

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ – ФАКУЛТЕТ ЗА ФИЗИЧКУ ХЕМИЈУ

НАСТАВНО – НАУЧНОМ ВЕЋУ

На IX редовној седници Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду, одржаној 14. 06. 2021. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације мастер физикохемичара Милене Рашљић Рафајиловић под насловом:

„Микроканални у стаклу и полидиметилсилоксану као отворени реактор за синтезу наночестица титан(IV)-оксида“

Израда докторске дисертације под наведеним насловом одобрена је одлуком Наставно-научног већа са XI редовне седнице од 11. 09. 2017. године (број одлуке 1101/2). На основу те одлуке, Веће научних области природних наука Универзитета у Београду је на седници одржаној 21. 09. 2017. године дало сагласност да се прихвати предложена тема докторске дисертације (број одлуке 61206-3488/2-17). На основу прегледа и анализе докторске дисертације, подносимо Наставном-научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

А. Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација Милене Рашљић Рафајиловић написана је на 99 страна куцаног текста према Упутству за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду и садржи следеће делове: насловне странице на српском и енглеском језику (2 стране), страницу са информацијама о менторима и члановима комисије (1 страна), захвалницу (1 страна), посвету (1 страна), странице са подацима о докторској дисертацији на српском и енглеском језику (2 стране), садржај (2 стране). Текст рада по поглављима је подељен на: **Увод** (2 стране), **Теоријски део** (13 страна), **Технолошки поступци за израду микрореактора** (6 страна), **Методне коришћене у изради докторске дисертације** (4 стране), **Циљ рада** (1 страна), **Експериментални део** (8 страна), **Резултати и дискусија** (47 страна), **Закључак** (4 стране) и **Литература** (221 навод, 13 страна). Кандидат је уз текст дисертације приложио Биографију и изјаве прописане од стране Универзитета. Дисертација садржи укупно 65 слика и 11 табела, од којих су 60 слика и 7 табела резултат истраживања кандидата.

У **Уводу** је дат кратак сажетак о основама микрореактора и њиховој примени. Поред тога приказана је историјска еволуција израде микроструктурних уређаја и технологија које се користе за њихову реализацију.

Теоријски део је подељен на пет целина. У првој целини, *Микрофлуидика*, (1 табела) дата је теоријска основа рада микрофлуидних направа, као и њихова основна подела. У другој целини, *Микрореактори*, детаљно је објашњена примена и основне предности микрореактора и дата је основна подела микрореактора за синтезу наночестица. Приказана су досадашња достигнућа у доступној литератури везано за израду микрореактора, као и и грејача као главног дела за контролу температуре у микрофлуидним направама. У трећој целини, *Материјали за израду микрореактора*, (1 слика) дат је преглед материјала који се најчешће користе за израду

микрореактора. У четвртој целини, *Титан(IV)-оксид*, (1 слика, 1 табела) приказане су основне особине и примена титан(IV)-оксида, и дат је преглед метода за синтезу наночестица овог материјала. У петој целини, *Основе плазмонице*, (2 слике) приказани су теријски основи спрезања упадног електромагнетног зрачења са површинским плазмоница поларитонима и могућности побољшања ефикасности микрореактора применом плазмонског побољшања.

Поглавље **Технолошки поступци за израду микрореактора** (2 слике), подељено је на шест целина у којима су детаљно описане технологије које се уобичајено користе за израду микроелектронских уређаја, а које се користе и за израду микрофлуидних платформи, односно микрореактора. То су фотолитографија, влажно хемијско нагризање, депозиција танких филмова, оксидација и допирање, спајање супстрата (бондовање) и 3Д штампа.

Поглавље **Методe коришћене у изради докторске дисертације** (2 слике) је подељено на две целине. У првој целини је описана метода коначних елемената која је коришћена за нумеричке симулације понашања интегрисаних грејача у микрореакторима, као и за нумеричке прорачуне оптичких стохастичких површина за плазмонско побољшање микрореактора. У другој целини су детаљно објашњене методе које су коришћене за карактеризацију наночестица титан(IV)-оксида, а које су добијене у микрореакторима као потврда функционалности истих.

У поглављу **Циљ рада** дат је циљ рада ове докторске дисертације.

Експериментални део (7 слика) је подељен на три целине у којима су детаљно описани поступци израде микрореактора од силицијума и *Purex* стакала, као и микрореактора од полидиметилсилоксана (ПДМС-а) са интегрисаним грејачима, а који су представљени у овој докторској дисертацији. У трећој целини представљен је и објашњен начин на који је могуће реализовати микрореактор са плазмонским побољшањем.

Поглавље **Резултати и дискусија** (50 слика, 9 табела) је подељено на пет целина. У првој целини су детаљно описани резултати примене различитих варијација услова поступка влажног хемијског нагризања *Purex* стакла и у зависности од њих анализиран је облик и присуство дефеката у каналима. У другој целини су приказани експериментални резултати и резултати нумеричких симулација понашања интегрисаних грејача у микрореактору од силицијума и *Purex* стакла. У трећој целини су дати експериментални резултати, као и резултати нумеричких симулација понашања интегрисаног грејача у микрореактору од полидиметилсилоксана (ПДМС-а). Четврта целина је посвећена анализи храпавих површина које имају улогу оптичког елемента у спрезању упадног електромагнетног зрачења и слободних електрона на површини плазмонских материјала. У овом делу поред нумеричких резултата за плазмонско побољшање у микрореакторима, приказани су и експериментални резултати којима је показана могућност израде храпавих површина које би се могле интегрисати у микрореактор. У петој целини је као потврда функционалности микрореактора, описана синтеза наночестица титан(IV)-оксида у њима и дати су резултати карактеризације добијених прахова.

У делу **Закључак** су дати сви закључци који су изведени на основу резултата добијених у овој докторској дисертацији.

У поглављу **Литература** су наведене цитиране референце по редоследу њиховог појављивања.

Б. Опис резултата дисертације

У овој докторској дисертацији је истраживана могућности израде и испитивана је функционалност микрореактора за синтезу наночестица титан(IV)-оксида са интегрисаним грејачима.

Материјали који су коришћени за израду микрореактора у овој докторској дисертацији били су силицијум, Pyrex стакло као и полидиметилсилоксан (ПДМС). Технологије које су коришћене за њихову израду су технологије које се користе за израду микроелектромеханичких структура (МЕМС) као што су фотолитографија, допирање, оксидација, спатеровање, анодно бондовање и ФДМ (*Fused deposition molding*) и 3Д штампа. Методе које су коришћене за израду интегрисаних грејача за микрореактор направљен од силицијума и Pyrex стакла су дифузија *p*-типа у силицијуму и депозиција танких слојева злата поступком спатеровања. За микрореактор од ПДМС-а коришћен је грејач од кантал жице. Оба типа грејача су била интегрисана у микрореактор и позиционирана испод микроканала. С обзиром да је температура кључни параметар за синтезу наночестица, велика пажња је посвећена истраживању расподеле температуре на површини микрореактора у зависности од геометрије и слојне отпорности интегрисаних грејача у циљу избора оптималне конструкције. У овој докторској дисертацији анализирана је функционалност, као и понашање интегрисаних грејача у микрореакторима. Синтеза наночестица титан(IV)-оксида је коришћена као потврда функционалности оваквих типова микрореактора, као и ефикасности интегрисаних грејача.

Поред израде два различита типа микрореактора у погледу коришћених материјала, у овој докторској дисертацији је истраживана и могућност плазмонског побољшања реализованих микрореактора. Плазмонско побољшање је реализовано израдом храпавих површина на силицијуму, које су пресвучене са танким слојем злата. У микрореактору оваква храпава површина би имала улогу дифракционог оптичког елемента за спрезање побудног простирућег зрачења са површинским плазмонама поларитонима. Овај дифракциони оптички елемент би био интегрисан у микроканалима и могао би се схватити као дифракциона решетка настала суперпозицијом већег броја дифракционих решетака са различитим константама решетке. Овакви микрореактори би били микрореактори са плазмонским побољшањем који би користили упадно електромагнетно зрачење за поспешивање хемијских реакција.

Синтеза наночестица у пројектованим и реализованим микрореакторима је послужила као потврда њихове функционалности. За синтезу наночестица титан(IV)-оксида коришћен је прекурсор титан(IV)-хлорид растворен у толуену и терц-бутанолу. Синтеза је спроведена у оба типа микрореактора на две различите температуре, од 50°C и 80°C. Ретенционо време у оба случаја било је 2 минута. Микрореактор од ПДМС-а је имао само једну зону грејања, тако да је због поређења резултата синтезе за микрореактор од силицијума и Pyrex стакла коришћен грејач који је намењен за раст наночестица. Након синтезе узорци су били карактерисани рендгенском структурном анализом и методом динамичког расејања светлости, док је морфологија прахова анализирана применом скенирајућег електронског микроскопа. Квалитативни састав узорака анализиран је коришћењем енергетски дисперзивне рендгенске спектроскопије (ЕДС). Дифракцијом X – зрака на праховима је показано да је материјал добијен из оба микрореактора, на 50°C и 80°C, углавном аморфан док се међу делимично кристалисаним материјалом најлакше запажа фаза рутила. СЕМ анализа је показала да је за материјал добијен из оба микрореактора на 80°C карактеристично постојање наночестица, углавном сферног облика, просечне величине ~200 nm, које су у случају микрореактора од силицијума и Pyrex стакла слабије агломерисане и правилнијег су облика. Материјал добијен на 50°C не карактерише присуство ни индивидуалних ни агломерисаних наночестица, већ су честице димензија већих од 10µm са великим бројем пора

на површини. ЕДС анализа је показала да поред титана и кисеоника постоји присуство атома хлора у великој количини код узорака добијених из оба микрореактора на 50°C и 80°C. У циљу добијања чистог титан(IV)-оксида урађено је додатно одгревање узорака са израженом наноморфологијом, тј оних синтетисаних у оба микрореактора на 80°C. Ови узорци су прво одгрејани на 200°C у атмосфери кисеоника, а затим после карактеризације, на 400°C на ваздуху. Оба одгревања су трајала два сата. Дифрактограми праха су показали да се полазни материјали, углавном аморфни, одгрејани на 200°C полако трансформишу у првцу формирања анатас фазе, док се садржај фазе рутила смањује. ЕДС спектри су показали значајно смањење садржаја хлора овако одгрејаних узорака. Додатно одгревање ових узорака на 400°C довело је до формирања чисте анатас фазе. Такође је показано, снимањем дифрактограма праха, да директно одгревање узорака из микрореактора на 400°C (без одгревања на 200°C) даје чисту анатас фазу, што је најједноставнији начин за добијање чистог анатаса коришћењем микрореактора чија је конструкција била циљ ове докторске дисертације. СЕМ анализа је показала да после одгревања на 200°C индивидуалност и сферичност наночестица добијених коришћењем микрореактора од силицијума и Pyrex стакла и даље боље изражена, при чему су наночестице остале приближно истих димензија, али је њихова површина постала глатка. Одгревање на 400°C изгледа да не утиче значајно на даљу промену морфологије материјала.

