

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU FAKULTETA ZA FIZIČKU HEMIJU

Predmet: Izveštaj komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidatkinje mastera fizikohemičara Bojane Milićević

Odlukom Nastavno-naučnog veća Fakulteta za fizičku hemiju sa X redovne sednice održane 10. 07. 2017. godine imenovani smo za članove Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidatkinje mastera fizikohemičara Bojane Milićević, pod naslovom „*Modifikacija strukturnih, morfoloških i optičkih svojstava anatas TiO₂ nanočestica dopiranjem trovalentnim jonima retkih zemalja*“.

Izrada doktorske disertacije pod navedenim nazivom odobrena je na VII redovnoj sednici Nastavno-naučnog veća Fakulteta za fizičku hemiju održanoj 14.04.2016. Na 26. sednici veća naučnih oblasti prirodnih nauka Univerziteta u Beogradu održanoj 28.08.2016. godine data je saglasnost da se prihvati predložena tema doktorske disertacije i odobri izrada doktorske disertacije. Kandidatkinja Bojana Milićević je urađenu doktorsku disertaciju predala Fakultetu za fizičku hemiju dana 27.06.2017. godine. Nakon pregleda i analize dostavljene doktorske disertacije Komisija podnosi Nastavno-naučnom veću Fakulteta za fizičku hemiju sledeći

IZVEŠTAJ

A. Prikaz sadržaja disertacije

Doktorska disertacija mastera fizikohemičara Bojane Milićević napisana je na 139 strana i u skladu je sa Uputstvom za oblikovanje doktorske disertacije Univerziteta u Beogradu. Sam tekst disertacije ima 109 strana, sa literaturnim pregledom 121 strana, sa prilogom 130 strana, sa rezimeima i sadržajem 135 strana, a sa naslovnim i mentorskim stranama i izjavom zahvalnosti

139 strana. Sastoji se iz sledećih celina: uvodni deo (45 strana), predmet i cilj (2 strane), eksperimentalni deo (16 strana), rezultati i diskusija (43 strane), zaključak (3 strane), literatura (12 strana) i prilog koji sadrži biografske i bibliografske podatke o kandidatkinji, izjavu o autorstvu, izjavu o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada i izjavu o korišćenju (9 strana). Disertacija sadrži 16 tabela (1 tabela predstavlja spisak sintetisanih uzoraka, 10 tabela pregleda literaturnih radova i 5 tabela naučnih doprinosa kandidatkinje), 50 slika i 225 literaturna navoda.

U **Rezimeu** na srpskom i engleskom jeziku predstavljani su: tematika kojom se disertacija bavi, kratak pregled ostvarenih rezultata i zaključci.

Uvodni deo se sastoji od 5 potpoglavlja: 1. TiO_2 i njegove primene, 2. svojstva titan(IV)-oksida i nanostrukturnog titan(IV)-oksida, 3. sinteze nanostrukturnih TiO_2 , 4. trovalentni joni retkih zemalja i njihova svojstva i 5. anatasni TiO_2 dopiran trovalentnim jonima retkih zemalja.

Kandidatkinja je u uvodnom delu ukratko opisala značaj titan(IV)-oksida za čovekovu životnu sredinu, kao i trenutna ograničenja njegove potencijalne primene u industriji i tehnologiji. Navedene su najvažnije strukturne modifikacije TiO_2 i njihova svojstva. U daljem tekstu, dat je kratak pregled eksperimentalnih uslova i metoda koje su do sada korišćene za sintezu TiO_2 . Detaljno je opisana sol-gel metoda koja je korišćena u ovoj doktorskoj disertaciji za sintezu TiO_2 modifikovanog jonima retkih zemalja. Kandidatkinja je na osnovu literaturnih podataka ukazala na promene fizičko-hemijskih svojstava anatasnog TiO_2 dopiranog jonima retkih zemalja u poređenju sa nedopiranim materijalom. Posebna pažnja u ovom delu posvećena je temeljnom literaturnom pregledu uticaja trovalentnog jona retke zemlje u anatasnoj kristalnoj rešetki na strukturu i stabilnost, specifičnu površinu, morfologiju, optička i fotokatalitička svojstva titan-dioksida.

Predmet istraživanja i glavni naučni ciljevi ove doktorske disertacije su uspostavljanje korelacije između sinteze, strukture i svojstava titan-dioksida modifikovanog trovalentnim jonima retkih zemalja. U delu **Predmet i cilj** ukratko je opisana aktuelnost teme i značaj titan(IV)-oksida kao matrice optički aktivnim jonima. Cilj istraživanja predstavlja mogućnost kontrolisanja optičkih i fotokatalitičkih svojstava nanoprahova anatasne strukture titan-dioksida dopiranog trovalentnim jonima retkih zemalja, uz poseban osvrt na veličinu kristalita, morfologiju čestica, kao i defekte u kristalnoj strukturi sintetisanih nanoprahova. Proučena je korelacija između karakteristika materijala (raspodela veličine čestica, morfologija čestica, defekati u kristalnoj rešetki) i optičkih

svojstava (vrednost energije procepa, intenzitet emisije i kvantna efikasnost) nanoprahova TiO_2 koji su dopirani jonima Eu^{3+} i kodopirani jonima Li^+ . Pored sol-gel tehnike primenjena je i koloidna tehnika sinteze nanoprahova TiO_2 u cilju korelisanja različitih metoda sinteza sa strukturnim, morfološkim, optičkim i fotokatalitičkim svojstvima. U ovoj doktorskoj disertaciji nanoprahovi TiO_2 dobijeni koloidnom tehnikom po prvi put su površinski modifikovani organskim ligandima.

U ***Eksperimentalnom delu*** detaljno je opisana sol-gel sinteza bazirana na hidrolizi titan(IV)-izopropoksida u kiseljoj sredini koja je korišćena za dobijanje nanoprahova anatasnog TiO_2 dopiranog sledećim jonima retkih zemalja: prazeodijum, neodijum, samarijum, europijum, disprozijum, terbijum, holmijum, erbijum i tulijum, pri koncentraciji od 1 at.%. Za dobijanje nedopiranih nanoprahova TiO_2 značajno veće specifične površine primenjena je koloidna tehnika korišćenjem istog prekursorskog materijala. Zatim je opisan postupak površinske modifikacije nanoprahova TiO_2 organskim ligandima: kateholom i tiosalicilnom kiselinom.

U eksperimentalnom delu su opisane instrumentalne metode korišćene tokom izrade doktorske disertacije, kao i eksperimentalni uslovi za karakterizaciju uzoraka. U cilju utvđivanja sastava, kristalne strukture, veličine čestica, morfologije i specifične površine sintetisanih nanoprahova TiO_2 korišćene su sledeće metode karakterizacije: rendgenska difrakciona analiza, adsorpciono-desorpciona analiza i transmisiona elektronska mikroskopija. Za ispitivanje optičkih svojstava nanoprahova primenjene su metode difuzno-refleksione UV-VIS spektroskopije i fotoluminescentane spektroskopije. Fotokatalitička aktivnost sintetisanih nanoprahova TiO_2 testirana je u procesu razgradnje organske boje metil oranž iz vodenog rastvora, čija je promena koncentracije u odnosu na početnu koncentraciju određivana primenom apsorpcione UV-VIS spektroskopije. Interakcija organskih liganada sa površinskim Ti atomima proučavana je FTIR spektroskopijom.

U delu ***Rezultati i diskusija*** diskutovani su rezultati do kojih je kandidatkinja došla u svom eksperimentalnom radu, a koji su detaljno objašnjeni u delu **B. Opis rezultata disertacije**.

U delu ***Zaključak*** navedene su činjenice do kojih je kandidatkinja došla u toku izrade disertacije, a koje proizlaze iz rezultata dobijenih karakterizacijom ispitivanih uzoraka. Izvedeni zaključci su u saglasnosti sa postavljenim ciljevima.

Literaturni pregled koji sadrži sve reference citirane u disertaciji dat je u delu ***Literatura***.

B. Opis rezultata disertacije

Strukturalna svojstva nanoprahova TiO_2+RE ($\text{RE}=\text{Pr}^{3+}, \text{Nd}^{3+}, \text{Sm}^{3+}, \text{Eu}^{3+}, \text{Dy}^{3+}, \text{Tb}^{3+,4+}, \text{Ho}^{3+}, \text{Er}^{3+}$ i Tm^{3+}) su ispitana rendgenskom difrakcionom analizom, koja je pokazala da se primenom sol-gel sinteze dobijaju čiste anatas kristalne strukture TiO_2 sa veličinom kristalita od svega nekoliko nanometara. Prosečna veličina kristalita za nedopiran TiO_2 iznosi 15 nm, što je mnogo veća vrednost u poređenju sa nanoprahovima TiO_2 koji su dopirani jonima retkih zemalja. Ugradnjom jona retke zemlje većeg jonskog radijusa u poređenju sa jonom titana ($r(\text{Ti}^{4+})=0,605 \text{ \AA}$) u anatasnu kristalnu rešetku titan-dioksida dolazi do povećanja parametara jedinične ćelije i vrednosti mikronaprezanja, što za posledicu ima distorziju rešetke i smanjenje strukturnog uređenja. Smanjenje veličine kristalita uzoraka TiO_2+RE je posledica formiranja RE-O-Ti veza koje sprečavaju rast kristalnih zrna.

Pokazano je da se inkorporacijom veće koncentracije jona europijuma (3 at.%) ometa kristalizacija TiO_2 , što se ogleda u smanjenju veličine kristalita. Kodopiranje ovih uzoraka jonima litijuma, čija je koncentracija varirala od 0–12 at.%, znatno utiče na strukturalna i morfološka svojstva TiO_2 čestica što se manifestuje poboljšanjem kristaliničnosti i formiranjem većih čestica. Pri nižim koncentracijama jona Li^+ dolazi do promene strukturnih, morfoloških i optičkih svojstva TiO_2 , uz zadržavanje čiste anatasne strukture, dok se pri većim koncentracijama jona litijuma (12 at.%) izdvaja Li_2TiO_3 .

Adsorpciono-desorpcione izoterme azota su korišćene u cilju određivanja specifične površine svih sintetisanih nanoprahova titan-dioksida dopiranih jonima retkih zemalja. Uticaj ugradnje jona retkih zemalja u anatasnu kristalnu strukturu titan-dioksida ogleda se u značajnom porastu specifične površine čestica u poređenju sa nedopiranim TiO_2 . Za dobijanje nedopiranih nanoprahova TiO_2 koji se odlikuju još većom specifičnom površinom ($285 \text{ m}^2/\text{g}$) primenjena je koloidna tehnika. Barrett-Joyner-Halend-ova analiza ukazuje na izrazit uticaj termičkog tretmana na morfološka svojstva čestica. Tako se titan-dioksid sintetisan sol-gel tehnikom i žaren na temperaturi od $420 \text{ }^\circ\text{C}$ odlikuje mezoporoznom strukturom sa prosečnim prečnikom pora od 6,4 nm, dok prah TiO_2 dobijen sušenjem koloidnog rastvora nema mezoporoznu strukturu.

Transmissionom elektronskom mikroskopijom zajedno sa tehnikom elementarnih mapa analizirana je morfologija, sastav i homogenost distribucije elemenata u uzorcima. Pokazano je da retke zemlje u matrici TiO_2 utiču na morfološka svojstva, što se ogleda u dobijanju gusto zbijenih nanočestica

nepravilnog oblika. Osim toga što su pomenuti uzorci aglomerisani može se uočiti da su čestice TiO_2 manje veličine u poređenju sa nedopiranim uzorkom. Tehnikom mapiranja na reprezentativnom uzorku $\text{TiO}_2+\text{Nd}^{3+}$ potvrđeno je prisustvo samo konstitucionih elemenata koji su homogeno raspoređeni, što ukazuje na uspešnost korišćenja sol-gel sinteze za dopiranje anatasnog TiO_2 jonima retkih zemalja.

Optička svojstva ispitivanih nanoprahova TiO_2 dopiranih jonima retkih zemalja ispitana su difuzno-refleksionom i fotoluminescentnom spektroskopijom. Određene su karakteristične talasne dužine za pobuđivanje svih ispitivanih jona retkih zemalja u matrici TiO_2 . Pokazano je da se direktnim pobuđivanjem jona retke zemlje inkorporiranog u anatasnu TiO_2 matricu može dobiti efikasna emisija svetlosti u širokom spektralnom regionu. Fotoluminescentni emisijski spektri svih uzoraka jasno pokazuju karakteristične linije koje potiču od spin zabranjenih $f-f$ prelaza jona retkih zemalja. Na uzorku anatasnog TiO_2 koji je dopiran većom koncentracijom jona europijuma, potvrđeno je da kodopiranje jonima litijuma značajno utiče na optička svojstva materijala usled promene njegovih mikrostrukturnih parametara. Ugradnjom jona Li^+ u matricu $\text{TiO}_2+3\text{at.}\% \text{Eu}$ dolazi do narušavanja lokalne simetrije oko jona Eu^{3+} , što za posledicu ima povećanje intenziteta emisije trake koja odgovara prelazu ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_2$ od 37,5% u slučaju uzorka kodopiranog sa 9 at.% Li^+ . Ovo pojačanje emisije nakon uvođenja jona Li^+ u kristalnu rešetku TiO_2 javlja se iz više razloga. Prvi razlog se ogleda u narušavanju simetrije kristalnog polja u okolini jona Eu^{3+} , što dovodi do povećanja verovatnoće električno-dipolnih prelaza. Drugi razlog se manifestuje u smanjenju zapremine jedinične ćelije anatasnog TiO_2 , usled čega dolazi do povećanja interakcije kristalnog polja sa jonima Eu^{3+} . Treći razlog pojačanja emisije jona Eu^{3+} usled kodopiranja jonima Li^+ predstavlja poboljšanje kristalizacije i dobijanje većih nanočestica. Izračunati su i analizirani Judd-Ofelt-ovi parametri koji opisuju emisiju Eu^{3+} na osnovu kojih je potvrđena asimetrija kristalnog polja oko pozicije na kojoj se nalazi jon Eu^{3+} u TiO_2 . Vrednost kvantne efikasnosti je najmanja za uzorak koji nije kodopiran jonima Li^+ (66,4%), dok je najveća (98,7%) za uzorak sa najvećim sadržajem jona Li^+ (9 at.%). Ovako visoka vrednost kvantne efikasnosti, za uzorak $\text{TiO}_2+3 \text{ at.}\% \text{Eu}$ koji je kodopiran sa 9at.% Li^+ je očekivana s obzirom da je izračunata verovatnoća neradijacionih prelaza svega 29 s^{-1} .

U ovoj doktorskoj disertaciji pokazano je da se dopiranjem nanočestica TiO_2 trovalentnim jonima retkih zemalja mogu dobiti fotokatalitički nanomaterijali. Uzorak TiO_2 dopiran jonima holmijuma pokazuje najbolju efikasnost degradacije boje metil-oranž (97,3% nakon 4 h) u poređenju sa

ostalim dopiranim uzorcima TiO₂ anatasne kristalne strukture. Razlozi se mogu pripisati sledećim sinergijskim efektima: smanjenje veličine kristalita, relativno velika specifična površina i efikasna apsorpcija vidljive svetlosti usled formiranja pod-energetskih nivoa trovalentnog jona retke zemlje u zabranjenoj zoni TiO₂. Osim toga, potvrđeno je da se pomeranje praga apsorpcije iz ultraljubičaste u vidljivu oblast može obezbediti adsorpcijom organskih liganada na površinu TiO₂ koji se odlikuje: veoma malim česticama (~4 nm) sa velikom specifičnom površinom i mešovitim kristalnim strukturama titan-dioksida (anatas i brukit). Ova svojstva za posledicu imaju odličnu fotokatalitičku efikasnost nanoprahova TiO₂ površinski modifikovanih kateholom i tiosalicilnom kiselinom.

