

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ  
НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Николе Тасића**, дипл. инж. технологије

Одлуком бр. 35/94 од 20. 4. 2017. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Николе Тасића, дипл. инж. технологије под насловом: **„Синтеза и процесирање наноструктурног титан(IV)-оксида за примену у соларним ћелијама са фотоосетљивом бојом“**.

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

## **РЕФЕРАТ**

### **1. УВОД**

#### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Никола Тасић, дипл. инж. технологије је **19. 2. 2016.** Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета предложио тему за израду докторске дисертације под називом **„Синтеза и процесирање наноструктурног титан(IV)-оксида за примену у соларним ћелијама са фотоосетљивом бојом“**.

На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, од **3. 3. 2016.** одлуком бр. 35/94, именована је Комисија за оцену подобности теме **„Синтеза и процесирање наноструктурног титан(IV)-оксида за примену у соларним ћелијама са фотоосетљивом бојом“** и кандидата Николе Тасића, дипл. инж. технологије за израду докторске дисертације.

На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета одржаној **14. 4. 2016.** одлуком бр. 35/195, усвојен је реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације, а за менторе су именовани др Јелена Роган, ванредни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, и др Горан Бранковић, научни саветник Института за мултидисциплинарна истраживања Универзитета у Београду.

Одлуком бр. 61206-2279/2-16 од **16. 5. 2016.** Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Николе Тасића, дипл. инж. технологије, под називом **„Синтеза и процесирање наноструктурног титан(IV)-оксида за примену у соларним ћелијама са фотоосетљивом бојом“**.

На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, од **20. 4. 2017.** одлуком бр. 35/94, именована је Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације Николе Тасића, дипл. инж. технологије, под називом **„Синтеза и процесирање наноструктурног титан(IV)-оксида за примену у соларним ћелијама са фотоосетљивом бојом“**.

На захтев Николе Тасића, 5. 9. 2016. одобрено је продужење рока завршетка докторских студија за још два семестра – до 30. 9. 2017. године.

## 1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство и ужој научној области Инжењерство материјала, за коју је матична установа Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Именовани ментори, др Јелена Роган, ванредни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, и др Горан Бранковић, научни саветник Института за мултидисциплинарна истраживања Универзитета у Београду, су на основу досадашњих објављених радова и искустава компетентни да руководе изработком ове докторске дисертације.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Никола Тасић рођен је 11. октобра 1984. године у Београду, где је завршио основну школу и гимназију. Уписао се на Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду 2003. године, смер Биотехнологија и биохемијско инжењерство. Дипломирао је у октобру 2009. године и стекао звање дипломирани инжењер технологије.

Школске 2010/2011. године уписао је докторске студије на Технолошко-металуршком факултету, на студијском програму Инжењерство материјала и положио је све планом предвиђене испите. Од јануара 2011. године запослен је у Институту за мултидисциплинарна истраживања. У звање истраживач-приправник изабран је у јануару 2011. године, а у звање истраживач-сарадник у децембру 2012. године. У децембру 2015. године реизабран је у звање истраживач-сарадник. Члан је Друштва за керамичке материјале Србије. Активно се служи енглеским језиком и поседује основно знање руског и француског језика.

Никола Тасић је од 2011. године до данас ангажован на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја (број пројекта III 45007) под називом „0-3Д наноструктуре за примену у електроници и обновљивим изворима енергије: синтеза, карактеризација и процесирање“. Био је учесник билатералног пројекта између Републике Србије и Републике Словеније, под називом „Перовскити прелазних метала са мултифероичним својствима“, док је тренутно учесник билатералних пројеката између Републике Србије и Републике Хрватске, под називом „Синтеза и фотокаталитичка својства наноструктурних материјала на бази  $TiO_2$ “ и између Републике Србије и Републике Италије, под називом „N-допирани  $TiO_2$  и  $ZnO$  за примену у фотонапонским уређајима и фотокатализи“. Никола Тасић је 2015. године победио на такмичењу младих истраживача Друштва за керамичке материјале Србије, а потом представљао Србију на међународном такмичењу младих у организацији Европског керамичког Друштва у Толеду, Шпанија. Никола Тасић је 2016. године добио стипендију часописа Европског Керамичког Друштва (енг. Journal of the European Ceramic Society) за учешће на конференцији и радионици Америчког Керамичког Друштва у Орланду, Флорида, а његов рад изабран је за такмичење младих истраживача, на којем је био једини представник из Европе. Аутор је и коаутор пет радова објављених у врхунским међународним часописима (M21), једног рада објављеног у истакнутом међународном часопису (M22), два рада објављена у међународном часопису (M23), једног рада објављеног у међународном часопису верификованом посебном одлуком Министарства (M24), и осамнаест радова саопштених на скуповима међународног значаја штампаних у изводу (M34).

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

## 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Николе Тасића, дипл. инж. техн. под називом „**Синтеза и процесирање наноструктурног титан(IV)-оксида за примену у соларним ћелијама са фотоосетљивом бојом**“ написана је на 118 страна, у оквиру којих се налази 6 поглавља, 69 слика, 14 табела и 162 литературна навода. Докторска дисертација садржи следећа поглавља: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература. Поред тога, дисертација садржи Извод на српском и енглеском језику, Садржај, Захвалницу и додатке прописане правилима Универзитета у Београду о подношењу докторских дисертација на одобравање. Написана дисертација по форми и садржају задовољава све стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

## 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У докторској дисертацији кандидат Никола Тасић је радио на синтези наноструктурног титан(IV)-оксида за примену у соларним ћелијама са фотоосетљивом бојом и оптимизацији ћелија са циљем добијања побољшаних, репродуктивних перформанси. Овај тип соларних ћелија представља економичну алтернативу комерцијалним ћелијама на бази силицијума, због чега привлаче доста пажње мултидисциплинарних истраживачких група широм света.

Увод докторске дисертације представља кратак сажетак о доступности електричне енергије, производним капацитетима конвенционалних и алтернативних извора енергије, као и значају обновљивих извора енергије, тј. развоју и позицији тржишта фотонапонских уређаја (соларних ћелија) у савременом друштву. У Уводу је изложен и предмет и циљ истраживања.

У Теоријском делу докторске дисертације представљена је класификација фотонапонских уређаја, са посебним освртом на соларне ћелије са фотоосетљивом бојом. Детаљно је описан њихов оперативни механизам, прецизно дефинисана улога фотоосетљиве боје и осталих компонената, укључујући титан(IV)-оксид, а представљене су и компаративне предности у односу на друге типове соларних ћелија. Осим тога, дат је преглед значајних физичко-хемијских својстава  $TiO_2$ , представљени су најважнији морфолошки захтеви за ефикасну фотоаноду на бази  $TiO_2$ , као и краћи литературни преглед о добијању електрода са униформном монолитном структуром и електрода са тродимензионалним сферним структурама  $TiO_2$ .

Експериментални део састоји се из шест одељака. У првом одељку је описан начин припреме паста  $TiO_2$  за добијање референтних електродних филмова полазећи од комерцијалног праха. У другом одељку описана је хидротермална процедура за добијање наночестичног  $TiO_2$ . У трећем одељку детаљно је представљен поступак бојења електродних филмова и склапања функционалних соларних ћелија. У четвртном одељку наведене су инструменталне технике и услови под којима је карактерисан производ хидротермалне синтезе. Пети одељак приказује поступак карактеризације електродних филмова, а шести одељак поступак карактеризације соларних ћелија.

Поглавље Резултати и дискусија има шест потпоглавља. Прво потпоглавље посвећено је резултатима и анализи резултата испитивања структурних својстава производа хидротермалне синтезе и филмова. Друго потпоглавље садржи резултате и анализу резултата испитивања оптичких својстава производа хидротермалне синтезе. У трећем поглављу представљени су резултати испитивања порозности добијених филмова. Резултати опсежне микроструктурне анализе производа синтезе, синтетисаних и референтних филмова приказани су и дискутовани у четвртном потпоглављу, док су резултати испитивања фотонапонских особина ћелија представљени у петом потпоглављу. Феномени транспорта

носилаца наелектрисања у соларним ћелијама су испитани одговарајућим инструменталним методама, а резултати представљени у шестом потпоглављу.

У петом поглављу су дати Закључци проистекли из докторске дисертације. Истакнути су најважнији доприноси рада и указано је на предности и иновативност примењених истраживачких праваца, који су допринели постизању одличних и репродуктивних фотонапонских својстава соларних ћелија са фотоосетљивом бојом.

У поглављу Литература су набројани литературни наводи који су коришћени приликом израде ове дисертације.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Соларне ћелија са фотоосетљивом бојом (енг. dye-sensitized solar cells) представљају економичну алтернативу комерцијалним ћелијама на бази силицијума и кадмијум-телурида. Захваљујући нетоксичности и распрострањености основног градивног материјала ( $\text{TiO}_2$ ), благим реакционим условима током синтезе материјала, функционалности ћелија у широком опсегу температура, релативној независности ефикасности фотоконверзије од упадног угла зрачења, порасту ефикасности при нижем интензитету осветљења и коначно ниским производним трошковима, ове ћелије привлаче значајну пажњу истраживача широм света.

