z. Tomić, M. Mitrić, **M. Petrović**, V. Radojević, R. Jančić Hainemann, „Optimized preparation of alumina based fillers for tuning composite properties“, *Ceramics International*, vol. 44 (7), pp. 7442-7449, May 2018, ISSN 0272-8842; DOI: 10.1016/j.ceramint.2018.01.083

6. **M. Petrović**, P. Mihailović, Lj. Brajović, S. J. Petričević, I. Živković, A. Kojović, V. Radojević, „Intensity Fiber-Optic Sensor for Structural Health Monitoring Calibrated by Impact Tester“, *IEEE Sensors Journal*, vol. 16(9), pp. 3047-3053, May 2016, ISSN: 1530-437X, DOI: 10.1109/JSEN.2016.2524045

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф.дрПетарУскоковћ

Прилог 1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора

2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета

ДП

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл.43. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 23.12.2021. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата
за израду докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата и одобрава израда докторске дисертације **Ивана Пешића**, број индекса 4010/2018, под називом: **„Синтеза и карактеризација композита с полимерном матрицом на бази максена“**.

Одлуку о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације доноси Универзитет у Београду.

За менторе се одређују др Весна Радојевић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и др Милош Петровић доцент Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, менторима, Служби за наставно студентске послове и архиви Факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Ивана Д. Пешића, мастер инжењера технологије за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 35/294 од 18.11.2021. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Ивана Д. Пешића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Синтеза и карактеризација композита с полимерном матрицом на бази максена“.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Иван Д. Пешић, мастер инжењер технологије, рођен је 07.02.1994. године у Београду. Основну школу и средњу медицинску школу, смер фармацеутски техничар, завршио је у Београду. Основне академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, смер Инжењерство материјала, завршио је 2017. године са просечном оценом 8,16. Завршну тезу под називом „Добијање превлака цирконијум(IV)-оксида на алуминијуму сол-гел поступком“ одбранио је на Катедри за неорганску хемијску технологију са оценом 10. Мастер студије на Технолошко-металуршком факултету, Универзитета у Београду завршио је 2018. године са просечном оценом 10. На Катедри за конструкционе и специјалне материјале одбранио је мастер рад под називом „Структура и својства материјала са 2Д структуром за примену у области складиштења енергије“ са оценом 10. Школске 2017/2018 год. уписао је докторске студије на Технолошко-металуршком факултету, смер инжењерство материјала. Похађао је предмете предвиђене наставним планом и програмом докторских студија и положио испите са просечном оценом 9,91. Од априла 2019. године ангажован је на пројекту Министарства науке и технолошког развоја Републике Србије ТР 34011 „Развој опреме и процеса за добијање полимерних композитних материјала са унапред дефинисаним функционалним својствима“, као стипендиста Министарства у звању истраживач приправник.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Иван Д. Пешић, мастер инжењер технологије у току досадашњег рада, показао је савесност и склоност ка научноистраживачком раду који је усмерио ка области синтезе, процесирања и карактеризације максена и нанокомпозита на бази максена.

У оквиру докторских студија положио је све испите предвиђене студијским програмом са просечном оценом 9,91 и школске 2019/2020. године одбранио Завршни испит под називом „Композитни материјали на бази максена“ са оценом 10, пред комисијом у саставу: др Весна Радојевић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета; др Петар Ускоковић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета; др Радмила Јанчић-Хајнеман, редовни професор Технолошко-металуршког факултета.

Списак положених испита на докторским студијама:

Предмет	Оцена	ЕСПБ
Одабрана поглавља нумеричке анализе	10	5
Наука о материјалима и инжењерство материјала	10	6
Хемијска кинетика	9	5
Термодинамика чврстог стања	10	5
Метал, угљенични и керамички композити	10	5
Биокомпозитни материјали	10	5
Процесирање материјала за електронику	10	5
Квантификација визуелних информација у испитивању материјала	10	5
Структура и својства композитних материјала са полимерном матрицом	10	5
Физичко-механичка испитивања материјала – виши курс	10	5
Енглески језик	10	/
Истраживачки рад		10
Завршни испит	10	30
Укупно	9,91	91

Списак објављених научних радове и саопштења:

1. Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34)

1. Pesic I., Radojevic V., Barsoum M., Tomic N., Romcevic N., *Preparation, characterization and mechanical properties of MXene/PMMA composite*, TechConnect World Innovation Conference and Expo, Nanotech2019 and AI TechConnect, , Boston 2019, <https://www.techconnectworld.com/World2019/wednesday.html#W6.26>

2. Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M33)

1. Pešić I., Mijailović D., Ugrinović V., Mitrić M., Uskoković P., Radojević V., *Synthesis and characterization of Ti₃C₂ MXene film*, Proceedings of 6th conference IcETRAN in conjunction with the 63rd ETRAN Conference, Silver Lake, 2019, pp. 60

3. Рад у часопису националног значаја (M52)

1. Pešić I., Petrović M., Radojević V., *Uticaj parametara sinteze na mehanička svojstva nanokompozita PMMA-makseni*, Tehnika, Vol. 76, Br. 5, 2021, str. 545-549. IF 0.064 ISSN 0040-2176

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Током докторских студија и у оквиру рада на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, ТР 34011, Иван Д. Пешић, мастер инжењер технологије, показао да поседује способност и знање за бављење научноистраживачким радом. Поред показаног самосталног креирања и реализације истраживања везаних за тему докторске дисертације показао је и самосталност при обради и дискусији резултата. До сада је објавио један рад у часопису националног значаја категорије M52 и два саопштења на међународним конференцијама категорије M33 и M34. На основу приказаних активности и резултата комисија сматра да кандидат испуњава услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет ове докторске дисертације обухвата истраживања у области синтезе, модификације и карактеризације дводимензионалних (2Д) материјала-максена (енгл. MXene) као и процесирања и карактеризације композита са полимерном матрицом на бази максена.

Максени су релативно нова група материјала откривена селективним нагризањем макс фаза (енгл. MAX phase). Макс фазе представљају фамилију једињења у чији састав улазе прелазни метали од 3. до 6. групе периодног система елемената, угљеник или азот и неки елемент од 12. до 16. групе периодног система елемената. Њихов састав се може дати формулом $M_{n+1}AX_n$ где М означава прелазни метал (на пример: Sc, Ti, Zr, Hf, Ta...), X угљеник или азот, а А неки елемент из наведених група (на пример Al, Si, Ga, In, P...). Селективним уклањањем А врсте атома из макс фазе добија се максен чија се структура састоји од 2Д слојева дебљине од неколико атомских равни и која прати структуру оригиналне макс фазе. Главне одлике максена су: велика специфична површина, топлотна и електрична проводљивост, могућност модификације функционалних група на површини нанољуспица, антибактеријска својства и хидрофилност. Максени се могу користити у облику стабилне дисперзије или се могу модификовати жељеним молекулима у циљу подешавања компатибилности са матрицом у неким нанокompозитним материјалима. Обзиром да у својој структури имају јаке ковалентне везе између атома метала и угљеника имају и јако добра механичка својства па могу играти улогу носиоца оптерећења код нанокompозитних материјала. Дводимензионални материјали као што су графен, диалогениди прелазних метала, хексагонални бор нитрид (h-BN), и слојевити двоструки хидроксиди (LDH) такође спадају у групу атрактивних материјала у области складиштења енергије, фотокаталитичких процеса, адсорбента и сензора. Максени су и добили назив као пандан графенима по структури.

Структура композита се састоји од континуалне фазе-матрице у коју је уграђена једна или више дисконтинуалних фаза које могу бити или ојачање или функционални медијум у зависности од примене. Код нанокompозитних материјала бар једна димензија дисконтинуалне фазе мања је од 100 нанометра, а континуална фаза у којој су честице дисперговане може бити метална, керамичка или полимерна. Максени са својим љуспицама-слојевима нанометарских дебљина одговарају овој дефиницији. Због изузетно великог односа површине према запремини и при релативно малим уделима наночестица у матрици долази до знатне промене својстава нанокompозита. Модификацијом површне наночестица остварује се боља веза с матрицом тако да је могуће је дизајнирати жељена физичко-механичка и функционална својства композита. Код максена се ова модификација може