У току синтезе наночестица у микрореакторима дошло је до зачепљења канала у микрореактору од силицијума и Pyrex стакла што представља највећи недостатак овог микрореактора. Микроканални у микрореактору од ПДМС-а су остали проходни, али је због порозности ПДМС-а дошло до њиховог замагљења. Ово може представљати проблем у случају да се овакав тип микрореактора користи за реакције где је потребно осветљавање или визуелно праћење реакције. На основу добијених резултата закључено је да су микрореактори направљени од ПДМС-а погоднији за синтезу наночестица титан(IV)-оксида.

В. Упоредна анализа резултата дисертације са подацима из литературе

Један од кључних параметара у синтези наночестица је температура и из тог разлога је у овој докторској дисертацији посвећена велика пажња пројектовању и дизајнирању грејача који су били интегрисани у микрореактор. У литератури се могу срести различити типови грејача за микрореакторе, који су направљени од различитих материјала. Што се тиче микрореактора за синтезу наночестица, Чен и коаутори [1] су приказали микрореактор са континуалним протоком за синтезу наночестица CdSe, направљеног од стакла, који је имао екстерни грејач. Јен и коаутори [2] су направили микрореактор са капљичним протоком за синтезу наночестица CdSe са одвојеним зонама за грејње, једна зона је била задужена за грејање реакције у којој се одвија нуклеација док је друга зона била за грејање реакције у којима се одвија раст наночестица. Ердем и коаутори [3] су приказали микрореактор од силицијума и Pyrex стакла који је такође имао две зоне грејања. У свим овим наведеним радовима аутори су користили екстерне грејаче за грејање у микрореакторима. Током последње две деценије представљени су интегрисани грејачи који су формирано депонованом танких филмова велике отпорности (полисилицијумски слојеви) или депонованом танких металних филмова [4]. Тигелар и коаутори [5] су представили метод напаравања електронским снопом (*electron-beam evaporation*) за депозицију платине као грејача. Кремер и коаутори [6] су описали мембранске микрореакторе за синтезу наночестица са интегрисаним грејним плочама (*hotplate*). У ову сврху аутори су користили микро плоче базиране на платини која је затворена у силицијум нитриду. Малеча и коаутори [7] су описали микрореактор са интегрисаним грејачем на бази *low temperatures cofired ceramics LTCC* технологије. Екстерни грејач у монокристалном силицијуму је описан у раду Михајловића и коаутора [8]. Предност грејача који су интегрисани у монокристални силицијум је тај што

дифузија или јонска имплементација дозвољава постизање виших радних температура у односу на металне или полисилицијумске грејаче. У овој докторској дисертацији, реализован је микрореактор од силицијума и *Pyrex* стакла у коме су микроканални били у стаклу, а интегрисани грејач који је добијен поступком дифузије *p*-типа је био на силицијуму. На крају су ове две компоненте биле спојене анодним бондовањем и као целина су чинили микрореактор. Овакав тип микрореактора за синтезу наночестица титан(IV)-оксида није разматран у до сада доступној литератури.

ПДМС као материјал је чест избор за израду микрореактора због једноставне обраде, као и због својих физичких и хемијских особина. Када је реч о микрореакторима за синтезу наночестица, у литератури постоје радови где је за њихову израду коришћен ПДМС. Синг и коаутори су приказали синтезу наночестица злата и сребра у микрореактору од ПДМС-а [9]. У овом раду микрореактор је направљен коришћењем модла као реплике за микроканалне. Линтанг и коаутори [10] су показали још један метод прављења микрореактора за синтезу наночестица сребра. Они су у свом раду користили метод „штампа-и-одлепљивање” (*Print-and-peel*) и приказали су утицај протока на конверзију реакције при синтези наночестица. Што се тиче микрореактора од ПДМС-а у овој докторској дисертацији, он је имао интегрисан грејач направљен од кантал жице и сам микрореактор је направљен користећи ФДМ (*Fused deposition molding*) 3Д методу. Прегледајући постојећу доступну литературу установило се да нема објављених радова на тему израде микрореактора са оваквим интегрисаним грејачима за синтезу наночестица титан(IV)-оксида.

У овој докторској дисертацији поред реализованих микрореактора за синтезу наночестица титан(IV)-оксида са интегрисаним грејачима, предложен је и метод израде микрореактора са плазмонским побољшањем. Плазмонско побољшање микрореактора би се огледало у томе да се у микроканалне интегрисане храпава површина пресвучена плазмонским материјалом. Та храпава површина би представљала оптички елемент за спрезање упадног електромагнетног зрачења са површинским плазмон поларитонима при чему би се на тој храпавој површини генерисала висока енергија електромагнетног поља. Плазмонско побољшање микрореактора са употребом интегрисаних храпавих површина као оптичког елемента у досадашњој литератури није описано.

Литература наведена у упоредној анализи:

- [1] E.M. Chan, R.A. Mathies, A.P. Alivisatos, Size-Controlled Growth of CdSe Nanocrystals in Microfluidic Reactors, *Nano Letters*, 3 (2003) 199-201.
- [2] B.K. Yen, A. Günther, M.A. Schmidt, K.F. Jensen, M.G. Bawendi, A microfabricated gas-liquid segmented flow reactor for high-temperature synthesis: the case of CdSe quantum dots, *Angewandte Chemie*, 117 (2005) 5583-5587.
- [3] E.Y. Erdem, J.C. Cheng, F.M. Doyle, A.P. Pisano, Multi-Temperature Zone, Droplet-based Microreactor for Increased Temperature Control in Nanoparticle Synthesis, *Small*, 10 (2014) 1076-1080.
- [4] R.L. Bayt, K.S. Breuer, Analysis and testing of a silicon intrinsic-point heater in a micropropulsion application, *Sensors and Actuators A: Physical*, 91 (2001) 249-255.
- [5] R.M. Tiggelaar, P.v. Male, J.W. Berenschot, J.G.E. Gardeniers, R.E. Oosterbroek, M.H.J.M.d. Croon, J.C. Schouten, A.v.d. Berg, M.C. Elwenspoek, Fabrication of a high-temperature microreactor with integrated heater and sensor patterns on an ultrathin silicon membrane, *Sensors and Actuators A: Physical*, 119 (2005) 196-205.

- [6] J.F. Creemer, S. Helveg, P.J. Kooyman, A.M. Molenbroek, H.W. Zandbergen, P.M. Sarro, A MEMS Reactor for Atomic-Scale Microscopy of Nanomaterials Under Industrially Relevant Conditions, *Journal of Microelectromechanical Systems*, 19 (2010) 254-264.
- [7] K. Malecha, D.G. Pijanowska, L.J. Golonka, W. Torbicz, LTCC microreactor for urea determination in biological fluids, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 141 (2009) 301-308.
- [8] M. Mihailović, J. Creemer, P. Sarro, Monocrystalline Si-based microhotplate heater, *Proceedings of the SAFE/STW*, (2007) 608-611.
- [9] A. Singh, M. Shirolkar, N.P. Lalla, C.K. Malek, S. Kulkarni, Room temperature, water-based, microreactor synthesis of gold and silver nanoparticles, *International journal of nanotechnology*, 6 (2009) 541-551.
- [10] R.M.N. Lintag, F.G.D. Leyson, M.S.B. Matibag, K.J.R. Yap, Low-cost fabrication of a polydimethylsiloxane (PDMS) microreactor using an improved Print-and-Peel (PAP) method and its performance testing in silver nanoparticle synthesis, *Materials Today: Proceedings*, 22 (2020) 185-192.

Г. Научни радови и саопштења публиковани из резултата дисертације

Из резултата докторске дисертације кандидата Милене Рашљић Рафајиловић до сада је објављен један рад у истакнутом међународном часопису (**M22**), један рад у међународном часопису (**M23**), пет саопштења на међународним скуповима штампаних у целини (**M33**), два саопштења на међународним скуповима штампана у изводу (**M34**) и три техничка решења.

Истакнути међународни часопис (M22):

1. **M. Rašljic Rafajilović**, K. Radulović, M. M Smiljanić., Ž. Lazić, Z. Jakšić, D. Stanisavljev, D. Vasiljević Radović (2020). Monolithically Integrated Diffused Silicon Two-Zone Heaters for Silicon-Pyrex Glass Microreactors for Production of Nanoparticles: Heat Exchange Aspects. *Micromachines*, 11(9), 818. <https://www.mdpi.com/2072-666X/11/9/818/html>

Међународни часопис (M23):

2. **M. Rašljic**, M. Obradov, Ž. Lazić, D. Vasiljević Radović, Ž. Čupić, D. Stanisavljev "Metal layers with subwavelength texturing for broadband enhancement of photocatalytic processes in microreactors" *Optical and Quantum Electronics*, vol. 50, p. 237, 2018/05/24 2018. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11082-018-1507-z>

Саопштење на међународним скуповима штампано у целини (M33):

3. Ž. Lazić, M. M. Smiljanić, **M. Rašljic**, I. Mladenović, K. Radulović, M. Sarajlić, D. Vasiljević-Radović, "Wet isotropic chemical etching of Pyrex glass with masking layers Cr/Au", Proc. 1st Conf. IcETRAN, Vrnjačka Banja, June 2 – 5, 2014, pp. MO11.1.1-4, ISBN 978-86-80509-70-9, Best Section Paper Award: MO
4. Ž. Lazić, M. M. Smiljanić, **M. Rašljic**, "Glass Micromachining with Sputtered Silicon as a Masking Layer", Proc. 29th International Conference on Microelectronics MIEL 2014, Belgrade, Serbia, May 12-15, pp. 175-178, ISBN 978-1-4799-5295-3
5. **M. Rašljic**, Z. Jakšić, M. M. Smiljanić, Ž. Lazić, K. Cvetanović, D. Vasiljević Radović, "Corrugated thin metal films as couplers between propagating and surface modes for plasmonic enhancement of photocatalytic optofluidic microreactors", Proc. 3rd Internat. Conf. on

Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2016, Zlatibor, Serbia, June 13-16, pp. MOI2.3.1-5, 2016, ISBN 978-86-7466-618-0

6. **M. Rašljic**, I. Gadjanski, M.M Smiljanić, Novica Z. Janković, Ž. Lazić, K. Cvetanović Zobenica, "Microfabrication of bifurcated microchannels with PDMS and ABS", Proceedings of 4th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN 2017, Kladovo, Serbia, pp. MOI2.1, June 5 – 8, 2017 ISBN 978-86-7466-692-0
7. **M. Rašljic**, M. M. Smiljanić, Ž. Lazić, K. Radulović, K. Cvetanović Zobenica, D. Vasiljević Radović, "Two types of integrated heaters for synthesis of TiO₂ nanoparticles in microreactors", Proceedings of papers-5th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN 2018, Palić, Serbia, pp. MOI2.1, June 11 – 14, 2018, 953-956, ISBN 978 86 7466 752-1 Best section paper award

Саопштење на међународним скуповима штампани у изводу (M34):

8. **M. Rašljic**, Z. Jakšić, Ž. Lazić, M. Obradov, D. Vasiljević – Radović, Ž. Čupić, D. Stanisavljev "Metal layers with subwavelength texturing for broadband enhancement of processes in photocatalytic microreactors", Book of abstracts Photonica 2017, The Sixth International School and Conference on Photonics, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, 28 August – 1 September, Serbia, ISBN 978-86-82441-46-5
9. D. Vasiljević-Radović, **M. Rašljic**, M. M. Smiljanić, Ž. Lazić, K. Radulović, K. Cvetanović-Zobenica, "Micro Electromechanical Systems (MEMS) Based Microfluidic Platforms", IcETRAN 2019 Srebrno Jezero, Serbia June 3 - 6, 2019.

Битно побољшано техничко решење на међународном нивоу (M83):

10. Ž. Lazić, M. M. Smiljanić, **M. Rašljic**, I. Mladenović, K. Radulović, M. Sarajlić, D. Vasiljević-Radović, "Vlažno hemijsko nagrzanje Pyrex stakla sa maskirajućim slojem Cr/Au", novi tehnološki postupak, TR 32008 MPNTR, Beograd, korisnik IHTM, 2013.

Нова техничка решења (није комерцијализовано) (M85):

11. **M. Rašljic**, M. M. Smiljanić, Ž. Lazić, K. Cvetanović Zobenica, A. Filipović, M. Sarajlić, D. Vasiljević-Radovic, "Dvostrano vlažno hemijsko nagrzanje Pyrex stakla", TR 32008 MPNTR, Beograd, korisnik IHTM 2018
12. **M. Rašljic**, I. Gađanski, M. Smiljanić, N. Janković, Ž. Lazić, K. Cvetanović Zobenica, „Izrada mikrokanala uz pomoć 3D štampe i PDMS”, TR 32008 MPNTR, Beograd, korisnik IHTM 2017.

Д. Провера оригиналности докторске дисертације

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма *iThenticate* којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „**Микроканални у стаклу и полидиметилсилоксану као отворени реактор за синтезу наночестица титан(IV)-оксида**“,

аутора Милене Рашљић Рафајиловић, констатујемо да утврђено подударање текста износи **7%**. Овај степен подударности последица је цитата, личних имена, библиографских података о коришћеној литератури, тзв. општих места и података, као и претходно публикованих резултата докторандових истраживања, који су проистекли из његове дисертације, што је у складу са чланом 9. Правилника. На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, **изјављујемо да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.**

Ђ. Закључак комисије

На основу изложеног може се закључити да резултати кандидата Милене Рашљић Рафајиловић представљају оригиналан и значајан научни допринос у области физичке хемије материјала и физичке хемије – фотохемије. Из резултата дисертације кандидата проистекао је један рад у истакнутом међународном часопису (**M22**), један рад у међународном часопису (**M23**), пет саопштења на међународним скуповима штампаних у целини (**M33**), два саопштења на међународним скуповима штампана у изводу (**M34**) и три техничка решења. У складу са наведеним, Комисија сматра да кандидат испуњава 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 предлаже Наставно-научном већу Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду да рад Милене Рашљић Рафајиловић под насловом **„Микроканални у стаклу и полидиметилсилоксану као отворени реактор за синтезу наночестица титан(IV)-оксида“** прихвати као дисертацију за стицање научног степена доктора физичкохемијских наука и одобри њену јавну одбрану.

Комисија:

др Драгомир Станисављев, редовни професор Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду

др Жељко Чупић, научни саветник Института за хемију, технологију и металургију Универзитета у Београду

др Дана Васиљевић-Радовић, научни саветник Института за хемију, технологију и металургију Универзитета у Београду

др Никола Цвјетићанин, редовни професор Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду

др Ивана Стојковић Симатовић, ванредни професор Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду

Прилог 1 – Комплетна библиографија кандидата

M22 Истакнути међународни часопис

1. M. Sarajlić, M. Frantlović, M. M. Smiljanić, **M. Rašljic**, K. Cvetanović-Zobenica, Ž. Lazić, *et al.*, "Thin-film four-resistor temperature sensor for measurements in air," *Measurement Science and Technology*, vol. 30, p. 115102, 2019/09/04 2019. DOI <https://doi.org/10.1088/1361-6501/ab326c>
2. **M. Rašljic Rafajilović**, K. Radulović, M. M Smiljanić., Ž. Lazić, Z. Jakšić, D. Stanisavljev, D. Vasiljević Radović (2020). Monolithically Integrated Diffused Silicon Two-Zone Heaters for Silicon-Pyrex Glass Microreactors for Production of Nanoparticles: Heat Exchange Aspects. *Micromachines*, 11(9), 818. <https://www.mdpi.com/2072-666X/11/9/818/htm>
3. M. M. Smiljanić, Ž. Lazić, **M. Rasljic Rafajilović**, K. Cvetanovic Zobenica, E. Milinković, and A. Filipović, "Silicon Y-bifurcated microchannels etched in 25 wt% TMAH water solution," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, vol. 31, p. 017001, 2020. <https://doi.org/10.1088/1361-6439/abcb67>

M23 Међународни часопис

4. **M. Rašljic**, M. Obradov, Ž. Lazić, D. Vasiljević Radović, Ž. Čupić, D. Stanisavljev "Metal layers with subwavelength texturing for broadband enhancement of photocatalytic processes in microreactors" *Optical and Quantum Electronics*, vol. 50, p. 237, 2018/05/24 2018. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11082-018-1507-z>
5. Olga M. Jakšić, Zoran Jakšić, **Milena B. Rašljic**, and Ljiljana Z. Kolar-Anić *On Oscillations and Noise in Multicomponent Adsorption: The Nature of Multiple Stationary States*, *Advances in Mathematical Physics*, vol. 2019, p. 12, 2019 <https://www.hindawi.com/journals/amp/2019/7687643/>
6. K. Cvetanović Zobenica, M. Obradov, **M. Rašljic**, I. Mladenović, Z. Jakšić, D. Vasiljević Radović "Broadband enhancement of light harvesting and photocatalytic devices" *Optical and Quantum Electronics*, vol. 52, p. 140, 2020/02/19 2020. <https://doi.org/10.1007/s11082-020-2261-6> 2020
7. M. M. Smiljanić, B. Radjenović, Ž. Lazić, M. Radmilović-Radjenović, **M. Rašljic Rafajilović**, K. Cvetanović Zobenica, E. Milinković, A. Filipović, "Controllable arrangement of integrated obstacles in silicon microchannels etched in 25 wt % TMAH", *Hemijska industrija*, vol. 75(1), p.p. 15-24, 2021. <https://doi.org/10.2298/HEMIND200807005S>

M33 Саопштење са међународног скупа штампано у целини

8. M. Bošković, D. Randjelović, **M. Rašljic**, K. Cvetanović-Zobenica, Ž. Lazić, M. M. Smiljanić, M. Sarajlić, Member, IEEE, "Consideration of Thin Film Ionization Vacuum Pressure Sensor", Proc. 6th Conf. IcETRAN, Srebrno jezero, June 3– 6, 2019 Best section paper award:MO

9. M. M. Smiljanić, Ž. Lazić, B. Radjenović, M. Radmilović-Radjenović, V. Jović, **M. Rašljčić**, K. Cvetanović, A. Filipović, "Etched Parallelogram Patterns with Sides Along $\langle 100 \rangle$ and $\langle n10 \rangle$ Directions in 25 wt % TMAH", Proc. 6th Conf. IcETRAN, Srebrno jezero, June 3– 6, 2019
10. **M. Rašljčić**, M. M. Smiljanić, Ž. Lazić, K. Radulović, K. Cvetanović Zobenica, D. Vasiljević Radović, "Two types of integrated heaters for synthesis of TiO₂ nanoparticles in microreactors", Proceedings of papers-5th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN 2018, Palić, Serbia, pp. MOI2.1, June 11 – 14, 2018, 953-956, ISBN 978 86 7466 752-1 Best section paper award
11. **M. Rašljčić**, I. Gadjanski, M.M Smiljanić, Novica Z. Janković, Ž. Lazić, K. Cvetanović Zobenica, "Microfabrication of bifurcated microchannels with PDMS and ABS", Proceedings of 4th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN 2017, Kladovo, Serbia, pp. MOI2.1, June 5 – 8, 2017 ISBN 978-86-7466-692-0
12. **M. Rašljčić**, Z. Jakšić, M. M. Smiljanić, Ž. Lazić, K. Cvetanović, D. Vasiljević Radović, "Corrugated thin metal films as couplers between propagating and surface modes for plasmonic enhancement of photocatalytic optofluidic microreactors", Proc. 3rd Internat. Conf. on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2016, Zlatibor, Serbia, June 13-16, pp. MOI2.3.1-5, 2016, ISBN 978-86-7466-618-0
13. Jokić, K. Radulović, M. Frantlović, Z. Djurić, K. Cvetanović, **M. Rašljčić**, "Analysis of Reversible Adsorption in Cylindrical Micro/Nanofluidic Channels for Analyte Sensing and Sample Dilution Applications", Proceedings of 2nd International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN 2015, Silver Lake, Serbia, pp. MOI2.3.1-6, June 8 – 11, 2015, ISBN 978-86-80509-71-6
14. Ž. Lazić, M. M. Smiljanić, K. Radulović, **M. Rašljčić**, K. Cvetanović, D. Vasiljević-Radović, Z. Djinović, C. Kment, "Design and Fabrication of the Silicon Moving Plate with Cantilever Beams for Paraffin Based Actuator", Proceedings of 2nd International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN 2015, Silver Lake, Serbia, pp. MOI2.1.1-6, June 8 – 11, 2015, ISBN 978-86-80509-71-6
15. Ž. Lazić, M. M. Smiljanić, **M. Rašljčić**, "Glass Micromachining with Sputtered Silicon as a Masking Layer", Proc. 29th International Conference on Microelectronics MIEL 2014, Belgrade, Serbia, May 12-15, pp. 175-178, ISBN 978-1-4799-5295-3
16. Ž. Lazić, M. M. Smiljanić, **M. Rašljčić**, I. Mladenović, K. Radulović, M. Sarajlić, D. Vasiljević-Radović, "Wet isotropic chemical etching of Pyrex glass with masking layers Cr/Au", Proc. 1st Conf. IcETRAN, Vrnjačka Banja, June 2 – 5, 2014, pp. MOI1.1.1-4, ISBN 978-86-80509-70-9, Best Section Paper Award: MO
17. K. Cvetanović Zobenica, N. Tadić, U. Lačnjevac, E. Milinković, **M. Rašljčić Rafajilović**, M.M. Smiljanić, D. Vasiljević-Radović, D. Stanisavljev „Influence of sintering temperature on the performance of titanium dioxide anode in Dye Sensitized Solar Cells with natural pigment hypericin”, IcETRAN 2020 Niš, September 28-29, 2020. ISBN: 978-86-7466-852-8

M34 Саопштење са међународног скупа штампано у изводу

18. D. Vasiljević-Radović, **M. Rašljic**, M. Smiljanić, Ž. Lazić, K. Radulović, K. Cvetanović-Zobenica, "Micro Electromechanical Systems (MEMS) Based Microfluidic Platforms", IcETRAN 2019 Srebrno Jezero, Serbia June 3 - 6, 2019.
19. S. Andrić, T. Tomašević-Ilić, M. Sarajlić, Ž. Lazić, K. Cvetanović-Zobenica, **M. Rašljic**, M. M. Smiljanić and M. Spasenović, "Humidity sensing with Langmuir-Blodgett assembled graphene films from liquid phase ", Chem2DMat, European conference on chemistry of two-dimensional materials, Dresden, Germany, Sep. 03-09, 2019
20. K. Cvetanović Zobenica, **M. Rašljic**, M. Obradov, I. Mladenović and Z. Jakšić "Broadband enhancement of light harvesting and photocatalytic devices" Book of abstracts Photonika 2019, The Seventh International School and Conference on Photonics, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade 26 August – 30 August 2019, Serbia, ISBN 978-86-7306-153-5
21. **M. Rašljic**, Z. Jakšić, Ž. Lazić, M. Obradov, D. Vasiljević – Radović, Ž. Čupić, D. Stanisavljev "Metal layers with subwavelength texturing for broadband enhancement of processes in photocatalytic microreactors", Book of abstracts Photonika 2017, The Sixth International School and Conference on Photonics, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, 28 August – 1 September, Serbia, ISBN 978-86-82441-46-5
22. O. Jakšić, I. Jokić, Z. Jakšić, M. Frantlović, **M. Rašljic**, K. Cvetanović Zobenica, "Refractive index fluctuations due to multianalzte adsorption in chemical and biological plasmonic sensors of ultralow analyte concentration", Book of Abstracts Photonika 2017, The Sixth International School and Conference on Photonics, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, August 28 – September 1, Serbia, ISBN 978-86-82441-46-5
23. K. Cvetanović Zobenica, **M. Rašljic**, M. M. Smiljanić, D. Vasiljević-Radović, D. Stanisavljev, "Aggregation problem of dye monolayer in dye sensitized solar cells", Book of Abstracts/COST MP1402 Scientific Workshop "ALD and related ultra-thin film processes for advanced devices", Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, 2017, August 29-30, Serbia, ISBN 978-86-81405-22-2
24. **M. Rašljic**, Z. Jakšić, M. M. Smiljanić, Ž. Lazić, K. Cvetanović, D. Vasiljević Radović, "Plasmonic enhancement of photocatalytic optofluidic microreactors with corrugated thin metal films", Book of Abstracts/COST MP1402 Scientific Workshop " ALD and related ultra-thin film processes for advanced devices", Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, 2017, August 29-30, Serbia, ISBN 978-86-81405-22-2
25. I. Jokić, O. Jakšić, Z. Jakšić, M. Frantlović, **M. Rašljic**, K. Cvetanović-Zobenica, "Equilibrium fluctuations in bi-component monolayer adsorption represented by a second-order nonlinear model" Book of Abstracts/COST MP1402 Scientific Workshop " ALD and related ultra-thin film processes for advanced devices", Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, 2017, August 29-30, Serbia, ISBN 978-86-81405-22-2
26. O. Jakšić, A. Milutinović – Nikolić, K. Cvetanović, **M. Rašljic**, D. Jovanović "On use of ceramics materials for the degradation of chemical warefare agents and their simulants", Book of abstracts Serbian Ceramic Society Conference, Advance Ceramics and Applications V,

M63 Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини

27. M. Matic, Ž. Lazić, K. Radulović, M. M. Smiljanić, M. Rašljic, "Eksperimentalno određivanje optimalne linearnosti senzora pritiska", Proc. 57th ETRAN Conference, Zlatibor, June 3-6, 2013, MO3.1-1-6, ISBN 978-86-80509-68-6
28. M. M. Smiljanić, Ž. Lazić, V. Jović, M. Rašljic, "Brzine nagrizanja kristalografskih ravni silicijuma u vodenom rastvoru TMAH koncentracije 25 tež. %", Proc. 57th ETRAN Conference, Zlatibor, June 3-6, 2013, MO3.5-1-4, ISBN 978-86-80509-68-6

M64 Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу

29. I. Jokić, K. Radulović, M. Frantlović, Z. Djurić, K. Cvetanović, M. Rašljic, "Theoretical and Simulation-Based Analysis of the Response of Adsorption-Based Environmental Sensors with Cylindrical Microchannels", Book of Abstracts 7th Symposium Chemistry and Environmental Protection EnviroChem **2015**, Palić, Serbia, ISBN 978-86-7132-058-0, pp. 247-248.

M81 Ново техничко решење примењено на међународном нивоу

30. Ž. Lazić, M. M. Smiljanić, Z. Đinović, M. Rašljic, K. Cvetanović-Zobenica, D. Vasiljević-Radović, „Opto-fluidna platforma za praćenje ćelija raka” TR 32008 MPNTR, Beograd, korisnik IHTM 2018
31. Ž. Lazić, M. Smiljanić, Z. Đinović, M. Rašljic, K. Radulović, K. Cvetanović Zobenica, D. Vasiljević-Radović, Aktuator na bazi promene zapremine parafina PCA-2 (Phase-Change Actuator), TR 32008 MPNTR, Beograd, korisnik IHTM, 2017.

M83 Ново лабораторijsko постројење, ново експериментално постројење, нови технолошки поступак (уз доказ)

32. Ž. Lazić, M. M. Smiljanić, M. Rašljic, I. Mladenović, K. Radulović, M. Sarajlić, D. Vasiljević-Radović, "Vlažno hemijsko nagrizanje Pyrex stakla sa maskirajućim slojem Cr/Au", novi tehnološki postupak, TR 32008 MPNTR, Beograd, korisnik IHTM, 2013.
33. M. M. Smiljanić, Ž. Lazić, V. Jović, M. Rašljic, K. Cvetanović, D. Vasiljević-Radović, "Kompenzacija konveksnog ugla u vodenom rastvoru TMAH koncentracije 25 tež. %", novi tehnološki postupak, TR 32008 MPNTR, Beograd, korisnik IHTM, 2014.

M84 Битно побољшано техничко решење на националном нивоу

34. O. Jakšić, Z. Jakšić, M. Rašljic, Lj. Kolar-Anić, M. Frantlović, I. Jokić, D. Randelović, „ADmoND softversko rešenje za simulaciju rada refraktometrijskih plazmotskih senzora u kojima se odvija monoslojna adsorpcija molekula sličnih veličina”, TR 32008 MPNTR, Beograd, korisnik IHTM 2018.

M85 Ново техничко решење (није комерцијализовано)

35. **M. Rašljić**, M. M. Smiljanić, Ž. Lazić, K. Cvetanović-Zobenica, A. Filipović, M. Sarajlić, D. Vasiljević-Radović “Dvostrano vlažno hemijsko nagrivanje Pyrex stakla”, TR 32008 MPNTR, Beograd, korisnik IHTM **2018**
36. **M. Rašljić**, I. Gađanski, M. Smiljanić, N. Janković, Ž. Lazić, K. Cvetanović Zobenica, „Izrada mikrokanala uz pomoć 3D štampe i PDMS”, TR 32008 MPNTR, Beograd, korisnik IHTM 2017.
37. I. Mladenović, J. Lamovec, N. Nikolić, M. Obradov, **M. Rašljić**, K. Cvetanović-Zobenica, V. Radojević, D. Vasiljević-Radović “Postupak izrade uniformnih i kompaktnih prevlaka bakra na silicijumu režimom pulsirajuće struje” Dvostrano vlažno hemijsko nagrivanje Pyrex stakla, TR 32008 MPNTR, Beograd, korisnik IHTM 2019.

Прилог 2 – образложење

ОЦЕНА ИЗВЕШТАЈА О ПРОВЕРИ ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма *iThenticate* којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „**Микроканални у стаклу и полидиметилсилоксану као отворени реактор за синтезу наночестица титан(IV)-оксида**“, аутора **Милене Рашљић Рафајиловић**, констатујемо да утврђено подудараре текста износи **7 %**. Овај степен подударности последица је цитата, личних имена, библиографских података о коришћеној литератури, тзв. општих места и података, као и претходно публикованих резултата докторандових истраживања, који су проистекли из његове дисертације, што је у складу са чланом 9. Правилника. Након провере оригиналности докторске дисертације, 12.07.2021. године, урађене су мање корекције текста које не утичу на подудараре резултата. Због тога, према савету Одељења за научне информације и едукацију Универзитетске библиотеке „Светозар Марковић”, није рађена накнадна провера подударности ове докторске дисертације.

На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, **изјављујемо да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.**

У Београду, 19.07.2021. године

Ментори

др Драгомир Станисављев, редовни професор
Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију

др Жељко Чупић, научни саветник,
Универзитет у Београду - Институт за хемију, технологију и металургију