

## 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 именовало 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 именовало 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 Стасић, 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 троstrukог 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 CO<sub>2</sub> ласерским зрачењем“ одбранио је са оценом 10 под менторством проф. др Петра Матавуља, тада ванредног професора на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. (Придружен 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. Садржaj 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 импулснимnano-, пико-, и фемтосекундним ласерима. Детаљно је испитан утицај појединачних 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 (газови: ваздух, кисеоник, угљендиоксид, азот, хелијум, амбијент вакуума, течна водена средина),
- Карактеризација неозрачене и модификованаје 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 озраченых површина и показано је да се сви разматрани ласерски системи могу успешно користити за ефикасне и бесkontактне површинске модификације титанијумске мете. Такође, резултати ове дисертације послужиће 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 Џигановић 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 CO<sub>2</sub> 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 10<sup>13</sup>-10<sup>15</sup> W/cm<sup>2</sup> 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. Stoilkovic, 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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. Stoilkovic, 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

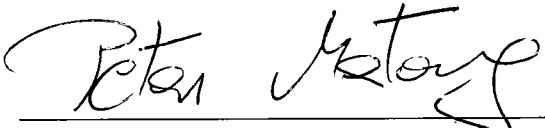
Докторска дисертација кандидата Јована Цигановића, дипломираног инжењера електротехнике, под насловом „Дејство импулсног ласера на титанијумску мету: површински ефекти“ представља савремени научни допринос у области Електротехнике и рачунарства, односно у же научне области Физичке електронике – ласерске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

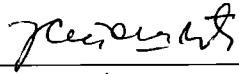
### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



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



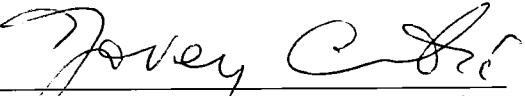
др Пеђа Михаиловић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Јелена Стасић, 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 Џетковић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет