

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Јована Цигановића, дипломираног инжењера електротехнике.

Одлуком 5013/10-3 бр. од 19.12.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Јована Цигановића, дипломираног инжењера под насловом

„Дејство импулсног ласера на титанијумску мету: површински ефекти“

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Јован Цигановић је уписао докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду школске 2010/2011 године, на модулу Наноелектроника и фотоника. Током студија положио је све испите са просечном оценом 9,70 и испунио све обавезе везане за студијски истраживачки рад.

Кандидат је тему докторске дисертације под насловом **„Дејство импулсног ласера на титанијумску мету: површински ефекти“** пријавио 03.11.2016. године. Комисија за студије трећег степена Електротехничког факултета Универзитета у Београду је одобрила предлог теме за израду докторске дисертације 08.11.2016. године. Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду је именovalo Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5013/10-1 од 24.11.2016. године) у саставу:

1. др Пеђа Михаиловић, ванредни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
2. др Милан Тртица, научни саветник, Институт за нуклеарне науке „Винча“ Универзитета у Београду,
3. др Жељко Ђуришић, доцент, Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

За ментора докторске дисертације предложен је др Петар Матавуљ, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Наставно-научно веће усвојило је Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5013/10-2 од 17.1.2017. године).

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације (Одлука број 61206-202/2-17 од 30.1.2017. године).

Кандидат је урађену докторску дисертацију предао на преглед и оцену 28.11.2019. године. Комисија за студије трећег степена Електротехничког факултета Универзитета у Београду потврдила је испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације 03.12.2019. године. Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду је именovalo Комисију за преглед и оцену докторске дисертације (Одлука бр. 5013/10-3 од 19.12.2019. године) у саставу:

1. др Петар Матавуљ, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
2. др Пеђа Михаиловић, ванредни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
3. др Јелена Сташић, виши научни сарадник, Институт за нуклеарне науке „Винча“ Универзитета у Београду,
4. др Милош Момчиловић, научни сарадник, Институт за нуклеарне науке „Винча“ Универзитета у Београду,
5. др Јован Цветић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

На основу одлуке Наставно-научног већа Електротехничког факултета Универзитета у Београду бр. 3058/2 од 28.12.2010. године, Студијски програм је започео у пролећном семестру школске 2010/2011, па се рок за завршетак докторских академских студија рачуна од почетка тог семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета Универзитета у Београду. На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду, члана 74. Статута Електротехничког факултета Универзитета у Београду и захтева студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма. Кандидату је одобрено мировање у школској 2018/2019. години.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада научној области Техничких наука – електротехника, у ужем смислу научној области Физичка електроника – ласерска техника. За ове научне области матичан је Електротехнички факултет. Ментор дисертације је др Петар Матавуљ, редовни професор на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, који предаје више предмета на основним, мастер и докторским студијама, и аутор је бројних научних радова из уже научне области ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Јован В. Цигановић рођен је 22.10.1982. године у Земуну, Република Србија. Основну школу и гимназију природно-математичког смера завршио је у Земуну.

Дипломирао је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду 2010. године са просечном оценом 8,33. Дипломски рад под називом: „Модификација површине титана импулсним ТЕА СО₂ ласерским зрачењем“ одбранио је са оценом 10 под менторством проф. др Петра Матавуља, тада ванредног професора на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. (Придружени коментор је био др Милан Тртица, научни саветник Института за нуклеарне науке „Винча“ Универзитета у Београду.)

Докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду уписао је школске 2010/2011 године. Од јуна 2010. године запослен је у Институту за нуклеарне науке „Винча“ у Лабораторији за физичку хемију, где ради у Сектору за ласерску физику и хемију и оптичку спектроскопију.

Током 2010. године био је ангажован на пројекту Министарства просвете и науке „Спектроскопска и ласерска истраживања површина, плазме и животне средине“. Тренутно је ангажован на пројектима МПНТР Републике Србије „Ефекти дејства ласерског зрачења и плазме на савремене материјале при њиховој синтези, модификацији и анализи“ и „Генерисање и карактеризација нанофотонских функционалних структура у биомедицини и информатици“, као и међународном пројекту *IAEA „Behaviour of ICF Reactor Materials under High Temperatures and High Energy Fluxes Obtained by Medium/High-Intensity Pulsed Lasers“*.

