

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ – ФАКУЛТЕТ ЗА ФИЗИЧКУ ХЕМИЈУ

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

На VIII редовној седници Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду, одржаној 14. 05. 2021. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације мастер физикохемичара Катарине Цветановић под насловом: „**Оптимизација материјала за повећање ефикасности соларне ћелије сензибилизоване хиперицином и њена физикохемијска карактеризација**“. Израда докторске дисертације под наведеним насловом одобрена је одлуком Наставно-научног већа са XI редовне седнице од 11. 09. 2017. године. 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. На основу прегледа и анализе докторске дисертације, подносимо Наставном-научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

А. Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација Катарине Цветановић написана је на 74 стране 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), странице са подацима о докторској дисертацији на српском и енглеском језику (2 стране), садржај (2 стране). Текст рада по поглављима је подељен на: **Увод** (1 страна), **Теоријски увод** (23 страна), **Методе коришћене у изради докторске дисертације** (11 страна), **Експериментални део** (3 стране), **Резултати и дискусија** (27 страна), **Закључак** (2 стране) и **Литература** (111 навода, 7 страна). Кандидат је уз текст дисертације приложио Биографију и изјаве прописане од стране Универзитета. Дисертација садржи укупно 60 слика и 17 табела, од којих су 30 слика и 14 табела резултат истраживања кандидата.

У **Уводу** је представљена проблематика енергетског дефицита на глобалном плану и описана су нека од решења тог проблема. Показана је предност соларних ћелија у односу на остале обновљиве изворе енергије и истакнута је предност соларних ћелија сензибилизованих бојом (Dye Sensitized Solar Cells, DSSC). Дата су и до сада позната својства хиперицина као сензибилизатора у медицини и биологији, и наглашена је његова неиспитаност за примену у DSSC.

Теоријски увод подељен је на три целине. У првој целини детаљније је описан проблем примене фосилних горива и значај развоја обновљивих извора енергије и технологија које користе те изворе, а са посебном пажњом на соларне ћелије сензибилизоване бојама, које су и

предмет истраживања ове дисертације. У првој целини описани су: механизам раздвајања наелектрисања у DSSC, основни параметри за њихову карактеризацију, приказ до сада постигнутих резултата истраживања у области соларних ћелија сензибилизаних бојом и детаљан опис најчешће коришћених материјала за израду поменутих ћелија. У друге две целине дат је теоријски основ за теорију функционала густине и плазмонске резонанције, респективно.

Поглавље **Методe коришћене у изради докторске дисертације** подељено је на три целине. У првој целини описане су електрохемијске методе – волтаметрија са линеарном променом потенцијала (Linear Sweep Voltammetry, LSV), помоћу којих се добијају основне карактеристике ћелија и импедансна спектроскопија (Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS), са којом се добијају детаљније информације: еквивалентно коло испитиваног система са одговарајућим вредностима отпора и капацитета. У другој целини су представљене методе које су коришћене за карактеризацију материјала који улазе у састав соларних ћелија сензибилизаних хиперицином. Спектроскопија у ултраљубичастој и видљивој области (UltraViolet-VISible, UV-VIS) коришћена је за одређивање концентрације хиперицина у раствору, док је дифракција X зрачења (X-Ray Diffraction, XRD) коришћена за одређивање кристалних фаза у наносу титанијум-диоксида после синтеровања на различитим температурама. Сlike добијене микроскопијом атомских сила (Atomic Force Microscopy, AFM) и скенирајућом електронском микроскопијом (Scanning Electron Microscopy, SEM) су приказале изглед површина материјала коришћених у изради DSSC ћелја. Теоријом функционала густине (Density Functional Theory, DFT) испитивана је електронске густине, као и положај највише попуњене (Highest Occupied Molecular Orbital, HOMO) и најниже непопуњене (Lowest Unoccupied Molecular Orbital, LUMO) молекулске орбитале у хиперицину. У трећој целини описан је метод коначних елемената, који је коришћен приликом теоријског разматрања унапређења соларних ћелија. У ту сврху разматран је никл као материјал који може да доведе до плазмонске резонанције и повећања апсорпције светлости, а самим тим и ефикасности DSSC.

Поглавље **Експериментални део** се састоји од шест целина у којима су описане све експерименталне процедуре: припрема титанијум-диоксидне пасте, израда фотоанода, припрема раствора боје, припрема платинске контраелектроде, припрема електролита. Такође, детаљно је описан поступак формирања ћелије и припрема за сва извршена мерења.

Поглавље **Резултати и дискусија** подељено је на четири дела, у којима су детаљно приказани, објашњени и упоређени са литературним подацима резултати добијени у овој дисертацији. У првом делу приказано је испитивање морфологије и кристалног састава припремљених титанијум-диоксидних фотоанода. У другом делу приказано је испитивање електрохемијских својстава ћелија. У трећем делу приказани су резултати теоријског испитивања оптичких својстава структуре налик соларној ћелији, која садржи никл као плазмонски материјал. У четвртном делу приказани су резултати испитивања хиперицина који обухватају одређивање концентрације тог пигмента и теоријске прорачуне електронских густина и потенцијала HOMO и LUMO нивоа у односу на електрохемијску водоничну скалу.

У делу **Закључци** су сумирани сви закључци изведени на основу резултата приказаних у докторској дисертацији.

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

Б. Опис резултата дисертације

У дисертацији је разматран утицај материјала који улазе у састав соларних ћелија сензибилизованих природним пигментом хиперицином на ефикасност тих ћелија, као и механизам преноса наелектрисања у оваквом систему. Хиперицин је пигмент који има велики моларни апсорпциони коефицијент, лако се наноси на титанијум-диоксид, има повољан положај НОМО и LUMO орбитала у односу на положај проводне зоне титанијум-диоксида. Наведена својства га чине потенцијално добрим сензибилатором, што је проверавано кроз читав експериментални рад.

Морфологија и кристална структура припремљеног титанијум-диоксидног слоја су испитиване методама скенирајуће електронске микроскопије и дифракције X зрака. Утврђено је да је површина титанијум-диоксида глатка, без већих пукотина и да највећи удео у титанијум-диоксидном слоју има анатас кристална фаза. Однос кристалних фаза анатас/рутил је остао очуван и у условима повећања температуре синтеровања.

Главне карактеристике соларних ћелија (густина струје кратког споја, напон отвореног кола и ефикасног конверзије соларне енергије у електричну) су одређене методом линеарне волтаметрије за ћелије које садрже припремљену пасту, за ћелије које имају комерцијалну титанијум-диоксидну електроду, као и за ћелије које као активни слој имају цинк-оксид. Упоређивањем измерених вредности установљено је да најбоље карактеристике има ћелија са комерцијалном електродом (која је садржала рефлексивни слој) и стандардним саставом електролита ($0,05 \text{ mol dm}^{-3} \text{ I}_2$ и $0,5 \text{ mol dm}^{-3} \text{ LiI}$ у ацетонитрилу), без додатка адитива и коадсорбера, чија је ефикасност конверзије енергије износила 1,51 %. Повећањем температуре синтеровања фотоаноду са синтетисаном пастом (са 500°C на 600°C) вредност ефикасности конверзије енергије се повећава четири пута и достиже вредност од 0,106 % .

Утврђено је да додаток адитива 4-терц-бутил-пиридина (4-Tert-ButylPyridine, TBP) делује позитивно на вредност напона отвореног кола, али има негативан учинак на вредност густине струје кратког споја, као и на ефикасност ћелија, која у ћелији са овим адитивом износи 0,948 %. Додатак јонске течности 1-метил-3-пропилимидазолијум јодида (1-propyl-3-methylimidazolium iodide, РМII) довео је до драстичнијег смањења ефикасности (0,166 %). У ћелијама у чијем саставу електролита није било LiI такође је дошло до смањења ефикасности ћелије (0,248 %). Мања вредност ефикасности је резултат смањене концентрације Г јона у раствору, што је довело до спорије регенерације боје, јер је јон Г одговоран за редукцију оксидованог облика боје у основно стање. Коришћење коадсорбера хенодезоксиколне киселине (ChenoDeoxyCholic Acid, CDCA) оправдано је тиме да ови молекули делују као блокатори између молекула боје и побољшавају процес њене редукције. Међутим, присуство CDCA је довело до разградње или десорпције молекула боје са титанијум-диоксидне електроде, што је даље довело до смањене апсорпције упадног зрачења, па тако и до смањења ефикасности ћелија (0,53 %). Генерално говорећи, додаток адитива и коадсорбера није поправио ефикасност ћелија, што указује да разлог ниске ефикасности хиперицинских ћелија није у уобичајеним појавама као што су агрегација или десорпција боје.

Методом импедансне спектроскопије испитиване су ћелије са припремљеном, некомерцијалном титанијум-диоксидном пастом. Поменутом методом уочено је убрзавање регенерације молекула боје, које може бити повезано са порастом локалне концентрације I_3^- у непосредној близини титанијум-диоксидне површине, што произилази из регенерације фото-ексцитованог хиперицина и пратеће оксидације Г до I_3^- . Просечна вредност времена живота електрона у

проводној траци титанијум-диоксида смањује се са 17,8 ms у мраку на 12,0 ms у условима осветљења. Добијени резултати показују да је рекомбинација електрона из проводне зоне са електролитом истог реда величине као и код хелија са рутенијумским бојама, и да она не би требало да буде главни разлог лошије ефикасности конверзије енергије у хиперицинским хелијама.

У дисертацији су предложене две сендвич структуре, које потенцијално могу да доведу до плазмонског побољшања апсорције светлости у хелијама сензибилизаним бојама. Моделована су и симулирана два система која се састоје од стохастички нахрапављених површина стакла (проводног, Fluorine-doped Tin Oxide – FTO, или непроводног стакла као горњи слој) и метала (никла као доњи), између којих се налази диелектрик. Упоредивањем система закључено је да је боља структура која за горњи слој има FTO. У тој структури се спрезање упадног зрачења одвија и у FTO и у металном слоју, што за резултат има високу локализацију зрачења у диелектричном слоју, и структура се понаша као суперапсорбер, а апсорпциони спектар је проширен ка инфрацрвеној области. Добијени резултати указују на могућу примену плазмонских структура у будућим истраживањима соларних хелија.

Применом временски зависне теорије функционала густине и COSMO (COnductor-like Screening MOdel) модела рачунате су карактеристике првог побуђеног синглетног стања хиперицина, и закључено је да је побуђивање на S_1 стање локализовано на хиперицину, и да само у случају бидентатног везивања хиперицина долази до малог преноса наелектрисања на титанијум-диоксид. Такође, рачун је показао да је електронска густина на местима везивања веома мала и да се велики део електрона налази у централном делу молекула, формирајући коњуговани π електронски систем. На основу свих добијених резултата може се закључити да је ово, упркос великог броја добрих својстава хиперицина, главни узрок мале ефикасности хиперицином сензибилизаних соларних хелија. Даље побољшање у раду ових соларних хелија се може тражити у функционализацији хиперицина и евентуалном превазилажењу мале електронске густине на местима везивања.

В. Упоредна анализа резултата дисертације са подацима из литературе

Природне боје, коришћене као сензибилизатори у DSSC уређајима, су екстраховане из природних материјала, као што су цветови, листови и плодови воћа. Најбоље карактеристике као фотосензибилизатор је показао беталаински пигмент из црвене репе [1-3]. У раду Калогеро-а (Calogero) и сарадника је приказана ефикасност конверзије енергије DSSC уређаја од 1,70 %, на 470 nm. [1] Сандквист (Sandquist) и сарадници [2] су коришћењем бетанина из црвене репе и модификацијом хелије додавањем рефлексионог слоја добили ефикасност од 2,71 %. Уз модификацију активне површине, заменом титанијум-диоксидне електроде за мешавину титанијум-диоксид/церијум-диоксид, а коришћењем беталаина, Упадхај (Uradhyay) је са својом групом достигао ефикасност од чак 3,5 % [3].

У погледу примене у фотонапонским хелијама, хиперицин је врло мало испитиван, иако има висок моларни апсорпциони коефицијент ($4,37 \cdot 10^6 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ m}^{-1}$). Џонстон (Johnston) и сарадници [4] су једина група која је испитивала хиперицин у улози сензибилизатора у DSSC системима. Поменути аутори су користили титанијум-диоксидну фотоаноду, која је била припремљена тако што је нането неколико милилитара колоидног раствора титанијум-диоксида на проводно стакло, те је затим раствор раширен по површини стакленим штапићем. Као електролит је коришћен раствор LiI and I_2 у пропилен карбонату. Затим је снимљена квантна

ефикасност ћелије (Incident Photon to Current Efficiency, IPCE) и као резултат је добијена вредност од 0,1 % на 598 nm.

У овој дисертацији највећа потигнута ефикасност је 1,51 %. Ова вредност је добијена коришћењем комерцијалне титанијум-диоксидне фотоанодe са рефлектујућим слојем, стандардним електролитом ($0,05 \text{ mol dm}^{-3} \text{ I}_2$ и $0,5 \text{ mol dm}^{-3} \text{ LiI}$ у ацетонитрилу) и хиперицином као сензибилизатором. Овај резултат је знатно бољи од ефикасности ћелија са хиперицином које се могу наћи у литератури [4] и упоредив је са до сада најбоље објављеним резултатима у области соларних ћелија сензибилизаних бојом. [1-3]. Предложена процедура доношења титанијум-диоксидног слоја на проводно стакло при повишеним температурама је дала много боље ефикасности ћелија у односу на процедуре расположиве у литератури.

CDCA је природан засићен полициклични молекул који се широко користи као коадсорбер откад су га Кеј (Кеј) и сарадници користили за смањење агрегације, што је довело до ефикасније редукције боје и на тај начин остварили повећање ефикасности конверзије енергије [5]. Циснерос (Cisneros) и сарадници су, насупрот томе, показали да се услед постојања конкуренције у адсорпцији боје и поменутог коадсорбера смањује апсорпциона моћ електроде, што може да има негативан утицај на ефикасност соларних ћелија [6]. Како би се испитао утицај овог адитива направљена је ћелија са хиперицином, платинском контраелектродом и стандардним електролитом, уз додатак $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ коадсорбера CDCA. Није примећен очекивани пораст струје кратког споја. Овај резултат се може објаснити конкурентивном адсорпцијом коадсорбера CDCA са молекулама хиперицина, те да је концентрација фотоактивне врсте услед конкуренције мања, а самим тим је мањи број искоришћених фотона што је за резултат имало смањење ефикасности ћелије.

У литератури је познат позитиван утицај додавања ТВР у раствор електролита, јер доводи до повећања вредности напона отвореног кола. Хуанг и сарадници су правили ћелије у којима је титанијум-диоксидна анода била сензибилизвана рутенијумским бојама и испитивали су утицај пиридинских деривата на вредност напона отвореног кола. Уочили су повећање вредности ефикасности конверзије енергије након додатка ТВР. Повећање напона отвореног кола који обезбеђује овај адитив се одиграва услед боље покривености површине полупроводника овим адитивом. Тиме се обезбеђује да електролит не долази у директан контакт са полупроводником, чиме се спречава рекомбинација електрона из полупроводника са електролитом. [7] Како би се испитао утицај овог адитива на вредности напона отвореног кола, направљена је ћелија са хиперицином, платинском контраелектродом и стандардним електролитом са додатком $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ ТВР-а. Напон отвореног кола је задржао вредност од око 0,3 V и та је вредност упоредива са ћелијама које су направљене без овог адитива, али је струја кратког споја најмања измерена од свих разматраних ћелија. Смањена ефикасност у ћелијама са додатком ТВР се тумачи тиме да је на активна места за адсорпцију хиперицина заправо везан ТВР, те да је смањена количина фотоактивне супстанце у ћелији. Смањењем броја молекула који апсорбују фотоне смањује се и густина измерене струје.

Улога адитива РМII је смањење рекомбинације електрона из проводне зоне титанијум-диоксида са електролитом у ћелијама са рутенијумским бојама. [8] Како би се испитао утицај ове јонске течности на ефикасност ћелија сензибилизаних хиперицином направљене су ћелије које у саставу електролита имају различите концентрације РМII ($0,4 \text{ mol dm}^{-3}$, $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ и $0,9 \text{ mol dm}^{-3}$). У свим ћелијама које су садржале овај адитив је дошло до пада вредности ефикасности. У литератури објашњено да додатак РМII може да доведе и до повећања вискозности електролита, чиме се повећава отпор дифузији јона кроз електролит, чиме се смањује и ефикасност ћелија. [9]

Израчуната времена живота електрона на фотоаноде са хиперицином-модификованим титанијум-диоксидом се смањују са 17,8 ms у мраку на 12,0 ms у условима осветљења. Ове вредности су нешто више од вредности добијене у ћелијама чије су титанијум-диоксидне фотоаноде сензибилизоване бојама на бази рутенијума (1,0-3,0 ms). [10] Добијени резултати показују да је рекомбинација електрона из проводне зоне са електролитом истог реда величине као и код општепознатих ћелија са рутенијумом, и да она не би требало да буде главни разлог лошије ефикасности конверзије енергије у хиперицинским ћелијама.

Резултати добијени оптимизацијом материјала за израду соларне ћелије сензибилизоване хиперицином указали су да је најефикаснији пут у даљем развоју ових фотонапонских уређаја функционализација боје која би могла повећати електронску густину на месту везивања за честице титанијум-диоксида.

Литература наведена у упоредној анализи:

- [1] G. Calogero, G. Di Marco, S. Cazzanti, S. Caramori, R. Argazzi, A. Di Carlo, et al., "Efficient dye-sensitized solar cells using red turnip and purple wild sicilian prickly pear fruits," *International journal of molecular sciences*, vol. 11, pp. 254-267, 2010.
- [2] C. Sandquist and J. L. McHale, "Improved efficiency of betanin-based dye-sensitized solar cells," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 221, pp. 90-97, 2011.
- [3] R. Upadhyay, M. Tripathi, P. Chawla, and A. Pandey, "Performance of CeO₂-TiO₂-admixed photoelectrode for natural dye-sensitized solar cell," *Journal of Solid State Electrochemistry*, vol. 18, pp. 1889-1892, 2014.
- [4] E. E. Johnston, S. A. Trammell, H. M. Goldston, and D. W. Conrad, "Sensitization of nanoporous TiO₂ electrodes using the naturally occurring chromophores: stentorin and hypericin," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 140, pp. 179-183, 2001.
- [5] A. Kay and M. Graetzel, "Artificial photosynthesis. 1. Photosensitization of titania solar cells with chlorophyll derivatives and related natural porphyrins," *The Journal of Physical Chemistry*, vol. 97, pp. 6272-6277, 1993.
- [6] R. Cisneros, M. Beley, and F. Lopicque, "A study of the impact of co-adsorbents on DSSC electron transfer processes: anti- π -stacking vs. shield effect," *Physical Chemistry Chemical Physics*, vol. 18, pp. 9645-9651, 2016.
- [7] S. Y. Huang, G. Schlichthörl, A. J. Nozik, M. Grätzel, and A. J. Frank, "Charge Recombination in Dye-Sensitized Nanocrystalline TiO₂ Solar Cells," *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 101, pp. 2576-2582, 1997.
- [8] M. I. Asghar, J. Halme, S. Kaukonen, N. Humalamäki, P. Lund, and J. Korppi-Tommola, "Intriguing Photochemistry of the Additives in the Dye-Sensitized Solar Cells," *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 120, pp. 27768-27781, 2016.
- [9] S. M. M. Yusof and W. Z. N. Yahya, "Binary Ionic Liquid Electrolyte for Dye-Sensitized Solar Cells," *Procedia Engineering*, vol. 148, pp. 100-105, 2016.

[10] N. Tasić, Z. Marinković Stanojević, Z. Branković, U. Lačnjevac, V. Ribić, M. Žunić, et al., "Mesoporous films prepared from synthesized TiO₂ nanoparticles and their application in dye-sensitized solar cells (DSSCs)," *Electrochimica Acta*, vol. 210, pp. 606-614, 2016.

Г. Научни радови и саопштења публиковани из резултата дисертације

Из резултата докторске дисертације кандидата Катарине Цветановић објављена су два рада у истакнутим међународним часописима (M22):

1. **K. Cvetanovic Zobenica**, U. Lacnjevac, M. Etinski, D. Vasiljevic-Radovic, and D. Stanisavljev, "Influence of the electron donor properties of hypericin on its sensitizing ability in DSSCs," *Photochemical & Photobiological Sciences*, vol. 18, pp. 2023-2030, 2019. <https://doi.org/10.1039/C9PP00118B>
2. **K. Cvetanović Zobenica**, M. Obradov, M. Rašljić, I. Mladenović, Z. Jakšić, and D. Vasiljević Radović, "Broadband enhancement of devices and microsystems for light harvesting and photocatalysis," *Optical and Quantum Electronics*, vol. 52, p. 140, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11082-020-2261-6>

саопштење на међународном скуповима штампано у целини (M33):

1. **K. Cvetanović Zobenica**, N. Tadić, U. Lačnjevac, E. Milinković, M. Rašljić 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

и два саопштења на међународним скуповима штампани у изводу (M34):

1. **K. Cvetanović Zobenica**, Z. Jakšić, M. Obradov, D. Vasiljević Radović, D. Stanisavljev, "Extending useful spectrum of solar radiation in dye-sensitized solar cells using stochastic surface reliefs in plasmonic materials", *Book of Abstracts Photonika 2017, The Sixth International School and Conference on Photonics, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, August 28 – September 1, 2017*. ISBN 978-86-82441-46-5
2. **K. Cvetanović Zobenica**, M. Rašljić, 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, August 29 - 30, 2017. ISBN 978-86-81405-22-2

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 „**Оптимизација материјала за повећање ефикасности соларне ћелије сензибилизоване хиперицином и њена физичкохемијска карактеризација**”, аутора **Катарине Цветановић**, констатујемо да утврђено подударане текста износи **4 %**. 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, **изјављујем 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 Катарине Цветановић представљају оригиналан и значајан научни допринос у области физичке хемије материјала и електрохемије. Из резултата дисертације кандидата проистекла су два научна рада у истакнутим међународним часописима (М22) и саопштење са међународног скупа штампано у целини (М33) и два саопштења са међународних скупова штампана у изводу (М34). 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 Катарине Цветановић под насловом **„Оптимизација материјала за повећање ефикасности соларне ћелије сензибилизоване хиперицином и њена физичкохемијска карактеризација“** прихвати као дисертацију за стицање научног степена доктора физичкохемијских наука и одобри њену јавну одбрану.

Комисија:

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

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

др Јасмина Димитрић-Марковић, редовни професор Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду

др Урош Лачњевац, научни саветник Института за мултидисциплинарна истраживања Универзитета у Београду

др Михајло Етински, ванредни професор Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду

Прилог 1. – Комплетна библиографија кандидата

1. Радови у међународним часописима изузетних вредности (M21a)

- 1.1. B. Vasić, U. Ralević, **K. Cvetanović Zobenica**, M. M. Smiljanić, R. Gajić, M. Spasenović, *et al.*, "Low-friction, wear-resistant, and electrically homogeneous multilayer graphene grown by chemical vapor deposition on molybdenum," *Applied Surface Science*, vol. 509, p. 144792, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144792>

2. Радови у врхунским међународним часописима (M21):

- 2.1. M. V. Bošković, M. Sarajlić, M. Frantlović, M. M. Smiljanić, D. V. Randjelović, **K. Cvetanović Zobenica**, *et al.*, "Aluminum-based self-powered hyper-fast miniaturized sensor for breath humidity detection," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 321, p. 128635, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.128635>

3. Радови у истакнутим међународним часописима (M22):

- 3.1. **K. Cvetanovic Zobenica**, U. Lacnjevac, M. Etinski, D. Vasiljevic-Radovic, and D. Stanisavljev, "Influence of the electron donor properties of hypericin on its sensitizing ability in DSSCs," *Photochemical & Photobiological Sciences*, vol. 18, pp. 2023-2030, 2019. <https://doi.org/10.1039/C9PP00118B>
- 3.2. M. Sarajlic, M. Frantlovic, M. M. Smiljanic, M. Rasljic, **K. Cvetanovic Zobenica** et al., "Thin-film four-resistor temperature sensor for measurements in air," *Measurement Science and Technology*, vol. 30, p. 115102, 2019. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/ab326c>
- 3.3. **K. Cvetanović Zobenica**, M. Obradov, M. Rašljic, I. Mladenović, Z. Jakšić, and D. Vasiljević Radović, "Broadband enhancement of devices and microsystems for light harvesting and photocatalysis," *Optical and Quantum Electronics*, vol. 52, p. 140, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11082-020-2261-6>
- 3.4. 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>

4. Радови у међународним часописима (M23):

- 4.1. J. Krizmanić, M. Ilić, D. Vidaković, G. Subakov-Simić, J. Petrović, **K. Cvetanović**. „Diatoms of the Dojkinci River (Stara Planina Nature Park, Serbia)“, *Acta Botanica Croatia*, vol. 74, 2015. <https://doi.org/10.1515/botcro-2015-0022>
- 4.2. M. M. Smiljanić, B. Radjenović, Ž. Lazić, M. Radmilović-Radjenović, Rašljic Rafajilović, **K. Cvetanović Zobenica**, E. Milinković, A. Filipović, "Controllable arrangement of integrated obstacles in silicon microchannels etched in 25 wt % TMAH", *Hemijaska industrija*, vol. 75(1), p.p. 15-24, 2021. <https://doi.org/10.2298/HEMIND200807005S>

5. Радову у националном часопису међународног значаја (M24):

- 5.1. J. Krizmanić, M. Ilić, D. Vidaković, G. Subakov-Simić, **K. Cvetanović**, J. Petrović. „New records and rare taxa of the genus Eunotia Ehrenberg (Bacillariophyceae) for the diatom flora of

6. Предавање по позиву са међународног скупа штампаног у изводу (M32):

- 6.1. D. Vasiljević-Radović, M. Rašljić, 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. ISBN 978-86-7466-785-9

7. Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33):

- 7.1. Ž. Lazić, M. M. Smiljanić, K. Radulović, M. Rašljić, **K. Cvetanović**, D. Vasiljević – Radović, Z. Đinović, Christoph Kment. “Design and Fabrication of the Silicon Moving Plate with Cantilever Beams for Paraffin Based Actuator”, *IcETRAN 2015*, Silver Lake, June 8-12, 2015. ISBN 978-86-80509-71-6
- 7.2. I. Jokić, K. Radulović, M. Frantlović, Z. Djurić, **K. Cvetanović**, M. Rašljić, "Analysis of Reversible Adsorption in Cylindrical Micro/Nanofluidic Channels for Analyte Sensing and Sample Dilution Applications", *IcETRAN 2015*, Silver Lake, Serbia, June 8 – 11, 2015. ISBN 978-86-80509-71-6
- 7.3. M. Rašljić, 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", *IcETRAN 2016*, Zlatibor, Serbia, June 13-16, 2016. ISBN 978-86-7466-618-0
- 7.4. M. Rašljić, I. Gadjanski, M.M Smiljanić, Novica Z. Janković, Ž. Lazić, **K. Cvetanović Zobenica**, "Microfabrication of bifurcated microchannels with PDMS and ABS", *IcETRAN 2017*, Kladovo, Serbia, June 5 – 8, 2017, ISBN 978-86-7466-692-0
- 7.5. I. Jokić, Z. Djurić, K. Radulović, M. Frantlović, **K. Cvetanović Zobenica**, "Analysis of the Time Response of Chemical and Biological Microfluidic Sensors with a Micro/Nanoscale Active Surface", *IcETRAN 2017*, Kladovo, Serbia, June 05-08, 2017. ISBN 978-86-7466-692-0
- 7.6. I. Jokić, Z. Djurić, K. Radulović, M. Frantlović, P. Krstajić, **K. Cvetanović Zobenica**, „Steady-state analysis of stochastic time response of chemical and biological microfluidic sensors”, *IcETRAN 2018* Palić, June 11-14, 2018. ISBN 978 86 7466 752-1
- 7.7. M. Sarajlić, M. M. Smiljanić, Ž. Lazić, **K. Cvetanović Zobenica**, D. Vasiljević Radović, Danijela Randjelović, "Direct laser writing of micro-structures in vector mode for chemical sensors" *IcETRAN 2018* Palić, June 11-14, 2018. ISBN 978 86 7466 752-1
- 7.8. M. Rašljić, 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”, *IcETRAN 2018* Palić, June 11-14, 2018. ISBN 978 86 7466 752-1
- 7.9. M. M. Smiljanić, Ž. Lazić, B. Radjenović, M. Radmilović-Radjenović, V. Jović M. Rašljić, **K. Cvetanović Zobenica**, A. Filipović , "Etched Parallelogram Patterns with Sides Along <100> and <n10> Directions in 25 wt % TMAH", *IcETRAN 2019*, Srebrno jezero, June 3– 6, 2019. ISBN 978-86-7466-785-9
- 7.10. M. Bošković, D. Randjelović, M. Rašljić, **K. Cvetanović Zobenica**, Ž. Lazić, M. M. Smiljanić, M. Sarajlić, "Consideration of Thin Film Ionization Vacuum Pressure Sensor",

- 7.11. I. Jokic, K. Radulović, M. Frantlović, Z. Djuric, **K. Cvetanović Zobenica**, Predrag Krstajić, "Analysis of the Fundamental Detection Limit in Microfluidic Chemical and Biological Sensors", *IcETRAN 2019*, Srebrno jezero, June 3– 6, 2019. ISBN 978-86-7466-785-9
- 7.12. **K. Cvetanović Zobenica**, N. Tadić, U. Lačnjevac, E. Milinković, M. Rašljić 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

8. Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34):

- 8.1. M. Milojević Rakić, B. Nedić Vasiljević, A. Jović, M. Kragović, **K. Cvetanović**, Lj. Damjanović, V. Dondur, "Cetylpyridinium chloride functionalized clinoptilolite as efficient adsorbent for pesticide removal", Book of Abstracts, Zeolite 2014 - 9th International Conference on the Occurrence, Properties and Utilization of Natural Zeolites Belgrade, Serbia, June 8 - 13, 2014. ISBN 978-86-82867-26-57.2.
- 8.2. O. Jakšić, A. Milutinović Nikolić, **K. Cvetanović**, M. Rašljić, 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, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, 21st-23rd Septembar 2016. ISBN 978-86-915627-4-8
- 8.3. **K. Cvetanović Zobenica**, Z. Jakšić, M. Obradov, D. Vasiljević Radović, D. Stanisavljev, "Extending useful spectrum of solar radiation in dye-sensitized solar cells using stochastic surface reliefs in plasmonic materials", Book of Abstracts Photonika 2017, The Sixth International School and Conference on Photonics, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, August 28 – September 1, 2017. ISBN 978-86-82441-46-5
- 8.4. O. Jakšić, I. Jokić, Z. Jakšić, M. Frantlović, M. Rašljić, **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, 2017. ISBN 978-86-82441-46-5
- 8.5. **K. Cvetanović Zobenica**, M. Rašljić, 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, August 29 - 30, 2017. ISBN 978-86-81405-22-2
- 8.6. M. Rašljić, 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, August 29 – 30, 2017. ISBN 978-86-81405-22-2
- 8.7. I. Jokić, O. Jakšić, Z. Jakšić, M. Frantlović, M. Rašljić, **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, August 29-30, 2017. ISBN 978-86-81405-22-2

9. Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M64):

- 9.1. I. Jokić, K. Radulović, M. Frantlović, Z. Đurić, **K. Cvetanović**, M. Rašljić. "Theoretical and Simulation-Based Analysis of the Response of Adsorption-Based Environmental Sensors with Cylindrical Microchannels", Poster presentations, 7th Symposium Chemistry and Environmental Protection with international participation, Palić, June 09 – 12, 2015. ISBN 978-86-7132-058-0

10. Ново техничко решење примењено на међународном нивоу (M81):

- 10.1. Ž. Lazić, M.M. Smiljanić, Z. Đinović, M. Rašljić, K. Radulović, **K. Cvetanović Zobenica**, D. Vasiljević-Radović, "Aktuator na bazi promene zapremine parafina PCA-2 (Phase-Change Actuator)", TR-32008 MPN, 2017.
- 10.2. Ž. Lazić, M. M. Smiljanić, Z. Đinović, M. Rašljić, **K. Cvetanović Zobenica**, D. Vasiljević-Radović, "Opto-fluidna platforma za praćenje ćelija raka", TR-32008 MPNTR, 2018.

11. Битно побољшано техничко решење на међународном нивоу (M83):

- 11.1. M. M. Smiljanić, Ž. Lazić, V. Jović, M. Rašljić, **K. Cvetanović**, D. Vasiljević-Radović. "Kompenzacija konveksnog ugla u vodenom rastvoru TMAH koncentracije 25 tež. %", novi tehnološki postupak, TR 32008 MPNTR, 2014.

12. Ново техничко решење (није комерцијализовано) (M85):

- 12.1. M. Rašljić, I. Gadjanski, M. M. Smiljanić, N. Z. Janković, Ž. Lazić, **K. Cvetanović Zobenica**, "Izrada mikrokanala uz pomoć 3D štampe i PDMS", TR-32008 MPN, 2017.2. Ž. Lazić, M. M. Smiljanić, Z. Đinović, M. Rašljić, **K. Cvetanović Zobenica**, D. Vasiljević-Radović, "Opto-fluidna platforma za praćenje ćelija raka", TR-32008 MPNTR, 2018.
- 12.2. M. Rašljić, M. M. Smiljanić, Ž. Lazić, **K. Cvetanović Zobenica**, A. Filipović, M. Sarajlić, D. Vasiljević-Radović, "Dvostrano vlažno hemijsko nagrizanje Pyrex stakla", TR-32008 MPNTR, 2018.
- 12.3. 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, - TR-32008 MPN, 2019.