Оригиналност докторске дисертације кандидата Николе Тасића се огледа у развоју нове репродуктивне методе за добијање електродних филмова титан(IV)-оксида са двојаким морфологијом, као и темељној карактеризацији узорака из различитих експерименталних фаза, што је допринело постизању значајних научних резултата. Осим тога, докторска дисертација садржи оригиналне, необјављене рецептуре за израду дебелих мезопорозних филмова титан(IV)-оксида, без пукотина и са одличном адхезијом, који су припремљени од комерцијалног праха или производа хидротермалне синтезе.

#### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације кандидат Никола Тасић је спровео опсежан преглед релевантне стручне и научне литературе. Већи део прегледане литературе је објављен у врхунским међународним часописима, а обухвата прегледне радове везане за соларне ћелије и обновљиве изворе енергије, радове који се тичу синтезе  $\text{TiO}_2$  и хидротермалне синтезе оксидне керамике, радове везане за фотоосетљиве боје, као и радове о процесирању прахова у филмове. У склопу литературних навода налазе се и референце кандидата Николе Тасића, које су проистекле из рада на овој дисертацији, објављене у међународним часописима. У дисертацији је наведено укупно 162 референце.

#### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру ове докторске дисертације коришћене су следеће експерименталне методе:

- Припрема дебелослојних паста полазећи од комерцијалног праха  $\text{TiO}_2$  и органских функционалних агенаса, према оригиналним необјављеним рецептурама.
- Израда филмова техником наносења сечивом, полазећи од претходно припремљених дебелослојних паста.
- Хидротермална синтеза наноструктурног  $\text{TiO}_2$  у присуству нејонског сурфактанта и комплексирајућег агенса, према до сада необјављеној процедури.

- Припрема дебелослојних паста полазећи од производа хидротермалне синтезе, уз ултразвучну хомогенизацију.
- Израда електродних филмова полазећи од припремљених паста које садрже различито третирани производ хидротермалне синтезе.
- Израда соларних ћелија са фотоосетљивом бојом које у својој конфигурацији садрже припремљене електродне филмове.
- Структурна анализа (фазна идентификација) производа хидротермалне синтезе и припремљених електродних филмова, методом рендгенске дифракције (XRD).
- Снимање рефлексионих спектра (UV-VIS-NIR спектроскопија) производа хидротермалне синтезе и припремљених електродних филмова, са циљем израчунавања ширине енергетског процепа.
- Снимање трансмисионих спектра електродних филмова методом UV-VIS-NIR спектроскопије.
- БЕТ анализа и испитивање порозности припремљених електродних филмова.
- Опсежна микроструктурна анализа производа хидротермалне синтезе и припремљених електродних филмова скенирајућом електронском микроскопијом (SEM и FESEM) и трансмисионом електронском микроскопије (TEM).
- Израда соларног симулатора за спровођење испитивања фотонапонских својстава соларних ћелија.
- Испитивање фотонапонских својстава припремљених соларних ћелија, снимањем струјно-напонских карактеристика при стандардном осветљењу и у мраку.
- Испитивање транспорта носилаца наелектрисања у соларним ћелијама методама електрохемијске импедансне спектроскопије (EIS) и мерењем опадања напона отвореног кола (OCVD).

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати експерименталног рада, као и њихова дискусија, допринели су расветљавању својстава материјала и оптимизацији њиховог процесирања у компоненте које се користе у соларним ћелијама са фотоосетљивом бојом. Поред тога, резултати представљају полазну основу и применљиви су за будућа истраживања у области соларних ћелија са фотоосетљивом бојом. Предложена оригинална метода омогућава репродуктивно добијање монофазног материјала, паста за дебелослојне филмове који се депонују техником наносења сечивом, филмова одличних механичких карактеристика са потенцијалном комерцијалном применом и соларних ћелија са одличном ефикасношћу. Научна верификација резултата је потврђена њиховим објављивањем у међународним часописима.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Научни рад који је кандидат спроводио током израде дисертације је објединио обиман литературни преглед, осмишљавање и оптимизацију синтезе материјала, процесирање материјала, израду и карактеризацију функционалне соларне ћелије. Кандидат је постигао значајне резултате и показао висок степен аналитичности, систематичности и креативности у превазилажењу конкретних проблема током различитих фаза израде докторске дисертације. Кандидат је непрекидним залагањем и иновативним идејама унео оригиналност у синтетске поступке, којима су потом добијене соларне ћелије високе ефикасности. На основу досадашњег рада и изнетих чињеница, Комисија сматра да је кандидат Никола Тасић, дипл. инж. технологије, показао велику истрајност и самосталност у научно-истраживачком раду.