Члан је Оптичког друштва Србије и Друштва физикохемичара Србије. Учествовао је на неколико међународних билатералних пројеката. Резултати досадашњег научно-истраживачког рада Јована Цигановића објављени су у 17 радова са *JCR* листе, као и у више од 20 саопштења на скуповима од домаћег и међународног значаја.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација је написана на српском језику, латиничним писмом, на 79 страна (71 страна ефективног текста), и садржи 52 слике, 15 табела и 74 библиографске референце. Текст докторске дисертације чине следећа поглавља: 1. Увод (2 стране), 2. Теоријско разматрање интеракције импулсних ласера са металима (14 страна), 3. Експерименталне апаратуре и услови озрачивања титанијумских мета кратким и ултракратким ласерским импулсима (11 страна), 4. Резултати и дискусија (36 страна), 5. Закључак (3 стране) и 6. Литература (5 страна). Дисертација садржи и уобичајене уводне (непагиниране) стране са неопходним информацијама о докторској дисертацији: резиме са кључним речима и подацима о научној области на српском (1 страна) и енглеском језику (1 страна) и садржај (2 стране). Поред наведеног, на крају докторске дисертације налази се списак објављених научних радова који су резултат рада на дисертацији, биографија аутора, и обавезне изјаве (Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјава о коришћењу).

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У Уводу је дат краћи приказ актуелности теме, истакнути су главни циљеви као и организација докторске дисертације.

У другој глави **Теоријско разматрање интеракције импулсних ласера са металима** представљен је сценарио интеракције ласерског зрачења са металима, укључујући и титанијум. Разматрани су случајеви интеракције при трајању ласерских импулса у наносекундном, пикосекундном и фемтосекундном домену. Представљени су и принципи на којима почивају савремене методе за карактеризацију површина попут скенирајуће електронске микроскопије (SEM), енергетски дисперзивне спектроскопије (EDX) и профилометрије.

У трећој глави **Експерименталне апаратуре и услови озрачивања титанијумских мета кратким и ултракратким ласерским импулсима** приказана је уопштена експериментална апаратура која је употребљена при озрачивању титанијумске мете. Посебно су дате карактеристике употребљених ласера, као и софистицираних уређаја коришћених за карактеризацију површине узорка пре и након озрачивања ласером.

У четвртој глави докторске дисертације **Резултати и дискусија** приказани су резултати бројних експеримената, заједно са дискусијом. Разматране су промене на титанијумској мети у зависности од трајања ласерског импулса, односно од типа употребљеног ласера. Приказани су резултати при озрачивању титанијумске мете ласерским импулсима наносекундног угљендиоксидног ласера, пикосекундног Nd:YAG ласера и

фемтосекундног титанијум-сафирног ласера. За дати тип ласера, мењани су параметри ласера попут излазне енергије импулса, броја акумулираних импулса, интензитета ласерског зрачења. Такође је мењана и средина у којој се озрачивање врши, на пример различите гасне средине (ваздух, кисеоник, угљен-диоксид, азот, хелијум), вакуумски амбијент, а размотрен је и утицај течне средине (воде). Добијени резултати су детаљно дискутовани, тј. подржани и теоретским разматрањем. Треба нагласити да је интеракција ових типова ласера са титанијумом непозната или слабо разматрана у литератури.

У поглављу **Закључак** су сумирани резултати добијени у оквиру ове докторске дисертације и изведени закључци извршених истраживања која имају како фундаментални тако и практични значај. Такође, укратко су представљени и могући праваци будућих истраживања у овој проблематици.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Разматрана докторска дисертација представља оригиналан научни рад у области примена иновативних ласерских технологија. Интеракција импулсног ласерског зрачења са металним метама предмет је истраживања још од открића ласера а посебно је интензивирана у последње време са развојем нових, ефикасних ласерских система са кратким и ултракратким импулсима.