остварити убацивањем различитих јона у међупростор између слојева али и применом силана, што је карактеристично за композите с полимерном матрицом. У оквиру ове дисертације биће испитиван утицај процесних параметара, садржаја максена и модификације максена на оптичка, механичка и електропроводна својства нанокompозита. Складиштење енергије је једна од водећих тема у савременим технологијама и стога је важно боље разумевање електропроводних својстава материјала који имају погодна својства за примену у тој области као што су проводни полимери. Механичка својства су важна како у самој примени композитног материјала, тако и за успешно манипулисање материјалом. Што се тиче оптичких својстава, максени могу играти важну улогу у примени за заштитне превлаке екрана и дисплеја, пошто имају улогу и заштите од електромагнетног зрачења.

Циљ истраживања је дизанирање напредних композитних материјала на бази максена за примену у области складиштења енергије. Предвиђено је испитивање утицаја процесних параметара, садржаја максена и функционализације максена на механичка и електропроводна својства нанокompозита. На тај начин је могуће успостављање корелације између промене наведених својстава и процесирања материјала додатком чистих и модификованих максена као и удела силана при функционализацији максена; дефинисање процеса и параметара синтезе нанокompозита почевши од максена, преко њихове функционализације, до самог нанокompозита.

У даљем тексту наведен је списак дела релевантне литературе:

1. Anasori B., Lukatskaya M. R., Gogotsi Y.: *2D metal carbides and nitrides (MXenes) for energystorage*, Nature Reviews Materials 02. 2017, pp. 16098
2. Chaudharia N. K., Hanuel J., Kima B., Baek D. S., Joo S. H., Lee K.: *MXene: An Emerging Two-Dimensional Material for Future Energy Conversion and Storage Applications*, J. of Mater. Chem. A volume 47, 2017, pp. 24564-24579.
3. Khazaei M., Ranjbar A., Arai M., Sasaki T., Yunoki S.: *Electronic properties and applications of MXenes: a theoretical review*, J. Mater. Chem. C, 2017, No 5, pp. 2488-2503.
4. Sliozberg Y., Andzelm J., Hatter C. B., Anasori B., Gogotsi Y.: *A Hall, Interface binding and mechanical properties of MXene-epoxy nanocomposites*, Composites Science and Technology, Vol 192, 2020, pp. 108124.
5. Wan Y.J., Li X.M., Zhu P.L., Suna R., Wong C.P., Liao W.H.: *Lightweight, flexible MXene/polymer film with simultaneously excellent mechanical property and high-performance electromagnetic interference shielding*, Composites Part A Vol 130, 2020, pp. 105764.
6. Tanvir A., Sobolčiak P., Popelka A., Mrlik M., Spitalsky Z., Micusik M., Prokes J., Krupa I.: *Electrically Conductive, Transparent Polymeric Nanocomposites Modified by 2D Ti3C2Tx (MXene)*, Polymers, Vol 11, No 8 2019, pp. 1272.
7. Zhang H., Wang L., Zhou A., Shen C., Dai Y., Liu F., Chen J., Li P., Hu Q.: *Effects of 2-D transition metal carbide Ti2CTx on properties of epoxy composites*, RSC Advances., Vol 6, 2016, pp. 87341-87352.
8. Alhabeb M., Maleski K., Anasori B., Lelyukh P., Clark L., Sin S., Gogotsi Y.: *Guidelines for Synthesis and Processing of 2D Titanium Carbide (Ti3C2Tx MXene)*, Chem. Mater., Vol 29, No 18, 2017, pp 7633–7644.
9. Khalaf A. I., Assem Y., Yehia A. A., Rabia A. M., Zidan T. A.: *Synthesis and characterization of hybrid clay/poly (N,N-dimethylaminoethyl methacrylate) nanocomposites*, Polymer Composites Vol 34, No 12, pp. 4098-4103.
10. Dogan S., Ozcan T., Dogan M., Turhan Y.: *The effects on antioxidant enzymes of PMMA/hydroxyapatite nanocomposites/composites*, Enzyme and Microbial Technology, Vol 142, 2020, pp. 109676.

