

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ - ФАКУЛТЕТ ЗА
ФИЗИЧКУ ХЕМИЈУ НАСТАВНО-НАУЧНОМ
ВЕЋУ**

На I редовној седници Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду, одржаној 17.10.2024. године именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидаткиње Невене Д. Божиновић, мастер физикохемичара, под насловом:

**„Карактеризација уређених биоактивних структура добијених
модификацијом танких слојева Ti/Zr/Ti/Si и Ti/Cu/Ti/Si ласерским
зрачењем”.**

Одлуком Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду, са IX редовне седнице одржане 14.06.2021. године одобрена је израда докторске дисертације под горе наведеним насловом. На основу те одлуке, Веће научних области природних наука Универзитета у Београду је на својој седници одржаној 24.06.2021. године дало сагласност за прихватање предложене теме докторске дисертације.

Након прегледа и анализе докторске дисертације кандидаткиње, Наставно-научном већу подносимо следећи извештај:

ИЗВЕШТАЈ

Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Невене Д. Божиновић написана је на српском језику, на 125 страна А4 формата куцаоног текста (фонт Times New Roman величине 12 pt и прореда 1). Дисертација је припремљена према упутству за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду. Дисертација се састоји из 9 оглавља: **Теоријски део са прегледом литературе** (39 страна), **Циљ докторске дисертације** (2 стране), **Материјали и експерименталне методе** (13 страна), **Резултати и дискусија** (57 страна), **Закључак** (2 стране) и **Литература** (13 страна). Поред наведеног, дисертација садржи и **Насловну страну на српском језику** (1 страна), **Насловну страну на енглеском језику** (1 страна), **Списак ментора и чланова комисије** (1 страна), **Захвалницу** (2 стране), **Сажетак на српском језику** (1 страна), **Сажетак на енглеском језику** (1 страна), **Садржај** (2 стране), **Биографију** (1 страна), **Библиографију кандидаткиње** (3 стране) и **Изјаве прописане правилима Универзитета о подношењу докторске дисертације на одобравање** (4 стране).

У дисертацији су приказане 72 слике (21 слика у Уводу и 46 слика у Резултатима и Дискусији) и 15 табела (3 табеле у Теоријском делу са прегледом литературе и 12

табела у делу Резултати и дискусија), од којих 47 слика и 12 табела приказују резултате истраживања кандидаткиње.

У поглављу **Теоријски део са прегледом литературе** наведене су основне карактеристике танких слојева, методе њиховог депоновања у циљу формирања жељених танкослојних система, механизми раста и нуклеације, као и њихова микроструктурна својства. Детаљно је описана интеракција ласерског зрачења са површином чврсте мете, са посебним освртом на ефекте модификације танких слојева коришћењем ултра-кратких ласерских импулса. Сагледане су могућности промене хемијског састава, структуре и морфологије танких слојева које настају под утицајем ласерског зрачења, са циљем побољшања њихових површинских својстава у контексту интеракције са биолошким системима. Такође су представљена основна физичко-хемијска својства биоматеријала и функционалност титанијумских танких слојева за примену у инжењерингу ткива.

У поглављу **Циљ рада** истакнут је основни циљ докторске дисертације, а то је развој танких слојева заснованих на титанијуму, применом методе депоновања јонским распршивањем. У циљу побољшања полазних својстава ових слојева, примењена је техника модификације ласерским зрачењем, како би се формирале уређене површинске структуре. Посебан акценат стављен је на главни мотив истраживања - испитивање материјала у форми танких слојева који би, уз помоћ ласерске модификације, постали биоактивни и погодни за интеграцију ћелијских култура животињских и хуманих фибробласта.

Као **специфични циљеви** истакнути су:

- формирање танкослојних система $Ti/Cu/Ti$, $Ti/Zr/Cu/Ti$, $15 \times (Ti/Zr)/Si$, $Ti/Zr/Ti$ поступцима који укључују коришћење методе катодног распршивања, где је укупна дебљина слојева у опсегу од 300 nm до 500 nm. Слојеви бакра и цирконијума су депоновани у потповршинској области, са дебљином од 10 nm, док је на површини слојева депонован танак слој титанијума (дебљине ~ 10 nm).
- испитивање процеса модификације депонованих танкослојних структура методом једно-импулног и више-импулног озрачивања ласерским снопом у пико- и фемтосекундном режиму.
- карактеризација добијених система техникама електронске микроскопије, фотоелектронске спектроскопије изазване X-зрачењем и методом мерења контактеног угла капљица различитих течности на формираним површинама, ради оптимизације и побољшања интеракције са биолошким течностима и ћелијама животињских L929 фибробласта и хуманих MRC-5 фибробласта плућа.
- испитивање цитотоксичне активности, вијабилности ћелија, као и њихове морфологије у присуству потповршинских слојева бакра и цирконијума.

У поглављу **Материјали и експерименталне методе**, описане су методе синтезе и карактеризације испитиваних депонованих танких слојева. Приказан је систематичан преглед свих депонованих узорака, уз детаљан опис експерименталних услова примењене физичко-хемијске методе за формирање испитиваних система. Метода припреме танких слојева обухвата физичку методу депоновања катодним распршивањем мете титанијума, бакра и цирконијума. Коришћени ласерски системи за модификацију танких слојева су детаљно представљени уз приказ излазних

параметара и услова под којима се изводио експеримент током процеса озрачивања. Методе којима је испитивана карактеризација узорака обухватају: сканирајућу електронску микроскопију са енергетски дисперзивном спектроскопијом (SEM-EDS), микроскопију атомских сила (AFM), трансмисиону електронску микроскопију (TEM), фотоелектронску спектроскопију изазвану X-зрачењем (XPS) и оптичку профилометрију. За одређивање слободне површинске енергије депонованих и ласерски модификованих танких слојева, коришћена је метода мерења контактеног угла капљица различитих течности (дејонизоване воде, дијодметана и етилен-гликола), са површином испитиваних материјала. Биолошки експерименти су урађени *in vitro*, коришћењем МТТ (3-(4,5-диметилтиазол-2-ил)-2,5- дифенил тетразолијум бромид) колориметријске технике.

Поглавље **Резултати и дискусија** подељено је у неколико целина у складу са задатим циљевима тезе. Поглавље почиње детаљним приказом резултата анализе површине формираних Ti/Cu/Ti и Ti/Cu/Zr/Ti танких слојева након модификације пикосекундним импулсима. Промене хемијског састава и морфолошке структуре испитиване су методом сканирајуће електронске микроскопије (SEM) са енергетским дисперзивном спектроскопијом X-зрака (EDS), као и оптичком профилометријом. На овај начин је добијена расподела појединачних компонента танких слојева, пре и после модификације ласерским зрачењем. Следећа два потпоглавља описују детаљну карактеризацију хемијског састава, морфологије и кристалне структуре Ti/Cu/Ti, Ti/Zr/Ti и $15 \times (\text{Ti/Zr})$ система након модификације фемтосекундним импулсима. Четврто потпоглавље у овом делу тезе се односи на испитивање цитотоксичности L929 и MRC-5 ћелија коришћењем колориметријског МТТ теста након 24h и 72h култивације.

У поглављу **Закључак** су редом представљени најбитнији закључци добијени током истраживања у овој докторској дисертацији.

У поглављу **Литература** приказан је преглед коришћених референци по редоследу њиховог навођења у тексту.

Опис резултата дисертације

У овој тези су применом методе катодног распршивања успешно формирану танкослојни системи засновани на титанијуму, који су детаљно анализирани након површинске модификације применом ултра-кратких ласерских импулса, са циљем потенцијалне биолошке примене. Резултати су показали да се применом ласерске модификације површине могу добити метални материјали са побољшаним структурним, физичким и хемијским својствима, што представља напредак у области развоја металних биоматеријала.

На основу резултата добијених сканирајућом електронском микроскопијом (SEM) успешно су формирану периодични морфолошки облици у форми LIPSS (енгл. *Laser Induced Periodic Surface Structures-LIPSS*) структура, коришћењем ласерског зрачења. На површини титанијумских слојева са потповршинским слојем бакра и цирконијума озрачених фемтосекундним импулсима биле су присутне две врсте периодичних структура, означене као LSFL (енгл. *Low Spatial Frequency*) и HSFL (енгл. *High Spatial Frequency*), док су на површини Ti/Cu/Zr/Ti и Ti/Cu/Ti, озрачених пикосекундним импулсима, формиране само LSFL структуре. Ласерском модификацијом површине Ti/Zr/Ti и Ti/Cu/Ti, применом фемтосекундних импулса,

постигнута је оптимална вредност храпавости од 100 nm ($< 1 \mu\text{m}$), што је потврђено методом микроскопије атомских сила (AFM). Са друге стране, у ласерски озраченим областима коришћењем пикосекундних импулса, измерена је средња површинска храпавост од 120 nm, што је у сагласности са добијеним резултатима AFM анализе. Овај начин нано-текстурисања површине омогућава пораст адхезије ћелија, чиме се побољшава њихово везивање за површину.

Слободна површинска енергија испитивана је методом мерења контактеног угла капљица различитих течности. Резултати су показали да на ласерски модификованим танким слојевима долази до повећања контактних углова у односу на депоноване системе, што указује на хидрофобност система, насталу услед присуства ласерски индукованих периодичних структура. Вредности израчунатих површинских енергија за слојеве након ласерске модификације су износиле 38 mJ/m^2 односно $38,5 \text{ mJ/m}^2$ за Ti/Cu/Ti и Ti/Cu/Zr/Ti, што је за око 17% мање у односу на вредности добијене за немодификоване танке слојеве.

Ефекат ласерске аблације вишеслојног $15 \times (\text{Ti/Zr})$ танкослојног система је испитиван у режиму статичког и динамичког озрачивања. Површина је озрачена фокусираним линеарно поларизованим импулсима. Укупна дебљина депонованог слоја била је 500 nm, где је сваки појединачни слој титанијума и цирконијума износио 17 nm. У статичком режиму је показано да са порастом енергије импулса постепено расте максимална дубина у центру ласерског снопа, при чему дебљине уклоњеног материјала за појединачне кругове приближно одговарају дебљини појединачних слојева (17 nm) испитиваног система. Анализом ових резултата, може се закључити да је код $15 \times (\text{Ti/Zr})$ остварена селективна аблација материјала, по принципу слој по слој. Поред тога, одређене су и густине енергије у свакој аблираној области према једначини за Gauss-ову расподелу интензитета ласерског импулса. Вредности густине енергије су опадале од центра ласерског снопа према периферији, по следећем редоследу: $F_1 = 0,597 \text{ J/cm}^2$, $F_2 = 0,503 \text{ J/cm}^2$, $F_3 = 0,418 \text{ J/cm}^2$, $F_4 = 0,342 \text{ J/cm}^2$, што је довело до индукованих аблација различитог интензитета.

У циљу детаљнијег испитивања ефеката ласерског зрачења на микроструктурне промене испитиваних танких слојева, депоновани и ласерски модификовани Ti/Zr/Ti и Ti/Cu/Ti системи су анализирани методом трансмисионе електронске микроскопије (ТЕМ). Резултати су показали да је код оба узорка депоновани слој био униформне дебљине (300 nm), са јасно дефинисаном границом слој/силицијумска подлога. Поред тога, утврђено је да слој поседује карактеристичну стубичасто-зрнасту структуру, типичну за формирање металних танких слојева методом катодног распршивања. Микроструктурне промене изазване деловањем ласерског зрачења анализирани су коришћењем високо-резолюционе ТЕМ микроскопије (енгл. *High Resolution Transmission Electron Microscopy*, HR-ТЕМ) у попречном пресеку, док је методом електронске дифракције са одабране површине (енгл. *Selected Area Electron Diffraction - SAED*) испитивана кристална структура система, и анализирано присуство одређених фаза у Ti/Zr/Ti и Ti/Cu/Ti системима. Код депонованих слојева је потврђено постојање α и β хексагоналне фазе титанијума и цирконијума, као и анатас кристалне фазе TiO_2 , која се јавља као резултат спонтане оксидације површине депонованог слоја, услед изложености узорка ваздуху. Након ласерске модификације Ti/Zr/Ti система, међуграничне површине Zr слоја и Ti слојева нису видљиве и не могу се међусобно разликовати. Такво понашање указује да је у овој зони узорка дошло до појачане дифузије атома и појаве ефекта мешања различитих слојева, раније уоченог код