Истраживања у овој тези везана су за титанијум, прелазни метал који поседује низ изванредних особина што га чини применљивим у различитим савременим технологијама. Обрада и процесирање титанијума, у циљу добијања побољшаних карактеристика за одређене примене, може се провести различитим техникама, међутим примена ласера даје посебан квалитет који се огледа у високој прецизности обраде или добијању специфичних структура на површини које није могуће генерисати другим методама. Главни циљ ове докторске дисертације је била експериментална оптимизација површинске модификације титанијума импулсним нано-, пико-, и фемтосекундним ласерима. Детаљно је испитан утицај појединих параметара ласера (таласне дужине, дужине трајања импулса, енергије импулса) као и амбијенталних услова озрачивања. Утврђено је да примењени импулси различитог трајања на различите начине модификују површину мете од титанијума. Многи од добијених резултата су потпуно оригинални и по први пут споменути у литератури и као такви дају могућност не само за фундаментална већ и за примењена истраживања.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У току израде дисертације, кандидат је истражио доступну, релевантну литературу и коректно цитирао 74 референце које су од значаја за тему дисертације. Литература обухвата широк опсег публикација, доминантно везаних за проучавање морфолошких промена изазваних дејством различитих ласерских система. Литература укључује и 5 публикација у међународним часописима (1 M21a, 1 M21, 1 M22, 2 M23) на којима је кандидат аутор а које су произашле током научно-истраживачког рада на дисертацији.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру докторске дисертације састојала се у следећем:

- Проучавање доступне литературе из области докторске дисертације у циљу што потпунијег сагледавања проблематике интеракције ласерског зрачења са металима (са посебним освртом на титанијум),
- Осмишљавање и реализација оригиналне експерименталне апаратуре за озрачивање металних (титанијумских) мета импулсним ласером, у различитим гасним срединама или у амбијенту вакуума, и за спектроскопску анализу ласерски индуковане плазме,
- Спровођење експеримената озрачивања титанијумских мета различитим импулсним ласерима (наносекундни угљендиоксидни ласер, пикосекундни Nd:YAG ласер, фемтосекундни титанијум-сафирни ласер), уз варирање различитих параметара ласерског зрачења (излазна енергија ласерских импулса, број акумулираних импулса) и уз промену средине у којој се озрачивање врши (гасови: ваздух, кисеоник, угљендиоксид, азот, хелијум, амбијент вакуума, течна водена средина),
- Карактеризација неозрачене и модификоване површине титанијумских мета применом оптичке микроскопије, скенирајуће електронске микроскопије (SEM), енергетски дисперзивне спектроскопије (EDX), контактне и интерференционе профилометрије,
- Анализа и детаљно објашњење регистрованих морфолошких и хемијских промена на метама насталих деловањем ласерског зрачења,
- Разматрање потенцијалних примена анализираних промена на мети, као и ласерски индуковане плазме испред мете.

На основу изложеног Комисија констатује да су примењене научне методе адекватне за решавање проблематике интеракције ласерског зрачења са материјалом и омогућавају ефикасно спровођење истраживања модификације титанијумске мете. Уочено је да је оригинални научни допринос дисертације последица примене осмишљене нове поставке експерименталне опреме као и правилне анализе добијених експерименталних резултата.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати истраживачког рада проистекли из ове дисертације потврђују значајан потенцијал употребе иновативних ласерских система за површинску модификацију титанијумске мете. Захваљујући употреби ласерских импулса различитог временског домена (нано-, пико-, фемтосекундних) као и савремених метода за карактеризацију површина испуњени су сви предуслови за детаљно испитивање промена структуре и хемијског састава озрачених површина и показано је да се сви разматрани ласерски системи могу успешно користити за ефикасне и бесконтактне површинске модификације титанијумске мете. Такође, резултати ове дисертације послужиле као важна полазна основа за планирана *in vivo* и *in vitro* истраживања са циљем да се испита реакција живих ћелија и ткива на модификоване површине титанијумских импланата.