C. Uporedna analiza rezultata disertacije sa rezultatima iz literature

Titan(IV)-oksid se već decenijama intenzivno primenjuje u svakodnevnom životu, a oblast primene TiO₂ u tehnologiji zavisi od njegove kristalne strukture, veličine kristalita i morfologije. TiO₂, koji spada u grupu poluprovodničkih materijala, odlikuje se širokim energetskim procepom, dobrom osetljivošću za apsorpciju svetlosti i mogućnošću prenosa energije na jone dopanta. U literaturi sve češće se mogu naći rezultati istraživanja posvećenih dopiranju nanočestica TiO₂ trovalentnim jonima retkih zemalja, koji su imali za cilj dobijanje luminescentnih nanomaterijala (A. Chakraborty, G. H. Debnath, N. R. Saha, D. Chattopadhyay, D. H. Waldeck, P. Mukherjee, *Journal of Physical Chemistry C* **120** (2016) 23870–23882) i fotokatalitičkih materijala (P. Mazierski, W. Lisowski, T. Grzyb, M. J. Winiarski, T. Klimczuk, A. Mikołajczyk, J. Flisikowski, A. Hirsch, A. Kotakowska, T. Puzyn, *Applied Catalysis B: Environmental* **205** (2017) 376–385). Ideja za korišćenje jona retkih zemalja kao optičkih aktivatora proistekla je iz činjenice da oni usporavaju kristalizaciju i ometaju rast kristalita formirajući RE-O-Ti veze, čime se obezbeđuje dobijanje manjih čestica sa većom specifičnom površinom (Y. Wang, G. Chen, Q. Shen, H. Yang, L. Li, Y. Song, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, **14** (2014) 4988–4994). Osim toga, joni retkih zemalja imaju veliki broj pobuđenih energetskih nivoa koji im omogućavaju apsorpciju i emisiju zračenja u širokom intervalu talasnih dužina (G. H. Dieke, „*Spectra and Energy Levels of Rare Earth Ions in Crystals*“, Interscience Publishers, New York, 1968.), što omogućava primenu ovih materijala u optičkim uređajima.

Odnedavno u velikom broju radova prezentovani su rezultati istraživanja titan-dioksida dopiranog jonima retkih zemalja koji su sintetisani različitim metodama, s obzirom da uslovi sinteze definišu morfologiju proizvoda i određuju njegova funkcionalna svojstva (S. Yildirim, M. Yurddaskal, T. Dikici, I. Aritman, K. Ertekin, E. Celik, *Ceramics International* **42** (2016) 10579–10586; H. Liu, L. Yu, W. Chen, Y. Li, *Journal of Nanomaterials* **2012** (2012) 235879 (9 pp); I. Cacciotti, A. Bianco, G. Pezzotti, G. Gusmano, *Materials Chemistry and Physics* **126** (2011) 532-541; J. Reszczyńska, T. Grzyb, Z. Wei, M. Klein, E. Kowalska, B. Ohtani, A. Zaleska-Medynska, *Applied Catalysis B: Environmental* **181** (2016) 825–837). Sol-gel metoda predstavlja najčešće korišćenu tehniku za dobijanje nanočestičnog TiO₂ dopiranog jonima retkih zemalja. U literaturi postoji mali broj radova u kojima je sistematično proučavan uticaj dopiranja titan-dioksida jonima retkih zemalja na njegova strukturna, morfološka, optička i fotokatalitička svojstva, što predstavlja značajan naučni doprinos ove doktorske disertacije.

Tako, prema literaturnim podacima ne očekuje se optička aktivnost jona Dy³⁺ ugrađenog u anatasnu kristalnu rešetku TiO₂ (A. Chakraborty, G. H. Debnath, N. R. Saha, D. Chattopadhyay, D. H. Waldeck, P. Mukherjee, *Journal of Physical Chemistry C* **120** (2016) 23870–23882). Međutim, rezultati proistekli iz ove disertacije pokazuju da se nanoprahovi TiO₂ anatasne kristalne strukture mogu koristiti kao matrica za ostvarivanje dobrih optičkih svojstava jona Dy³⁺, što je od velikog značaja za potencijalnu primenu ovog materijala u industrijskoj proizvodnji LED osvetljenja.

Luo i saradnici su ispitivali emisiju karakterističnu za jone Eu³⁺ ugrađene u rešetku TiO₂ (W. Luo, R. Li, G. Liu, M. R. Antonio, and X. Chen, *Journal of Physical Chemistry C* **112** (2008) 10370–10377) u cilju korelisanja simetrije lokalnog okruženja jona dopanta i njihovih optičkih svojstava. Pojačanje emisije zračenja materijala NaGdF₄ dopiranog jonima Yb³⁺ i kodopiranog jonima Er³⁺ ostvareno je ugradnjom jona litijuma (Q. Cheng, J. Siu, W. Cai, *Nanoscale* **4** (2012) 779–784). Sa ovim u vezi, u ovoj disertaciji ispitana je mogućnost ugradnje jona Li⁺ u anatasnu kristalnu rešetku TiO₂ korišćenjem sol-gel tehnike i po prvi put je ustanovljen uticaj jona Li⁺ na strukturna i morfološka svojstva TiO₂, što ukazuje i na značajan doprinos ovih istraživanja u oblasti luminescentnih materijala.

Poslednjih nekoliko godina, objavljen je veliki broj naučnih radova koji se bave ispitivanjem novih sinteza nanostrukturnog TiO₂ za primenu u fotokatalizi. Ugrađivanje jona retkih zemalja u rešetku TiO₂ može da modifikuje njegov energetski procep energetskim pod-nivoima jona retke zemlje (P. Mazierski, W. Lisowski, T. Grzyb, M. J. Winiarski, T. Klimczuk, A. Mikołajczyk, J. Flisikowski, A. Hirsch,

A. Kolakowska, T. Puzyn, *Applied Catalysis B: Environmental* **205** (2017) 376–385; Y. Xie, C. Yuan, *Applied Surface Science* **221** (2004) 17–24). U ovoj disertaciji difuzno-refleksioni spektri su poslužili za određivanje oblasti apsorpcije ispitivanog titan-dioksida dopiranog jonima retkih zemalja. Ovo je dalje korelisano sa fotokatalitičkom efikasnošću sintetisanih materijala, što do sada nije bilo zabeleženo u literaturi.

Literaturni podaci su pokazali da TiO₂ koji predstavlja smešu anatasne i brukitne kristalne strukture može ispoljiti mnogo bolja fotokatalitička svojstva u poređenju sa titan-dioksidom anatasne kristalne strukture (H. Zhao, L. Liu, J. M. Andino, Y. Li, *Journal of Materials Chemistry A* **1** (2013) 8209–8216.; A. Di Paola, M. Bellardita, L. Palmisano, *Catalysts* **3** (2013) 36–73). U ovoj disertaciji po prvi put su koloidnom metodom sintetisani nanoprahovi TiO₂ sa značajno većom specifičnom površinom i česticama sfernog oblika dijametra oko 4 nm. Ovakva mikrostruktura odlikuje se velikom zakrivljenošću površine, a samim tim i velikim brojem defektnih stanja na površini. Osim toga, dobijeni nanoprahovi pokazali su prisustvo brukitne i anatasne kristalne strukture titan-dioksida, što je uslovalo njihovu odličnu fotokatalitičku efikasnost.

Veliki broj literaturnih rezultata bazira se na izučavanju koloidnih rastvora TiO₂ koji se odlikuju malim česticama dijametra oko 4,5 nm površinski modifikovanih organskim ligandima (I. A. Janković, Z. V. Šaponjić, M. I. Čomor, J. M. Nedeljković, *Journal of Physical Chemistry C* **113** (2009) 12645–12652). Do sada je formiranje kompleksa sa prenosom naelektrisanja praćeno pomeranjem praga apsorpcije iz ultraljubičastog u vidljivi spektralni region u slučaju koloidnog rastvora TiO₂ uglavnom površinski modifikovanog kateholatnim tipom liganada (T. D. Savić, I. A. Janković, Z. V. Šaponjić, M. I. Čomor, D. Ž. Veljković, S. D. Zarić, J. M. Nedeljković, *Nanoscale* **4** (2012) 1612–1619; K. D. Dobson, A. J. McQuillan, *Spectrochim. Acta A* **56** (2000) 557–565; P. Z. Araujo, P. J. Morando, M. A. Blesa, *Langmuir* **21** (2005) 3470–3474). Međutim, za industrijsku primenu često je pogodnije koristiti TiO₂ u obliku praha sa unapred dizajniranim optičkim svojstvima. Stoga je bilo od interesa ispitati površinsku modifikaciju nanoprahova TiO₂ dobijenih sušenjem koloidnog rastvora. Za površinsku modifikaciju TiO₂, u ovoj disertaciji prvi put je pored katehola korišćena je i tiosalicilna kiselina koja poseduje drugačije funkcionalne grupe. Na osnovu analize načina vezivanja navedenih organskih liganada na površinu TiO₂ objašnjena je manja optička aktivnost tiosalicilne kiseline u vidljivoj oblasti u poređenju sa kateholom.

D. Naučni radovi i saopštenja u kojima su publikovani rezultati iz disertacije

Rad u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti (M21a):

B. Milićević, V. Đorđević, D. Lončarević, S. P. Ahrenkiel, M. D. Dramićanin, J. M. Nedeljković: „Visible light absorption of surface modified TiO₂ powders with bidentate benzene derivatives“, *Microporous and Mesoporous Materials* **207** (2015) 184–189. IF(2015)=3,349. doi:10.1016/j.micromeso.2015.06.028.

Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21):

B. Milićević, V. Đorđević, K. Vuković, G. Dražić, M. D. Dramićanin: „Effects of Li⁺ co-doping on Eu³⁺ activated TiO₂ anatase nanoparticles“, *Optical Materials* **72** (2017) 316–322. IF(2016)=2,238. doi:10.1016/j.optmat.2017.06.029.

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u izvodu (M34):

V. Đorđević, **B. Milićević**, G. Dražić, M.D. Dramićanin: „The effect of Li⁺ co-doping on structural, morphological and optical properties of TiO₂:Eu³⁺ nanopowders“, -4th International Conference on the Physics of Optical Materials and Devices, 31. avgust - 04. septembar 2015, Budva, Montenegro, pp. 267.

E. Zaključak komisije

Na osnovu izloženog komisija zaključuje da rezultati kandidatkinje mastera fizikohemičara Bojane Milićević prikazani u okviru ove disertacije predstavljaju originalan i značajan naučni doprinos u oblasti fizičke hemije, posebno u oblasti fizičke hemije materijala. Iz disertacije kandidatkinja ima objavljena dva rada u međunarodnim časopisima (1 rad kategorije M21a i jedan rad kategorije M21). Takođe, kandidatkinja ima objavljeno jedno saopštenje štampano u izvodu na međunarodnom naučnom skupu.

Na osnovu izloženog, komisija pozitivno ocenjuje disertaciju mastera fizikohemičara Bojane Milićević pod naslovom „**Modifikacija strukturnih, morfoloških i optičkih svojstava anatas TiO₂ nanočestica dopiranjem trovalentnim jonima retkih zemalja**“ i predlaže Nastavno-naučnom veću Fakulteta za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu da prihvati ocenu komisije i odobri javnu

odbranu disertacije, čime bi bili ispunjeni svi uslovi da kandidatkinja stekne zvanje doktor fizičkohemijskih nauka.

Članovi komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije:

Dr Ivana Stojković Simatović

docent Fakulteta za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu

Prof. dr Miroslav Dramićanin

naučni savetnik Instituta za Nuklearne nauke „Vinča“ Univerziteta u Beogradu i
redovni profesor Fizičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu

Dr Biljana Šljukić Paunković

docent Fakulteta za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu

Dr Vesna Đorđević

naučni saradnik Instituta za Nuklearne nauke „Vinča“ Univerziteta u Beogradu

Prof. dr Dragica Minić-Popović

redovni profesor Državnog univerziteta u Novom Pazaru - Depatrman za biohemijske nauke, u
penziji od 09.05.2016.

U Beogradu, 1. avgusta 2017. godine