11. Hussain F., Nairn J., Muszyński L.: *An experimental method for measurement of strain distribution between wood the flour particles and polymer matrix on micro- mechanical level*, , Vol 528, No 18, 2011, pp. 6072-6078.
12. Isaac Z.S., Daniel M., Luo J.J. : *Modeling of fatigue damage in a polymer matrix composite*, Material science and engineering.: A, Vol 361, No 1–2, 2003, pp. 302-311,
13. Kang G., Liu Y., Wang Y., Chen Z., Xu W.: *Uniaxial ratchetting of polymer and polymer matrix composites: Time-dependent experimental observations*, Material science and engineering.: A Vol 523, No 1–2, 2009, pp. 13-20.
14. Riazi H., Anayee M., Anayee K. Hantanasirisakul, Arabi A. S., Anasori B., Gogotsi Y., Soroush M.: *Surface Modification of a MXene by an Aminosilane Coupling Agent*, Advanced Materials Interfaces, Vol 7, 2020, pp. 1902008.
15. Ibrahim Y., Mohamed A., Abdelgawad A. M., Eid K., Abdullah A. M., Elzatahry A.: *The Recent Advances in the Mechanical Properties of Self- Standing Two-Dimensional MXene-Based Nanostructures: Deep Insights into the Supercapacitor*, Nanomaterials, Vol 10, No 10, 2020, pp. 1916
16. Lipatov A., Lu H., Alhabeb M., Anasori B., Gruverman A., Gogotsi Y., Sinitskii A.: *Elastic properties of 2D Ti₃C₂T_x MXene monolayers and bilayers*, Science Advances Vol. 4, No. 6, 2018, pp. 0491
17. Stojanovic D., Orlovic A., Glisic S.B., Markovic S., Radmilovic V., Uskokovic P.S., Aleksic R.: *Preparation of MEMO silane-coated SiO₂ nanoparticles under high pressure of carbon dioxide and ethanol*, The Journal of Supercritical Fluids, Vol 52, No 3, 2010, pp. 276-284.
18. Dong Y., Sang D., He C., Sheng X., Lei L.: *Mxene/alginate composites for lead and copper ion removal from aqueous solutions*, RSC Advances, Vol 9, 2019, pp. 29015–29022.
19. Djire A., Zhang H., Liu J., Miller E.M., Neale N.R.: *Electrocatalytic and Optoelectronic Characteristics of the Two2 Dimensional Titanium Nitride Ti₄N₃T_x MXene*, ACS Appl. Mater. Interfaces, Vol 11, No 12, 2019, pp. 11812–11823.
20. Natu V., Clites M., Pomerantseva E., Barsoum M.W.: *Mesoporous MXene powders synthesized by acid induced crumpling and their use as Na-ion battery anodes*, Materials Research Letters Vol 6, No 4, pp. 230-235.
21. Gross S., Camozzo D., Noto V., Armelao L.: *PMMA: A key macromolecular component for dielectric low- κ hybrid inorganic–organic polymer films*, European Polymer Journal Vol 43, No 3, 2007, pp. 673-696.
22. Huang X., Brittain W. J.: *Synthesis and Characterization of PMMA Nanocomposites by Suspension and Emulsion Polymerization*, Macromolecules, Vol 34, No 10, 2001, pp. 3255–3260.
23. Balos S., Pilic B., Markovic D., Pavlicevic J., Luzanin O.: *Poly(methyl-methacrylate) nanocomposites with low silica addition*, J. Prosthet Dent., Vol 111, No 4, 2014, pp. 327-34.
24. Ahmad S., Agnihotry S.A.: *Synthesis and characterization of in situ prepared poly (methyl methacrylate) nanocomposites*, Bull. Mater. Sci. Vol 30, 2007, pp. 31–35.
25. Oliver W.C., Pharr G.M.: *An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments*, Journal of Materials Research, Vol 7, No 6, 1992, pp. 1564 - 1583.
26. B. Anasori, Y. Gogotsi : *2D Metal Carbides and Nitrides (MXenes) Structure, Properties and Applications*, Springer, Switzerland, (2019), ISBN: 978-3-030-19026-2.
27. Naguib M., Mashtalir O., Carle J., Presser V., Lu J., Hultman L., Gogotsi Y., Barsoum M.W.: *Two-dimensional transition metal carbides*, ACS Nano, Vol 6, No 2, 2012, pp. 1322–1331.
28. Naguib A. M., *MXenes: A new family of two-dimensional materials and its application as electrodes for Li-ion batteries*, Drexel University, Philadelphia (2014).
29. Barsoum M. W., Gogotsi Y., Abdelmalak M. N., Mashtalir O.: *Compositions comprising free standing two dimensional nanocrystals*. US Patent 2015, 9,193,595.

30. Anasori B., Xie Y., Beidaghi M., Lu J., Hosler B. C., Hultman L., Kent P. R. C., Gogotsi Y., Barsoum M. W.: *Two-dimensional ordered double transition metals carbides (MXenes)*, ACS Nano, Vol 9, No 10, 2015, pp. 9507–9516.
31. Armin V.M. , Rosen J., Gogotsi Y.: *The world of two-dimensional carbides and nitrides (MXenes)*, Science Vol 372, 2021, pp.6547.

3. Полазне хипотезе

У оквиру ове дисертације истраживање ће бити фокусирано на функционализацију максена и дефинисање утицаја чистих и модификованих максена на механичка и електрохемијска својства материјала. Полазна хипотеза је да се модификацијом максена могу дизајнирати механичка и електропроводна својства композита. Максен који ће се користити је Ti_3C_2 и који ће се добијати нагризањем Ti_3AlC_2 МАХ фазе. Као полимерна матрица за почетна испитивања изабран је полианилин (ПАНИ), који због своје добре електропроводности и високе псеудокапацитивности већ има примене у области складиштења енергије. Поред тога, као друга полимерна матрица за праћење оптичких и механичких својстава изабран је полиметилметакрилат (ПММА). Даљим развојем функционализације максена извршиће се избор оптималне матрице за специфичну примену.

Максени поседују врло специфичну структуру и самим тим јединствен спој различитих својстава. Нанољуспе максена су монослојеви карбида прелазног метала које на површини имају функционалне групе (-О; -ОН; -F) чији удео зависи од параметара синтезе и може се мењати одговарајућим поступцима (најчешће жарењем). На те функционалне групе могуће је везати молекуле и тиме променити хемијска својства максена, тачније њихов хемијски афинитет према другим материјалима. Полази се од претпоставке да се модификацијом максена силаном може утицати на деламинацију љуспица или растојање између атомских 2Д љуспица. Такође, уградњом нових јона међу слојеве или хибридизацијом са другим 2Д материјалима могуће је модификовати својства добијених композита.

За модификацију максена у композиту с ПММА матрицом одабран је 3-метакрилоксипропилтриметокси силан (МЕМО), пошто садржи исту функционалну групу (метакрилну) као и ПММА.

Други правац истраживања односи се на испитивање промене специфичне капацитивности и цикличне стабилности полианилина (ПАНИ). Полианилин је електропроводан полимер, попут полипирола и полиетилендиокситиофена, и има примену у различитим областима електрохемије. Модификација максена силаном и везивање функционалних група доводи до промене морфологије нанољуспи и њиховог растојања. Очекује се да истраживања покажу какав утицај има ова модификација на електрохемијска својства полианилина.

Током истраживања у оквиру дисертације биће праћени параметри процеса као што су време и температура реакције, концентрација реагенса и удео силана током нагризања макс фазе односно добијања стабилне дисперзије нанољуспи и модификације максена МЕМО силаном. Обзиром да су максени склони оксидацији као и да удео функционалних група на површини нанољуспи зависи од начина процесирања, свака промена неког параметра реакције може довести до промене одређених својстава нанокомпозита.

4. Научне методе истраживања

Полазне идеје и претпоставке предвиђају процесирање композита инкорпорирањем максена у полимерну матрицу и њихову карактеризацију како кроз испитивање физичко-механичких тако и електропроводних својстава. У оквиру експерименталног дела биће испитиван чисти и модификовани максени као и добијени нанокомпозити. Скенирајућа електронска микроскопија (енгл. *Scanning electron microscopy*, SEM) биће примењена за карактеризацију морфологије честица максена и структуре нанокомпозита. Величина максена и њихов степен дисперзије ће бити праћени помоћу анализе слике у софтверском пакету *Image Pro Plus*. Инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом (енгл. *Fourier transform-infrared spectroscopy*, FTIR) послужиће за потврђивање функционализације максена као и за утврђивање промена хемијских веза у нанокомпозиту у односу на чист полимер. Електропроводна и капцитивна својства нанокомпозита ће се испитивати применом потенциометријских метода мерења. Термичка својства нанокомпозита биће испраћена диференцијалном скенирајућом калориметријом (енгл. *Differential scanning calorimetry*, DSC). Механичка својства ће бити испитивана на анализатору текстуре затезањем и микроиндентацијом. Тачан елементарни састав модификованих максена и нанокомпозита биће одређиван помоћу фотоелектронске спектроскопије X-зрака, XPS (енгл. *X-ray photoelectron spectroscopy*). Испитивање оптичких својстава, како полазних конституената тако и нанокомпозита, спровешће се методом временски разложене ласерски индуковане флуоресценције.

5. Очекивани научни допринос

По завршетку планираних истраживања очекује се следећи научни допринос докторске дисертације:

- развој процеса модификације максена MEMO силианом који по прегледу литературе до сада није коришћен,
- развој методе добијања хибридних структура максена и 2Д материјала,
- оптимизација процеса синтезе нанокомпозита на бази модификованог максена,
- успостављање корелације између процесних параметара, структуре и физичко-механичких, оптичких и електропроводних својстава нанокомпозита на бази максена.

6. План истраживања и структура рада

У току истраживања биће урађено следеће:

- Синтеза чистог максена - максен ће бити синтетисан „MILD“ методом и као стабилна водена дисперзија користиће се даље у синтези.
- Модификација максена MEMO силианом уз одговарајућу карактеризацију - модификација ће бити урађена помоћу MEMO силиана одговарајућим поступком, а потврда о функционализацији ће бити урађена помоћу инфрацрвене спектроскопије и фотоелектронске спектроскопије X-зрака.
- Синтеза и карактеризација нанокомпозита ПММА-максен и ПММА-модификовани максен. Нанокомпозит ће бити синтетисан растварањем гранула полимера и дисперговањем одговарајућег ојачања у растварачу. Механичка својства ће бити испитана на анализатору текстуре испитивањем на затезање и микроиндентацијом.
- Синтеза и карактеризација нанокомпозита ПАНИ-максен и ПАНИ-модификовани максен. Анилин ће бити полимеризован хемијским поступком, а електрохемијска својства ће бити испитана на потенциостату.

Предвиђа се да ће докторска дисертација имати следећа поглавља: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак, Литература. У поглављу Увод биће дефинисани главни циљеви дисертације, предмет истраживања и допринос дисертације. У

оквиру теоријског дела докторске дисертације прегледом литературе биће сумирана досадашња истраживања у области максена и нанокмпозита на бази максена. У оквиру експерименталног дела, описаће се поступци синтезе и карактеризације самих максена, њихове функционизације и нанокмпозитних материјала. У поглављу резултати и дискусија, биће приказани и анализирани резултати експерименталних истраживања. Такође, добијени резултати ће бити критички упоређени са актуелним истраживањима. У поглављу Закључак биће сумирани сви добијени резултати на основу изведених истраживања. У поглављу Литература биће наведена референтна литература за теоријски, експериментални део и дискусију, као и публикације проистекле из ове докторске дисертације.

7. Закључак и предлог

На основу изнетих података, Комисија сматра да је предложена тема докторске дисертације Ивана Д. Пешића, мастер инжењера технологије, под насловом: „Синтеза и карактеризација композита с полимерном матрицом на бази максена“ научно заснована. Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област инжењерство материјала, за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да кандидату Ивану Д. Пешићу одобри израду докторске дисертације под наведеним насловом. За менторе се предлажу др Весна Радојевић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и др Милош Петровић доцент Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду.

У Београду, 15.12. 2021. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Весна Радојевић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Милош Петровић, доцент
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Петар Ускоковић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Радмила Јанчић Хајнеман, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Маја Поповић, виши научни сарадник
Институт за нуклеарне науке „Винча“