Целокупан приступ и методологија примењена у овој дисертацији може бити примењена за анализу ласерски модификованих површина различитих металних материјала.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу прегледане докторске дисертације Комисија процењује да је кандидат Јован Цигановић у потпуности демонстрирао спремност и способност за самостални научно-истраживачки рад, почевши од систематичног прегледа актуелне литературе, преко показане креативности у решавању проблема који настају током експерименталног рада, до детаљног тумачења добијених резултата. Резултати истраживања су верификовани у еминентним међународним часописима и презентовани на научним скуповима од међународног значаја. Сагледавањем предмета и циља истраживања, а на основу остварених резултата, Комисија

констатује да је кандидат успешно одговорио на изазове постављене на почетку израде ове дисертације. Такође, кандидат је уочио и предвидео могућности за даља истраживања. Поред рада на докторској дисертацији кандидат је учествовао и у другим експерименталним истраживањима која нису непосредно везана за рад на тези, што је резултовало публиковањем додатно 12 радова на *JCR* листи.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси које је кандидат Јован Цигановић остварио кроз истраживања описана у овој докторској дисертацији могу се сумирати као:

- Осмишљена и реализована оригинална експериментална апаратура за озрачивање металних (титанијумских) мета импулсним ласером у различитим гасним срединама или у амбијенту вакуума, у којој су кључну улогу имали примењени ласерски системи,
- Експериментално је потврђено да за примењено ласерско зрачење промена амбијенталних услова кључно утиче на хемијске и морфолошке промене на мети,
- Озрачивање титанијумске мете свим коришћеним ласерским системима, и у различитим срединама (ваздух, кисеоник, угљен-диоксид, вакуум, вода), доводи до формирања површинских филмова титанијум оксида,
- Потврђено је да је приликом озрачивања титанијумске мете у атмосфери азота формиран титанијум-нитрид,
- Показано је да под одређеним условима на површини титанијума настају ласерски индуковане површинске периодичне структуре,
- Спектроскопска анализа оптичке емисије из ласерски индуковане плазме показала је присуство атомских и јонских линија титанијума у спектру, као и емисионе линије елемената у траговима,
- Показано је да приликом интеракције ласерског зрачења са титанијумском метом у воденој средини долази до формирања наночестица титанијум-диоксида.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Увидом у циљеве истраживања, полазне претпоставке и остварене резултате констатујемо да је кандидат успешно одговорио на сва релевантна питања из проблематике која је анализирана у дисертацији. Добијене и дискутоване морфолошке промене настале озрачивањем импулсним ласерским зрачењем различитих временских домена, као и поређење добијених резултата са оним до сада објављиваним, представљају значајан научни допринос у овој актуелној области. Анализом резултата приказаних у дисертацији констатујемо да су приказани резултати оригинални и савремени, што је верификовано публиковањем у врхунским међународним часописима уз позитивне коментаре анонимних рецензената.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси докторске дисертације верификовани су у следећим радовима (приказаним према категоријама):

Категорија M21a:

1. M. Trtica, J. Stasic, D. Batani, R. Benocci, V. Narayanan, **J. Ciganovic**, "Laser-assisted surface modification of Ti-implant in air and water environment", *Applied Surface Science*, vol. 428, pp. 669-675, 2018.
(IF = 5.155) (<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.09.185>, ISSN: 0169-4332)

Категорија M21:

1. **J. Ciganovic**, J. Stasic, B. Gakovic, M. Momcilovic, D. Milovanovic, M. Bokorov, M. Trtica, "Surface Modification of the Titanium Implant Using TEA CO₂ Laser Pulses in Controllable Gas atmospheres", *Applied Surface Science*, vol. 258, pp. 2741-2748, 2012.
(IF = 2.112) (<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2011.10.125>, ISSN: 0169-4332)

Категорија M22:

1. M. Trtica, D. Batani, R. Readelli, J. Limpouch, V. Kmetik, **J. Ciganovic**, J. Stasic, B. Gakovic, M. Momcilovic, "Titanium Surface Modification Using Femtosecond Laser with 10¹³-10¹⁵ W/cm² Intensity in Vacuum", *Laser and Particle Beams*, vol 31, pp. 29-36, 2013.
(IF = 1.701) (<https://doi.org/10.1017/S0263034612000924>, ISSN: 0263-0346)