вишеслојних металних система модификованих ласерским зрачењем. Исти ефекат је постигнут и код система са потповршинским слојем бакра, Ti/Cu/Ti, што је у сагласности са унапред дефинисаним циљем да се модификацијом помоћу ласерског зрачења постигне мешање фаза у међуграничним областима.

Испитивање морфолошких промена ћелија на површини танких слојева је спроведено методом сканирајуће електронске микроскопије. Резултати су показали да су ћелије вретенасто издужене након култивисања на немодификованим Ti/Cu/Ti и Ti/Zr/Ti системима, те да задржавају своју морфологију када су у контакту са микроструктурним LIPSS периодима, чиме је установљено да ласерска модификација површине не нарушава почетни морфолошки облик појединачних ћелија. Ови резултати указују на то да ћелије L929 показују бољу адхезију на ласерски модификованим површинама у поређењу са равним системима танких слојева, вероватно због повећане ефективне површине и веће просечне храпавости постигнуте LIPSS структурама на ласерски исписаним линијама. Формиране структуре пружају већу додирну површину за пријањање ћелија, што што доприноси већој стабилности ћелија на површини.

За мерење цитотоксичне активности ћелија коришћене су директна и индиректна метода ћелијског узгајања. Резултати су представљени у односу на контролне ћелијске културе засејане на немодификованом титанијуму, узете као 100 % живе ћелије. Добијени резултати МТТ теста су показали да ласерски модификовани Ti/Zr/Ti поседује већу вијабилност L929 ћелија у односу на контролни узорак и модификовани Ti/Cu/Ti. МТТ тест цитотоксичности титанијумских слојева на MRC-5 ћелијску културу је показао да је најнижа средња вредност вијабилности од око 85% забележена на ласерски озраченом танком слоју Ti/Cu/Ti, у 50% разблаженом медијуму. Може се закључити да су ласерским зрачењем, у контролисаним условима, на површини титанијумских танких слојева Ti/Cu/Ti и Ti/Zr/Ti формиране микрометарске и субмикрометарске структуре, као и удубљења. Овако измењена топографија, са повећаном храпавошћу, побољшава услове за везивање и раст ћелија, јер ствара повољно окружење за иницијацију биолошких интеракција.

Упоредна анализа резултата кандидаткиње са подацима из литературе

Тема ове докторске дисертације је систематска карактеризација биоактивних структура које су формиране на титанијумским танким слојевима, модификованим ласерским зрачењем, с циљем оптимизације експерименталних процедура за развој материјала погодних за биомедицинску примену. Последњих година посебна пажња је усмерена ка проучавању материјала нанометарских димензија у облику танких слојева, у циљу контролисања структуре и њихових својстава [1]. У вези са тим, методе депоновања танких слојева укључују различите технике које омогућавају формирање слојева материјала на одређеним подлогама. Најчешће коришћена метода добијања танких слојева је физичко депоновање из парне фазе (енгл. *Physical Vapor Deposition* – PVD), којом је омогућено добијање слојева са високом контролом дебљине, структуре и униформности [2]. Ова метода се користи за контролисану синтезу танких слојева који испољавају изузетна физичко- хемијска својства.

Функционалност већине металних биоматеријала у форми танких слојева је дефинисана њиховим површинским својствима, због интеракције са биолошким

системима. Међутим, перформансе и својства извесног броја биоматеријала нису оптимална за конкретне примене у биомедицини. Различити поступци модификације површина биоматеријала користе се за побољшање њихових карактеристика ради постизања што боље биокомпатибилности и задовољавајућих механичких својстава. У последње време, ласерска модификација материјала привлачи све већу пажњу као једноставан, лако доступан и економичан поступак. [3,4]. Модификација танких слојева ласерским зрачењем може значајно повећати њихову ефективну површину процесима топљења и уклањањем дела материјала са површине (аблација), што за последицу има промену структуре и морфологије озраченог материјала. На овај начин, техника ласерског текстурирања површине доприноси развоју имплантата, биомедицинских уређаја и површинских третмана који побољшавају биокомпатибилност материјала [5].

Основни циљ многих истраживачких група је проналажење оптималних услова модификације ласерским зрачењем за постизање унапред дефинисаних својстава, специфичних за примене у биомедицини. Недавне студије су показале да ласерски модификовани танки слојеви на бази титанијума показују побољшану биоактивност, укључујући остеогену диференцијацију и антибактеријска својства [6,7]. Ултра-кратки ласерски импулси, посебно у пико- и фемтосекундном режиму, могу индуковати промене морфологије, микроструктуре и хемијског састава у локализованом делу материјала, без утицаја на његове запреминске карактеристике. Важно је истаћи да се ласерском модификацијом формирају материјали са дефинисаним хемијским саставом и морфологијом површина, у циљу испитивања понашања различитих врста патолошких микроорганизама. Недавна истраживања везана за понашање грам-негативне бактерије *Escherichia coli* на ласерски модификованој површини титанијума су показала да промена хемијског састава директно утиче на смањење слободне површинске енергије, што доводи до смањења концентрације бактерије. Поред тога, потврђено је да се додавањем цирконијума и бакра, биоматеријалима заснованим на титанијуму, додатно побољшава биокомпатибилност услед промена хемијског састава и микроструктуре. Такође, познато је да цирконијум показује изузетну биокомпатибилност и способност да формира стабилне оксидне слојеве, док је, са друге стране, бакар добар кандидат у спречавању раста и развоја микроорганизама. Интеграција ових материјала са силицијумским (Si) подлогама додатно проширује њихову употребу у медицинским уређајима, имплантима и инжењерингу ткива [8].

Ласерски индуковане површинске периодичне структуре имају важну улогу у побољшању интеграције ћелија у биоматеријалима. Ове наноструктуре се стварају на површини материјала након ласерске модификације и могу значајно утицати на понашање ћелија у контакту са материјалом. Побољшана адхезија ћелија се јавља као резултат формирања LIPSS-а, јер ове структуре обезбеђују повећану површинску храпавост и ефективну површину материјала. Површинска храпавост ствара микро- и нанотопографске позиције које ћелије могу препознати и на које реагују побољшаном адхезијом [9].

У доступној литератури нису истраживани материјали у облику танких слојева који би имали периодичне структуре на површини за испитивање ћелијских култура [10]. Због тога се јавила потреба за стварањем нових функционалних материјала који се ослањају на танке слојеве и који ће задовољити све потребне услове за добијање погодних биоактивних материјала.

Референце:

- [1] Y. Deng, W. Chen, B. Li, C. Wang, T. Kuang, Y. Li, Physical vapor deposition technology for coated cutting tools: A review, *Ceram. Int.* 46 (2020) 18373-18390. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.04.168>.
- [2] Mattox, Donald M. *Handbook of physical vapor deposition (PVD) processing*. William Andrew, 2010. <https://doi.org/10.1016/B978-0-8155-2037-5.00001-8>.
- [3] Tyuftin, Andrey A., and Joe P. Kerry. "Review of surface treatment methods for polyamide films for potential application as smart packaging materials: Surface structure, antimicrobial and spectral properties." *Food Packaging and Shelf Life* 24 (2020): 100475. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100475>.
- [4] Jiao, Yang, Emmanuel Brousseau, Wayne Nishio Ayre, Edward Gait-Carr, Xiaojun Shen, Xiaoxiang Wang, Samuel Bigot, Hanxing Zhu, and Weifeng He. "In vitro cytocompatibility of a Zr-based metallic glass modified by laser surface texturing for potential implant applications." *Applied Surface Science* 547 (2021): 149194. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.149194>.
- [5] Bhadra, Chris M., Vi Khanh Truong, Vy TH Pham, Mohammad Al Kobaisi, Gediminas Seniutinas, James Y. Wang, Saulius Juodkazis, Russell J. Crawford, and Elena P. Ivanova. "Antibacterial titanium nano-patterned arrays inspired by dragonfly wings." *Scientific reports* 5, no. 1 (2015): 16817. <https://doi.org/10.1038/srep16817>.
- [6] Padilha Fontoura, Cristian, Patrícia Ló Bertele, Melissa Machado Rodrigues, Ana Elisa Dotta Maddalozzo, Rafael Frassini, Charlene Silvestrin Celi Garcia, Sandro Tomaz Martins et al. "Comparative study of physicochemical properties and biocompatibility (L929 and MG63 Cells) of TiN coatings obtained by plasma nitriding and thin film deposition." *ACS Biomaterials Science & Engineering* 7, no. 8 (2021): 3683-3695. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.1c00393>.
- [7] Kuczyńska-Zemła, Donata, Ewa Kijeńska-Gawrońska, Marcin Pisarek, Paweł Borowicz, Wojciech Swieszkowski, and Halina Garbacz. "Effect of laser functionalization of titanium on bioactivity and biological response." *Applied Surface Science* 525 (2020): 146492. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.146492>.
- [8] Sista, Subhash, Cui'E. Wen, Peter D. Hodgson, and Gopal Pande. "The influence of surface energy of titanium-zirconium alloy on osteoblast cell functions in vitro." *Journal of biomedical materials research Part A* 97, no. 1 (2011): 27-36. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.33013>.
- [9] Vorobyev, Anatoliy Y., and Chunlei Guo. "Direct femtosecond laser surface nano/microstructuring and its applications." *Laser & Photonics Reviews* 7, no. 3 (2013): 385-407. <https://doi.org/10.1002/lpor.201200017>.
- [10] Bonse, Jörn, and Stephan Gräf. "Ten open questions about laser-induced periodic surface structures." *Nanomaterials* 11, no. 12 (2021): 3326. <https://doi.org/10.3390/nano11123326>.

Научни радови и саопштења публиковани из резултата дисертације

Кандидаткиња је коаутор четири научна рада објављена у међународним часописима и аутор два саопштења са међународних научних скупова штампаних у изводу, који су публиковани из резултата дисертације:

Радови у истакнутим међународним часописима (M22):

1. **Božinović Nevena**, Kyriaki Savva, Vladimir Rajić, Maja Popović, Dragana Tošić, Kristina Janjetović, Ana Despotović, Nevena Zogović, Emmanuel Stratakis, and Suzana Petrović. "Influence of zirconium and copper sub-layer in cell integrations on femtosecond laser-processed Ti thin films." *Materials Chemistry and Physics* 308 (2023): 128286.

2. **Božinović Nevena**, Vladimir Rajić, Danilo Kisić, Dubravka Milovanović, Jelena Savović, and Suzana Petrović. "Laser surface texturing of Ti/Cu/Ti and Ti/Cu/Zr/Ti multilayers thin films." *Optical and Quantum Electronics* 54, no. 9 (2022): 561.

3. Petrović, Suzana, **Nevena Božinović**, Vladimir Rajić, Danijela Stanisavljević Ninković, Danilo Kisić, Milena J. Stevanović, and Emmanuel Stratakis. "Cell Response on Laser-Patterned Ti/Zr/Ti and Ti/Cu/Ti Multilayer Systems." *Coatings* 13, no. 6 (2023): 1107.

Радови у међународним часописима (M23):

1. Petrović, Suzana, George D. Tsibidis, Aleksander Kovačević, **Nevena Božinović**, Davor Peruško, Alexandros Mimidis, Alexandra Manousaki, and Emmanuel Stratakis. "Effects of static and dynamic femtosecond laser modifications of Ti/Zr multilayer thin films." *The European Physical Journal D* 75, no. 12 (2021): 304.

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34):

1. **Nevena Božinović**, Dubravka S Milovanović, Vladimir Rajić, Lazar Rakočević, Jelena Savović, Suzana Petrović, Laser surface texturing of Ti/Cu/Ti/Si and Ti/Cu/Zr/Ti/Si multilayer thin films, *PHOTONICA2021: 8th International School and Conference on Photonics and HEMMAGINERO workshop: Abstracts of Tutorial, Keynote, Invited Lectures, Progress Reports and Contributed Papers*; August 23-27, 2021; Belgrade.

2. **Nevena Božinović**, Vladimir Rajić, Danilo Kisić, Dragana Tošić, Dubravka Milovanović, Suzana Petrović, Laser induced periodic surface structures on Ti thin films by ultrafast laser irradiation, *19th Young Researchers' Conference Materials Sciences and Engineering: program and the book of abstracts*, December 1-3, 2021; Belgrade.

Провера оригиналности докторске дисертације

Провера оригиналности докторске дисертације извршена је на начин прописан Правилником о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду („Гласник Универзитета у Београду“ број 204 од 22.06.2018.). Помоћу програма iThenticate извршена је провера оригиналности докторске дисертације кандидаткиње под називом „**Карактеризација уређених биоактивних структура добијених модификацијом танких слојева Ti/Zr/Ti/Si и Ti/Cu/Ti/Si ласерским зрачењем**“ и установљено је да количина подударања текста (similarity index) износи 5%. Утврђени степен подударности произилази из употребе цитата, личних имена, библиографских података коришћене литературе, тзв. Општих места и података, као и претходно објављених резултата истраживања, који су произашли из њене дисертације, што је у складу са чланом 9. наведеног Правилника. На основу свега изнетог, Комисија је закључила да је докторска дисертација кандидаткиње Невене Д. Божиновић оригинална, те да су у потпуности поштована академска правила цитирања, због чега се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

Закључак комисије

На основу наведеног може се закључити да резултати кандидаткиње Невене Д. Божиновић представљају оригиналан и значајан научни допринос у области физичке хемије, посебно у ужим научним областима: физичка хемија материјала и физичка хемија - спектроскопија. Део резултата докторске дисертације кандидаткиње публикован је у научним часописима: 3 у међународном часопису (категорије М22) и један у међународном часопису (М23). Додатно, из резултата докторске дисертације кандидаткиње проистекла су два саопштења са међународних научних скупова штампаних у изводу (категорија М34). У складу са наведеним, Комисија сматра да кандидаткиња испуњава све услове за прихватање завршене докторске дисертације прописане од стране Универзитета у Београду и услове дефинисане Правилником о изради и оцени докторске дисертације на Факултету за физичку хемију Универзитета у Београду.

На основу изложеног, Комисија позитивно оцењује дисертацију мастер физикохемичара Невене Д. Божиновић под називом: **„Карактеризација уређених биоактивних структура добијених модификацијом танких слојева Ti/Zr/Ti/Si и Ti/Cu/Ti/Si ласерским зрачењем“** и предлаже Наставно – научно већу Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду да прихвати ову оцену Комисије, чиме би били испуњени сви услови за одобрење јавне одбране докторске дисертације и стицања звања кандидаткиње доктор физикохемијских наука.

У Београду 07.11.2024. године

Чланови комисије:

др Маја Милојевић-Ракић, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Факултет за физичку хемију

др Бојана Недић Васиљевић, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Факултет за физичку хемију

др Мирјана Новаковић, научни саветник,
Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитет у
Београду, Институт од националног значаја за
републику Србију