## 4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

У докторској дисертацији кандидата Николе Тасића под називом „Синтеза и процесирање наноструктурног титан(IV)-оксида за примену у соларним ћелијама са фотоосетљивом бојом“, истичу се следећи научни доприноси:

- осмишљена је оригинална метода за добијање наноструктурног титан(IV)-оксида, која подразумева сол-гел процесирање и хидротермални третман у присуству нејонског сурфактанта и комплексирајућег агенса,
- добијен је монофазни материјал и предложен је механизам настајања честица,
- утврђен је нов начин припреме дебелослојних паста, полазећи од производа хидротермалне синтезе и органских агенаса, употребом ултразвучне хомогенизације и каснијим упаравањем алкохолне компоненте,
- добијени електродни филмови поседују изузетне механичке особине (одсуство пукотина и одлична адхезија), мезопорозност са уском расподелом величина пора и готово три пута већу специфичну површину честица у поређењу са референтним, комерцијалним анатасом,
- оригиналност предложене методе огледа се и у чињеници да истовремено служи за добијање два типа електродних филмова: а) са униформном монолитном структуром, б) са субмикронским мицеларним структурама,
- доказана је репродуктивност методе на потребном броју соларних ћелија, уз занемарљиво малу стандардну девијацију,
- резултати карактеризације транспорта носилаца наелектрисања у соларним ћелијама методама електрохемијске импедансне спектроскопије и мерењем напона отвореног кола могу послужити као референтни за даља истраживања и оптимизацију рада соларних ћелија са фотоосетљивом бојом.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Спроведена истраживања обухватају веома широк опсег активности, од синтезе материјала преко процесирања производа синтезе до карактеризације функционалних уређаја. Што се саме синтезе тиче, нарочито треба нагласити универзалност предложене методе и могућност добијања два типа електродних филмова, што није забележен случај у доступној литератури. Осим тога, треба напоменути да синтеза задовољава веома строге захтеве у погледу величине честица, специфичне површине и фазног састава производа, при чему процесирани филмови задовољавају захтеве у погледу порозности, дебљине и адхезије. Нарочито су значајни поступци оптимизације састава паста и ултразвучне хомогенизације, те њихова корелација са механичким својствима филмова на основу исцрпне микроструктурне анализе, као и корелација са оптичким својствима на основу карактеризације UV-VIS-NIR спектроскопијом.

Резултати карактеризације соларних ћелија показују евидентну разлику у ефикасности у корист ћелија са униформном структуром, што је у складу са литературним подацима, а потврђено је индиректно методом мерења опадања напона отвореног кола и израчунавањем живота носилаца наелектрисања. Висока репродуктивност методе за добијање ефикасних ћелија са униформном структуром електрода је потврђена мерењем струјно-напонских карактеристика и импедансних спектра, уз занемарљиво малу стандардну девијацију параметара од значаја.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Никола Тасић је потврдио научни допринос резултата добијених у току израде ове докторске дисертације њиховим објављивањем у часописима међународног значаја, као и њиховим саопштавањем на међународним скуповима. Из дисертације су проистекли следећи радови:

##### Рад у врхунском међународном часопису (M21):

**Tasić N.,** Marinković Stanojević Z., Branković Z., Lačnjevac U., Ribić V., Žunić M., Novaković T., Podlogar M., Branković G. (2016) Mesoporous films prepared from synthesized TiO<sub>2</sub> nanoparticles and their application in dye-sensitized solar cells (DSSCs), *Electrochimica Acta* 210: 606-614. IF(2015) = 4,803; ISSN: 0013-4686

##### Рад у часопису међународног значаја (M23):

**Tasić N.,** Branković Z., Marinković-Stanojević Z., Branković G. (2012) Effect of binder molecular weight on morphology of TiO<sub>2</sub> films prepared by tape casting and their photovoltaic performance. *Science of Sintering* 44: 365-372. IF(2012) = 0,278; ISSN: 0350-820X

##### Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34):

**Tasić N.,** Marinković-Stanojević Z., Branković Z., Branković G. (2011) Synthesis and characterization of sol-gel mesoporous TiO<sub>2</sub> films for application in dye-sensitized solar cells. In: Programme and Book of Abstracts of the Conference for Young Scientists "The Ninth Students' Meeting, SM-2011" and "The Second ESR Workshop, COST MP0904", November 16 – 18, 2011, Novi Sad, Serbia, p. 42.

**Tasić N.,** Marinković Stanojević Z., Vojisavljević K., Dapčević A., Žunić M., Branković Z., Branković G. (2013) TiO<sub>2</sub> films prepared from nano-TiO<sub>2</sub> pastes and their photovoltaic properties. In: Program and the Book of Abstracts / 2nd Conference of the Serbian Ceramic Society, 2CSCS-2013, June 5-7, 2013, Belgrade, Serbia, p. 95.

**Tasić N.,** Marinković Stanojević Z., Branković Z., Savić S., Dapčević A., Žunić M., Branković G. (2013) Hydrothermally assisted sol-gel synthesis of nano-anatase TiO<sub>2</sub> for application in dye-sensitized solar cells. In: Programme and Book of Abstracts of the Conference for Young Scientists The Tenth Student Meeting, SM-2013" and "The Second ESR Workshop, COST MP0904 November 6 – 9, 2013, Novi Sad, Serbia, p. 27.

**Tasić N.,** Marinković Stanojević Z., Branković Z., Žunić M., Branković G. (2014) Synthesis and characterization of nanoanatase-TiO<sub>2</sub> multilayer films and their photovoltaic performance. In: 14th Edition of ELECTROCERAMICS Conference, Abstract Book, June 16-20, 2014, Bucharest, Romania, p. 144.

**Tasić N.,** Marinković Stanojević Z., Branković Z., Podlogar M., Gilić M., Matković A., Branković G. (2015) Nano-anatase TiO<sub>2</sub> films prepared by hydrothermal synthesis and their photovoltaic performance. In: Program and the Book of Abstracts / 3rd Conference of the Serbian Society for Ceramic Materials, 3CSCS-2015, June 15-17, 2015, Belgrade, Serbia, p. 59.

**Tasić N.** (2015) Mesoporous TiO<sub>2</sub> films prepared from chemically synthesized nanoparticles and their photovoltaic application. In: Programme / 14<sup>th</sup> International Conference of the European Ceramic Society, June 21-25, 2015, Toledo, Spain, p. 52. (Abstract ID 2893)

**Tasić N.,** Marinković Stanojević Z., Branković Z., Lačnjevac U., Žunić M., Gilić M., Branković G. (2016) Nanosize anatase particles for application in dye-sensitized solar cells (DSSCs). In: Book of Abstracts: 2<sup>nd</sup> International Meeting on Materials Science for Energy Related Applications, September 29-30, 2016, Belgrade, Serbia, p. 19.

**Tasić N.,** Marinković Stanojević Z., Branković Z., Lačnjevac U., Žunić M., Branković G. (2017) 3D and uniform mesoporous TiO<sub>2</sub> films for application in Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs). In: The American Ceramic Society Electronic Materials and Applications 2017, ABSTRACT BOOK, January 18–20, 2017, Orlando, Florida, p. 14.



## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега наведеног, Комисија је мишљења да докторска дисертација **„Синтеза и процесирање наноструктурног титан(IV)-оксида за примену у соларним ћелијама са фотоосетљивом бојом“** кандидата Николе Тасића, дипл. инж. техн. представља оригиналан и значајан научни допринос у области истраживања Технолошко инжењерство, што је потврђено објављивањем резултата у врхунским и часописима од међународног значаја. Комисија сматра да су предмет и циљеви докторске дисертације у потпуности испуњени и да дисертација под називом **„Синтеза и процесирање наноструктурног титан(IV)-оксида за примену у соларним ћелијама са фотоосетљивом бојом“** задовољава све потребне критеријуме, као и да је Кандидат показао висок степен самосталности, а посебно оригиналности у свом раду.

Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос добијених резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да прихвати овај Реферат и поднету дисертацију кандидата Николе Тасића, дипломираног инжењера технологије, и да их изложи на увид јавности у законски предвиђеном року, као и да Реферат упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, па да након завршетка процедуре позове Кандидата на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 17. 5. 2017.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

---

Др Јелена Роган, ванредни професор  
Универзитета у Београду,  
Технолошко-металуршки факултет

---

Др Горан Бранковић, научни саветник  
Универзитета у Београду,  
Институт за мултидисциплинарна истраживања

---

Др Александар Радојковић, научни сарадник  
Универзитета у Београду,  
Институт за мултидисциплинарна истраживања

---

Др Александра Дапчевић, доцент,  
Универзитета у Београду,  
Технолошко-металуршки факултет