Категорија M23:

1. **J. Ciganovic**, S. Zivkovic, M. Momcilovic, J. Savovic, M. Kuzmanovic, M. Stoiljkovic, M. Trtica, "Laser-induced features at titanium implant surface in vacuum ambience", *Optical and Quantum Electronics*, vol 48 num. 2, pp. 133 1-8, 2016.
(IF = 1.055) (<https://doi.org/10.1007/s11082-015-0369-x>, ISSN: 0306-8919)
2. **J. Ciganovic**, P. Matavulj, M. Trtica, J. Stasic, J. Savovic, S. Zivkovic, M. Momcilovic, "Pulsed TEA CO₂ laser irradiation of titanium in nitrogen and carbon dioxide gases", *Russian Journal of Physical Chemistry A*, vol. 91, num. 13, pp. 2696-2701, 2017.
(IF = 0.549) (<https://doi.org/10.1134/S003602441713009X>, ISSN: 0036-0244)

Категорија M33:

1. **J. Ciganovic**, P. Matavulj, M. Trtica, J. Stasic, J. Savovic, S. Zivkovic, M. Momcilovic, "Pulsed TEA CO₂ laser irradiation of Titanium – controllable gas ambience", 13th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, "Physical Chemistry 2016", September 26-30, 2016, Belgrade, Serbia, Proceedings Volume II, 561-564.
(ISBN: 978-86-82475-33-0)

Категорија M34:

1. **J. Ciganovic**, S. Zivkovic, M. Momcilovic, J. Savovic, M. Kuzmanovic, M. Stoiljkovic, D. Milovanovic, M. Trtica, "Laser-induced features at Titanium implant surface in vacuum ambience", The Fifth International School and Conference on Photonics, "Photonica 2015", August 24-28, 2015, Belgrade, Serbia. Book of Abstracts, 99-100.
(ISBN: 978-86-7306-131-3)

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

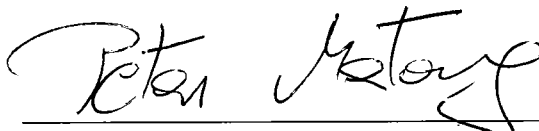
Докторска дисертација кандидата Јована Цигановића, дипломираног инжењера електротехнике, под насловом „Дејство импулсног ласера на титанијумску мету: површински ефекти“ представља савремени научни допринос у области Електротехнике и рачунарства, односно уже научне области Физичке електронике – ласерске технике.

Текст дисертације је написан јасно и разумљиво, са добром организацијом поглавља. Циљеви дисертације прецизно су формулисани и дефинисани, а објављени резултати су потврдили испуњеност тих циљева, чиме је кандидат показао способност за самостални научни рад. Добијени резултати површинске модификације титанијумске мете импулсним ласерским зрачењем и објављени радови у међународним часописима дају потврду актуелности дате теме, и отварају нове могућности за њену примену у пракси.

Комисија констатује да докторска дисертација кандидата Јована Цигановића испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и све критеријуме који се примењују приликом вредновања докторске дисертације на Универзитету у Београду, и на Електротехничком факултету. Узимајући у обзир све остварене резултате и оригинални научни допринос, комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација **Јована Цигановића** под насловом „Дејство импулсног ласера на титанијумску мету: површински ефекти“ изложи на увид јавности, прихвати и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а кандидату одобри јавна усмена одбрана.

У Београду, 20.12.2019. године

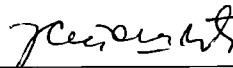
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Петар Матавуљ, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



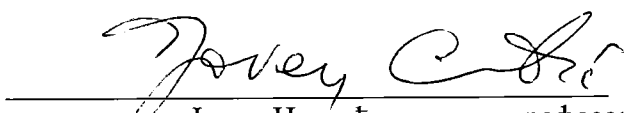
др Пеђа Михаиловић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Јелена Сташић, виши научни сарадник
Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне науке „Винча“



др Милош Момчиловић, научни сарадник
Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне науке „Винча“



др Јован Цветић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет