

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U BEOGRADU

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata Mine Medić, dipl.inž. tehnologije

Odlukom br. 35/296 od 09.07.2015. godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Mine Medić, dipl. inž. tehnologije pod naslovom:

**MULTIFUNKCIONALNE NANOČESTICE MAGNEZIJUM-ORTOTITANATA
DOPIRANOG JONIMA RETKIH ZEMALJA I PRELAZNIH METALA**

Posle pregleda dostavljene disertacije i drugih pratećih materijala i razgovora sa kandidatom, Komisija Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu podnosi sledeći

REFERAT

o urađenoj doktorskoj disertaciji.

1. UVOD

1.1. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

08.12.2014. - Kandidat Mina Medić, dipl. inž. tehnologije, prijavila je temu za doktorsku Disertaciju pod naslovom: „Multifunkcionalne nanočestice magnezijum-ortotitanata dopiranog jonima retkih zemalja i prelaznih metala“.

18.12.2014. - Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta doneta je odluka o prihvatanju predloga teme doktorske disertacije pod nazivom: „Multifunkcionalne nanočestice magnezijum-ortotitanata dopiranog jonima retkih zemalja i prelaznih metala“, a za mentore ove doktorske disertacije imenovani su dr Đorđe Janačković, redovni profesor TMF, i mentor dr Miroslav D. Dramićanin, redovni profesor Fizičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu i naučni savetnik Instituta za nuklearne nauke “Vinča” (broj odluke 35/385 od 18.12.2014. godine).

26.02.2015. - Nastavno naučno veće Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu na svojoj sednici usvojilo je sastav Komisije za ocenu podobnosti kandidata Mine Medić i naučne zasnovanosti predložene teme (broj odluke 35/49 od 26.02.2015.).

09.03.2015. - Na sednici Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije Mine Medić, dipl. inž. tehnologije pod nazivom: „Multifunkcionalne nanočestice magnezijum-ortotitanata dopiranog jonima retkih zemalja i prelaznih metala“ (02 broj: 61206-955/2-15 LD od 09.03.2015.)

09.07.2015. - Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta doneta je odluka o imenovanju članova Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije Mine Medić, dipl. inž. tehnologije pod nazivom: „Multifunkcionalne nanočestice magnezijum-ortotitanata dopiranog jonima retkih zemalja i prelaznih metala“ (broj odluke 35/296 od 09.07.2015.).

1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo – Inženjerstvo materijala, za koju je matična ustanova Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu. Mentor je dr Đorđe Janačković, redovni profesor TMF, a mentor dr Miroslav D. Dramićanin je redovni profesor Fizičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu i naučni savetnik Instituta za nuklearne nauke Vinča, koji su na osnovu dosadašnjih objavljenih publikacija i iskustva kompetentni da rukovode izradom ove disertacije.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Mina Medić je rođena 18.02.1983. godine u Beogradu, Srbija. Osnovnu školu i gimnaziju Sveti Sava završila je u Beogradu. Školske 2002/03. godine upisala je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, gde je diplomirala na odseku za Organsku hemijsku tehnologiju i polimerno inženjerstvo sa temom „*Analiza sigurnosti tehnološkog procesa postrojenja za proizvodnju polietilena niske gustine*“.

U oktobru 2012/13. godine upisala je doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na katedri za Neorgansku hemijsku tehnologiju pod rukovodstvom profesora dr Đorđa Janačkovića. U okviru doktorskih studija položila je sve ispite predviđene planom i programom, uključujući i završni ispit.

Zaposlena je od 2012. godine u Institutu za nuklearne nauke Vinča, u Laboratoriji za radijacionu hemiju i fiziku u grupi profesora dr Miroslava Dramićanina. U zvanje istraživač saradnik izabrana je 21.03.2013. godine na naučnom veću INN Vinča, rešenje broj 869/14. Angažovana je na projektu “Razvoj i unapređenje postupaka radijacione sterilizacije prehrambenih proizvoda i medicinskih sredstava radi povećanja izvozne konkurentnosti preduzeća korisnika usluga iz AP Vojvodina“, čiji je rukovodilac profesor dr Miroslav Dramićanin.

Oblast naučno-istraživačkog rada Mine Medić obuhvata sintezu i karakterizaciju nanomaterijala.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1 Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija Mine Medić pod naslovom „Multifunkcionalne nanočestice magnezijum-ortotitanata dopiranog jonima retkih zemalja i prelaznih metala“ napisana je na 121 strani A4 formata (sa proredom 1,5), sadrži 51 sliku i 23 tabele. Tekst obuhvata sledeća poglavlja: Uvod (11 strane), Teorijski deo (43 strane), Eksperimentalni deo (18 strane), Rezultate i diskusiju (34 strane), Zaključak (3 strane) i Literaturu (139 navoda, 12 strana). Pored toga, postoji Izvod na srpskom i engleskom jeziku, Sadržaj i Zahvalnica. Na kraju disertacije nalazi se Biografija i Bibliografija kandidata, izjave o autorstvu, istovetnosti štampane i elektronske verzije i izjava o korišćenju.

2.2 Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

Naslov doktorske disertacije je jasno formulisan i ukazuje na sadržaj istraživanja obuhvaćenih tezom, dok je u rezimeu prikazan kratak pregled ostvarenih rezultata. U **Uvodu** disertacije definisani su predmet i jasno je ukazano na glavne naučne ciljeve rada. Dat je kratak osvrt na oblast istraživanja i istaknut je značaj i primena luminescentnih i fotokatalitičkih materijala. Navedene su najvažnije vrste titanata, njihova najvažnija svojstva i oblasti primene. Predmet istraživanja ove doktorske disertacije bilo je proučavanje uslova sinteze, karakterizacija i potencijalna primena magnezijum-ortotitanata, čistog, dopiranog jonima rekih zemalja i prelaznih metala, kao i površinski modifikovanog primenom bidentnih benzenovih derivata. Glavni naučni ciljevi ove doktorske disertacije bili su uspostavljanje korelacije između sinteze, strukture i svojstava magnezijum-ortotitanata.

U okviru **Teorijskih osnova** prikazano je 6 potpoglavlja koja prikazuju: 1. Osnovna svojstva magnezijum-ortotitanata (Mg_2TiO_4), 2. Sinteze magnezijum-ortotitanata, 3. Mehanizam fotoluminescencije, 4. Fotoluminescenca neorganskih materijala dopiranih jonima prelaznih metala i jonima retkih zemalja, 5. Judd-Ofelt-ova teorija i 6. Mehanizam fotokatalize i površinska modifikacija nanočestica.

Kandidatkinja je u poglavlju **Teorijskih osnova** prikazala osnovna svojstva magnezijum-ortotitanata (Mg_2TiO_4) i njegovu primenu. Predstavljena je struktura, elektronska konfiguracija i energetski procep ovog materijala. U daljem tekstu opisani su principi pristupa sintezi nanomaterijala i dat je kratak pregled metoda i uslova koje su do sada korišćene za sinteze Mg_2TiO_4 . Takođe je opisana Pećini metoda, modifikovana sol-gel metoda koja se koristi u sintezi homogenih multikomponentnih metal-oksidnih materijala, a koja je korišćena u ovoj disertaciji za sintezu proučavanih materijala. Nakon toga predstavljen je mehanizam fotoluminescencije i data je klasifikacija prema mehanizama elektronskih prelaza do kojih dolazi kada čvrst materijal apsorbuje energiju. Detaljno su opisane vrste i mehanizmi unutrašnje i spoljašnje luminescencije. Takođe je prikazan mehanizam fotoluminescence neorganskih materijala dopiranih jonima prelaznih metala i jonima retkih zemalja. Date su vrste matrica i primeri matričnih materijala kao i jona aktivatora. Predstavljen je model teorije kristalnog polja. Date su konfiguracije i svojstva aktivatora iz grupa sa $d \leftrightarrow d$ i $f \leftrightarrow f$ prelazima. Predstavljena je Judd-Ofelt-ova teorija koja opisuje intenzitet prelaza lantanoida i aktanoida u čvrstim materijama i rastvorima. Takođe je istaknut značaj i dat je mehanizam fotokatalize, kao i površinske modifikacije nanočestica u cilju poboljšanja fotokatalitičkih svojstava.

Treće poglavlje se odnosi na **Ekperimentalni deo**. Metodologija eksperimentalnog rada u ovoj tezi prati postavljene ciljeve. Dat je detaljan opis procedure, eksperimentalnih uslova, materijala i hemikalija koji su korišćeni za sintezu čistog i dopiranog magnezijum-ortotitanata kao i procedura površinske modifikacije ovog materijala. Navedene su instrumentalne metode korišćene za karakterizaciju sintetisanih materijala i prikazani su uslovi rada navedenih instrumentalnih metoda u toku istraživanja, kao i metode potrebnih proračuna u cilju karakterizacije.

U poglavlju **Rezultati i diskusija** prikazani su rezultati dobijeni u eksperimentalnom radu u ovoj doktorskoj disertaciji, njihova analiza i diskusija, kao i poređenje sa podacima iz literature.

U cilju optimizacije postupka sinteze materijala i okvirnog određivanja temperatura spaljivanja i žarenja prekursora, radi dobijanja čistih faza, korišćena je metoda TG-DTA.

Ova analiza ukazala je na temperaturni opseg daljeg tretiranja prahova prekursora sintetisanih uzoraka u cilju dobijanja čistih faza i efikasnog inkorporiranja dopanata u materijal. Karakterizacija svih faza sinteze praćena je i infracrvenom spektroskopijom sa Furierovom transformacijom (FTIR). Utvrđen je temperaturni opseg od 400 – 700°C i vremenski period žarenja sintetisanih uzoraka u cilju dobijanja čistih faza.

Mg₂TiO₄ dopiran jonima retkih zemalja (Eu³⁺ i Sm³⁺) sintetisan je Pećinijevom metodom polimerizovanog kompleksa u temperaturnom opsegu od 400 – 700°C i dobijene su čestice nanometarskih dimenzija od 5 – 10 nm. Rendgeno-strukturnom analizom dobijenih prahova utvrđena je kubna struktura inverznog spinela Mg₂TiO₄ prostorne grupe Fd $\bar{3}$ m već na 400°C. Mg₂TiO₄:Sm³⁺ ima stabilnu strukturu sve do temperature žarenja od 650°C, dok Mg₂TiO₄:Eu³⁺ poćinje da se razlaže na temperaturi žarenja od 700°C. Uoćeno je da velićina kristalita i vrednost parametara jedinićne ćelije rastu sa povećanjem temperature tretiranja uzoraka. Skenirajućom elektronskom mikroskopijom i transmisijom elektronskom mikroskopijom ispitana je morfologija i struktura sintetisanih prahova na nanometarskom nivou. Fotoluminescentnom spektroskopijom ispitana su optićka svojstva ovih prahova. Fotoluminescentni emisioni spektri svih uzoraka jasno pokazuju karakteristićne linije koje potiću od spin zabranjenih *f*–*f* prelaza jona retke zemlje. Luminescentni spektri se sastoje od emisija slabog intenziteta koji potiću od defekata Mg₂TiO₄ matrice i jake emisija velikog intenziteta koji potiću od Eu³⁺ i Sm³⁺. U slućaju Mg₂TiO₄:Eu³⁺ intenzitet emisije raste sa porastom temperature žarenja menjajući red velićine u funkciji temperature. Slićan, ali manje izraćen efekat uoćen je i kod Mg₂TiO₄:Sm³⁺.

Proraćunati su intenziteti elektrićno-dipolnih (ED) i magnetno-dipolnih (MD) prelaza primenom Judd-Ofelt-ove teorije, kao i parametri Ω_λ koji određuju snagu i prirodu kristalnog polja koje deluje na jon retke zemlje za uzorak Mg₂TiO₄:Eu³⁺. Najbolja luminescentna svojstva pokazale su nanoćestice pripremljene na 600°C/1h pokazujući kvantnu efikasnost emisije od 58,5%. U uzorcima Mg₂TiO₄:Eu³⁺ sintetisanim u temperaturnom opsegu od 400 – 650°C intenzitet parametra Ω_2 je veći od parametra Ω_4 pokazujući postojanje kovalentne veze između jona europijuma i liganada kao i asimetriju oko lokacije na kom se nalazi jon metala.

Uraćena je detaljna spektroskopska analiza i analiza kristalnog polja nanoćestica Mg₂TiO₄:Mn⁴⁺ koje su takoće sintetisane Pećinijevom metodom na temperaturi 600°C tokom 1h. Energetski nivoi Mn⁴⁺ u Mg₂TiO₄ izraćunati su primenom jednaćina modela razmene naelektrisanja. Simetrija pozicije na kojoj se nalazi Mn⁴⁺ je C_{3i}, što je u skladu sa strukturom kristalnog polja Hamiltoniana. Izraćunate energije nivoa Mn⁴⁺ u trigonalnom kristalnom polju su u skladu sa eksperimentalnim eksitacionim i emisionim spektrima. Utvrđeno je da je doprinos parametara kovalentnih veza i efekat razmene naelektrisanja kristalnog polja skoro osam puta veći od doprinosa taćke naelektrisanja koja je posledica Kulonovih interakcija između dopantnog jona i jona rešetke.

U ovoj disertaciji opisane su fotokatalitićke performanse Mg₂TiO₄ nanopraha koji do sada, prema literaturnim podacima, nisu ispitivani. Zahvaljujući maloj velićini ćestica i mezoporoznoj strukturi, nanoprah ima veliku specifićnu površinu, usled ćega ima veliki kapacitet adsorpcije. U cilju pomeranja praga apsorpcije u vidljivu oblast spektra vršeno je bojenje Mg₂TiO₄ supstancama osetljivim na svetlost i uraćena je površinska modifikacija, primenom bidentnih benzenovih derivata, katehola i 5-amino salicilne kiseline. Fotokatalitićka efikasnost i svojstva praćena su degradacijom organske boje (kristal ljubićaste). Fotodegradacija odrećena je merenjem odgovarajućih apsorpcionih maksimuma

kristal ljubičaste pomoću apsorpcione spektroskopije za različita vremena delovanja UV zračenja.

U poglavlju *Zaključak* sumirani su najznačajniji zaključci proistekli iz rada na ovoj disertaciji. U poglavlju *Literatura* data je literaturni pregled, koji sadrži sve reference citirane u radu.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Multifunkcionalne nanočestice kombinuju različite funkcionalnosti u jednom stabilnom sistemu nanodimenzija. Funkcionalizacijom nanočestica može se kontrolisati dobijanje željenih svojstava u cilju specifične primene. Nanotehnologija ima izuzetno širok spektar potencijalnih primena od nanoelektronike i optike do nanobioloških sistema i nanomedicine, itd. Nanočestice, usled malih dimenzija i velike specifične površine imaju niz posebnih karakteristika koje ih razlikuju od materijala makroskopskih veličina. Kontrolisanje i korišćenje interakcije svetlosti i materije i njihovo razumevanje nam omogućava telekomunikacione tehnologije, solarnu energiju, ekrane (displeje), biotehnologiju, medicinsku dijagnostiku, itd. Luminescentni materijali, fosfori, imaju svojstvo da apsorbuju i konvertuju neki tip energije u elektromagnetno zračenje, najčešće u vidljivoj oblasti, mada se može javiti i u ultraljubičastom ili infracrvenom spektralnom regionu. Mnoge primene luminescentnih materijala zahtevaju visoku čistoću i homogenost raspodele aktivatora, kao i čestice nanometarskih dimenzija. Uređaji koji se zasnivaju na svojstvu luminescentnih materijala imaju široku primenu i odavno su postali deo svakodnevnog života. Potencijalna primena fosfora i katalizatora se u poslednjih nekoliko godina detaljno ispituje zajedno sa razvojem nanotehnologija, očuvanja životne sredine i uštede energije.

Zadatak ove doktorske disertacije bio je istraživanje efikasnog i ekonomičnog načina sinteze nanočestica magnezijum-ortotitanata (Mg_2TiO_4) kao pogodne matrice za dopiranje jonima retkih zemalja (Eu^{3+} , Sm^{3+}) i jonima prelaznih metala (Mn^{4+}), kako bi se ispitivala luminescentna svojstva ovih materijala. Važan aspekt ove disertacije jeste uspostavljanje korelacije između strukturnih, morfoloških i luminescentnih svojstava sintetisanih nanomaterijala. Rezultati ovih korelacija omogućuju dobijanje materijala sa ciljanim i poboljšanim svojstvima, koja pospešuju njihove primene kao fosfornih materijala.

U ovoj doktorskoj disertaciji utvrđeno je da sintetisane nanočestice magnezijum-ortotitanata pored optičkih aktivnosti ispoljavaju i efikasne katalitičke aktivnosti. Najperspektivnija tehnologija kojom se na jednostavan način može iskoristiti energija prirodne sunčeve svetlosti ili veštačke svetlosti je fotokataliza koja se vrši poluprovodničkim materijalima, kao što je slučaj u ovoj doktorskoj disertaciji. Fotokatalizatori koriste sunčevu i veštačku svetlost kako bi uklonili razne zagađujuće supstance. U ovoj doktorskoj tezi, po prvi put su ispitivane fotokatalitička svojstva sintetisanih nanočestica Mg_2TiO_4 . Kako bi se pospešili fotokatalitički procesi koji se odvijaju na površini nanočestica, radilo se na površinskoj modifikaciji čistog nanopraha magnezijum-ortotitanata primenom bidentnih benzenovih derivate, tj. primenom katehola i 5-aminosalicilne kiseline. Rezultati su upoređeni sa već dobro poznatim fotokatalizatorom titan(IV)-oksidom pod istim eksperimentalnim uslovima.

Oblast i rezultati istraživanja u ovoj doktorskoj disertaciji su u okviru najsavremenijih naučnih tokova, a po originalnosti se ističu ne samo razvojem novih fosfornih i fotokatalitičkih materijala već i metodologije njihove karakterizacije uz multidisciplinarni pristup.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U okviru doktorske disertacije citirano je ukupno 139 literaturnih navoda koji su omogućili da se prikaže aktuelno stanje istraživanja u ispitivanoj oblasti. Navedeni literaturni radovi su korišćeni kako prilikom planiranja eksperimentalnog rada, tako i u tumačenju i analizi rezultata istraživanja, diskusiji i izvođenju zaključaka. Većina navoda predstavlja naučne radove publikovane u vrhunskim međunarodnim časopisima sa tematikom značajnom za izradu doktorske disertacije, što ukazuje na aktuelnost teme doktorske disertacije. Istraživanja prikazana u navedenim naučnim radovima su opisana i prodiskutovana u doktorskoj disertaciji, a rezultati drugih autora korišćenih u literaturnom pregledu su analizirani i upoređeni sa rezultatima dobijenim tokom izrade doktorske disertacije. Prikazani literaturni navodi, korišćeni tokom izrade doktorske disertacije, ukazuju na adekvatno poznavanje predmetne oblasti, kao i poznavanje aktuelnih pravaca istraživanja u ovoj oblasti u svetu.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

U izradi disertacije primenjene su savremene naučne metode za karakterizaciju sintetisanih nanoprahova magnezijum-ortotitanata čistog, dopiranog jonima retkih zemalja i prelaznih metala, kao i površinski modifikovanog primenom bidentnih benzenovih derivata, pomoću katehola i 5-amino salicilne kiseline. Dobijeni podaci su analizirani i obrađeni i na osnovu rezultata odabrani su modeli koji najbolje opisuju ispitivane sisteme. Metode ispitivanja strukturnih, optičkih i fotokatalitičkih svojstava materijala koje su korišćene u ovom radu su:

- Termogravimetrija (TG) pratila je promenu mase uzorka sa kontrolisanom promenom temperature u kontrolisanom okruženju, a diferencijalna termijska analiza (DTA) rađena je u cilju utvrđivanja karakterističnih temperatura na kojima se odigravaju procesi u čvrstom stanju;
- (FTIR) Infracrvena spektroskopija sa Furijeovom transformacijom, korišćena je u analizi jer omogućava detekciju funkcionalnih grupa na osnovu položaja apsorpcionih traka i identifikaciju organskih jedinjenja.
- Određivanje faznog sastava napravljenih uzoraka rađeno je analizom rendgenske difrakcije (XRD). Dobijeni eksperimentalni rezultati obrađeni su Rietveld-ovom punoprofilnom metodom u programu Topas Akademik;
- Morfološka karakterizacija površine materijala rađena je skenirajućim elektronskim mikroskopom, a osnove rada skenirajućeg elektronskog mikroskopa sastoje se od skeniranja površine ispitivanog uzorka vrlo precizno fokusiranim snopom elektrona. Pomoću energetske-disperzione spektroskopije X-zraka (EDX) pomoću određen je sastav uzorka i njegova homogenost po površini;
- Za mikrostrukturnu analizu na lokalnom nivou u ovom radu urađena je transmisiona elektronska mikroskopija (TEM). Atomi sastav dobijenih materijala je određen korišćenjem spektroskopije gubitka energije elektrona (EELS).
- Za merenje optoelektronskih svojstava materijala korišćena je fotoluminescentna spektroskopija (PL) koja pruža detaljne informacije o diskretnim elektronskim stanjima, različitim defektima, prelazima elektrona i energetskim nivoima ukoliko se na materijal primeni izvor svetlosti ili pobuđivanje (eksitacija).
- Za analizu kristalnog polja korišćen je model razmene naelektrisanja (*Exchange-charge model-ECM*), nam omogućava da predstavimo parametre kristalnog polja kao zbir doprinosa naelektrisanja centralnog jona, kovalentnih efekata i efektom razmene elektrona.

- Difuzno-refleksiona spektroskopija (DRS) je metoda koja prati deo interakcije elektromagnetnog zračenja sa uzorkom i omogućava izračunavanje vrednosti energije zabranjene zone primenom Kubelka-Munk-ove teorije.
- Merenja za formiranje adsorpciono-desorpcione izoterme u ovom radu u cilju određivanja aktivne površine i poroznosti materijala izvršena su pomoću B.E.T. metode i B.H.J. metode koja se zasniva na utvrđivanju specifične površine fenomenom fizičke adsorpcije gasova na spoljnu i unutrašnju površinu poroznih materijala.

Navedene metode su adekvatne za potrebna merenja, ispitivanja i karakterizaciju sintetisanih materijala.

3.4 Primenljivost ostvarenih rezultata

Na osnovu prikazanih i do sada publikovanih rezultata proizašlih iz ove disertacije, može se zaključiti da je kandidatkinja ostvarila značajan doprinos u oblasti dobijanja novih materijala na bazi magnezijum-ortotitanata, kao i u optimizaciji uslova sinteze ovih materijala sa ciljanim strukturnim svojstvima. Rezultati i zaključci koji su izneti u disertaciji ukazuju na perspektivnost primene magnezijum-ortotitanata kao pogodne matrice za dopiranje jonima retkih zemalja i prelaznih metala, takođe je pogodan za površinsku modifikaciju adsorpcijom elektron-donorskih bidentatnih liganada. U disertaciji je posebna pažnja posvećena primeni i ovi materijali predstavljaju odličan izbor kao luminescentni i fotokatalitički materijali.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidatkinja Mina Medić je tokom izrade ove doktorske disertacije pokazala samostalnost u kranju i realizaciji eksperimenta, kao i analizi i obradi rezultata. Uspešna primena savremenih naučnih saznanja i metoda, kao i pokazana zrelost u pristupu i realizaciji istraživanja ukazuju da je kandidatkinja sposobna za dalji samostalan naučnoistraživački rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1 Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

U doktorskoj disertaciji ostvareni su sledeći naučni doprinosi:

- Optimizacija, modifikacija i efikasnost sol-gel postupaka sinteze čestica magnezijum-ortotitanata od svega nekoliko nanometara;
- Magnezijum-ortotitanat sintetisan na ovaj način predstavlja pogodnu matricu za dopiranje jonima retkih zemalja i prelaznih metala, pa su u ovaj materijal efikasno inkorporirani Eu^{3+} , Sm^{3+} i Mn^{4+} , koji ispoljavaju svoja optička svojstva što im omogućava primenu kao luminescentnih materijala;
- Prvi put su ispitivane katalitičke aktivnosti magnezijum-ortotitanata i pokazana su efikasna fotokatalitička svojstva ovog materijala;

- U cilju pomeranja praga apsorpcije magnezijum-ortotitanata u vidljivu oblast spektra vršeno je bojenje supstancama osetljivim na svetlost. Utvrđeno je da se površinskom modifikacijom magnezijum-ortotitanata primenom organskih molekula, bidentnih benzenovih derivate, tj. katehola i 5-aminosalicilne kiseline, pospešuje fotokatalitička aktivnost ovih materijala;
- Dobijeni materijali su detaljno okarakterisani, utvrđivana su strukturna, morfološka, optička i fotokatalitička svojstva sintetičnih materijala, što je veliki doprinos kada se ima u vidu njihova praktična primena kao luminescentnih i fotokatalitičkih materijala;
- Rezultati karakterizacije dobijenih materijala dali su značajan doprinos razumevanju korelacija između sinteze, strukture i svojstava materijala kao i primene.

4.2 Kritička analiza rezultata istraživanja

Istraživanja u okviru disertacije koncipirana su na osnovu jasno definisanih ciljeva i detaljne analize literaturnih podataka. Poslednjih godina istraživanja su usmerena u pravcu povećanja efikasnosti luminescentnih materijala i fotokatalizatora te su zbog toga glavni naučni ciljevi istraživanja u okviru ove doktorske disertacije usmereni na sintezu, karakterizaciju i primenu nedopiranih, dopiranih i površinski modifikovanih nanoprahova. Uvidom u dostupnu literaturu iz ove oblasti istraživanja i rezultate istraživanja dobijene u okviru ove doktorske disertacije, uočeno je da dobijeni rezultati predstavljaju korak za dalji razvoj i potencijalnu primenu nanočestica na bazi magnezijum-ortotitanata. U tezi je primenjena savremena metodologija istraživanja i karakterizacije i po prvi put su detaljno ispitana fotokatalitička svojstva magnezijum-ortotitanata. Pored toga, optimizovana je sinteza dobijanja Mg_2TiO_4 nanočestica i detaljno su analizirana luminescentna svojstva materijala u odnosu na rezultate drugih autora dobijenih za slične eksperimentalne sisteme. Može se konstatovati i da pojedini rezultati, naročito oni koji se odnose na novu upotrebu, predstavljaju značajan iskorak u odnosu na do sada objavljene radove drugih autora. Takođe se može primetiti da su dobijeni veoma obećavajući rezultati u pogledu potencijalne praktične primenene sintetičnih luminescentnih i fotokatalitičkih materijala u oblastima optike, medicinske dijagnostike, zaštite životne sredine i obnovljivih izvora energije.

4.3 Verifikacija rezultata u časopisima i saopštenjima na konferencijama

Kandidatkinja dipl. inž. Mina Medić do sada je, kao autor i koautor objavila i saopštila sledeće radove koji uključuju i rezultate proizašle iz rada u ovoj disertaciji:

Radovi objavljeni u vrhunskom međunarodnim časopisu (M21)

1. **Medić, M.**, Brik, M., Dražić, G., Antić, Ž., Lojpur, V., Dramićanin, M.: Deep-Red Emitting Mn^{4+} Doped Mg_2TiO_4 Nanoparticles, -*Journal of Physical Chemistry C*, vol 119, no. 1, pp. 724-730, 2015 (**IF=4.772**) (ISSN 1932-7447)
2. Lojpur, V., Nikolić, M., Jovanović, D., **Medić, M.**, Antić, Ž., Dramićanin, M.: Luminescence Thermometry with $Zn_2SiO_4 : Mn^{2+}$ Powder, -*Applied Physics Letters*, vol 103, pp. 141912, 2013 (**IF=3.515**) (ISSN 0003-6951)
3. **Medić, M.**, Antić, Ž., Đorđević, V., Ahrenkiel, P., Marinović-Cincović, M., Dramićanin, M.: Effect of annealing on luminescence of Eu^{3+} - and Sm^{3+} - doped Mg_2TiO_4 nanoparticles, -*Journal of Luminescence*, doi:10.1016/j.jlumin.2015.06.007 2015 (**IF=2.719**) (ISSN 0022-2313)

- Lojpur, V., Čulubrk, S., **Medić, M.**, Dramićanin, M.: Luminescence Thermometry with Eu^{3+} doped GdAlO_3 , -*Journal of Luminescence*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jlumin.2015.06.032>, 2015, (IF=2.719) (ISSN 0022-2313)

Radovi objavljeni u časopisu međunarodnog značaja (M23)

- Lojpur, V., Antić, Ž., Krsmanović, R., **Medić, M.**, Nikolić, M., Dramićanin, M.: Thermographic properties of Eu^{3+} and Sm^{3+} doped Lu_2O_3 nanophosphor, -*Journal of the Serbian Chemical Society*, vol 77, no. 12, pp. 1735 – 1746, 2012 (IF=0.934) (ISSN 0352-5139)
- Vuković, K., **Medić, M.**, Sekulić, M., Dramićanin, M.: Analysis of Eu^{3+} emission from Mg_2TiO_4 nanoparticles by Judd-Ofelt theory, -*Advances in Condensed Matter Physics*, 2015, (IF= 1.175) (ISSN 1687-8108)

Saopštenje sa međunarodnog skupa stampano u izvodu (M34)

- Lojpur, V., Nikolic, M., **Medic, M.**, Mancic, L., Milosevic, O., Dramićanin, M.: „Low temperature sensitivity of upconversion emission in $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Yb},\text{Tm}$ and $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Yb},\text{Ho}$ powders“, Shanghai, China, 5 – 7 august, 2012 pp.90
- Čulubrk, S., Lojpur, V., Matović, B., **Medić, M.**, Nikolić, M., Dramićanin, M.: „Effects of annealing in structure and luminescent properties of $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ nanoparticles prepared by self-propagating room temperature reaction“, TIM Timisoara, 27-30 November 2012, pp.123
- Medić, M.**, Nikolić, M., Lojpur, V., Mančić, L., Milošević, O., Dramićanin, M., „Thermographic properties of up-conversion emission of $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Yb}$, Er nanophosphors obtained through hydrothermal synthesis“, Material Research Society Conference, San Francisco USA, 1 – 5 April 2013
- Medić, M.**, Nikolić, M., Jovanović, D., Antić, Ž., Lojpur, V., Dramićanin, M., „Luminescence temperature sensing using $\text{Zn}_2\text{SiO}_4:\text{Mn}^{2+}$ phosphor particles“, Yucomat, Herceg Novi, Montenegro, 2 – 6 September 2013, pp.110
- Medic, M.**, Antić, Ž., Lojpur, V., Culubrk, S., Dramićanin, M.: „Synthesis, Structure and Luminescent Properties of Undoped and Eu^{3+} - doped Mg_2TiO_4 nanoparticles“, Nanosmat, Houston, USA, May 2014. pp.70
- Jovanović D., Čulubrk S., Gavrilović T., **Medić M.**, Lojpur V., Dramićanin M.: “Synthesis and Luminescence Properties of Colloidal $\text{GdVO}_4:\text{Re}^{3+}$ ($\text{Re}^{3+}=\text{Eu}^{3+},\text{Dy}^{3+},\text{Nd}^{3+}$)”, Paccon 2015, Thailand, 2015, pp. 210.
- Lojpur V., Čulubrk S., **Medić M.**, Antić Ž., Dramićanin M.:” Effest of Eu^{3+} - Dopant Concentration on Structural and Luminescence Properties of SrY_2O_4 Nanocrystalline Phosphor”, Paccon 2015, Thailand 2015., pp. 210.
- Čulubrk S., Lojpur V., **Medić M.**, Dramićanin M.: “Synthesis and Luminescent Properties of Dy^{3+} and Tm^{3+} Doped $\text{Gd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ ”, Paccon 2015, Thailand 2015, pp. 211.

9. **Medić M.**, Brik M., Antić Ž., Lojpur V., Dramićanin M.: “Crystal Field Analysis of Mn⁴⁺ Emission in Mg₂TiO₄ Nanoparticles”, Paccon 2015, Thailand 2015., pp. 220
10. **Medić, M.**, Lojpur, V., Antić, Ž., Dramićanina, M.: “Synthesis, structure and luminescent properties of Eu³⁺- doped Zn₂TiO₄ nanoparticles”, ICOM - The 4th International Conference on the Physics of Optical Materials and Devices, 31st August to 4th September 2015, Budva, Montenegro
11. **Medić, M.**, Vasić, M., Zarubica, A., Trandafilović, L., Dramićanin D. M., Nedeljković, M. J.: “Photocatalytic performance of Mg₂TiO₄ nanopowder”, ICOM - The 4th International Conference on the Physics of Optical Materials and Devices, 31st August to 4th September 2015, Budva, Montenegro

Rad u tematskom zborniku vodećeg međunarodnog značaja (M13)

1. Ćulubrk, S., Lojpur, V., **Medić, M.**, Dramićanin, M.: “Eu³⁺ Doped Gd₂Ti₂O₇ nanoparticles as a luminescence thermometry probes”, Chapter 35. Testing and Measurement: Techniques and Applications, *Proceedings of the 2015 International Conference on Testing and Measurement Techniques (TMTA 2015)*, 16-17 January 2015, Phuket Island, Thailand, Edited by Kennis Chan, CRC Press 2015, Pages 159–162, (Print ISBN: 978-1-138-02812-8), (eBook ISBN: 978-1-315-68493-2), DOI: 10.1201/b18470-39
2. Lojpur, V., Milićević, B., **Medić, M.**, Ćulubrk, S., Dramićanin, M.: “Temperature sensing from luminescence of Eu³⁺ - doped YAlO₃ ceramics”, Chapter 89. Testing and Measurement: Techniques and Applications, *Proceedings of the 2015 International Conference on Testing and Measurement Techniques (TMTA 2015)*, 16-17 January 2015, Phuket Island, Thailand, Edited by Kennis Chan, CRC Press 2015, pp. 435–439, (Print ISBN: 978-1-138-02812-8), (eBook ISBN: 978-1-315-68493-2), DOI: 10.1201/b18470-96

Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u izvodu (M64)

1. **Medić, M.**, Antić, Ž., Lojpur, V., Dramićanin, M.: „Luminiscenca Mn²⁺ i Eu³⁺ jona u Mg₂TiO₄ nanočesticama“, Sedma radionica fotonike, Kopaonik, 10.- 14. Mart 2014. pp. 12

Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini (M63)

1. Antić Ž., Lojpur V., Krsmanović R.M., **Medić M.**, Ćulubrk S., Nikolić M.G., Dramićanin M.D.: „Tomografska svojstva Eu³⁺ i Sm³⁺ dopiranog Lu₂O₃ nanofosfora“, ETRAN 2013, Zlatibor 2013, Srbija, pp. 74.

Rezultati iz ove doktorske Disertacije publikovani su u okviru dva rada u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21-1, M21-3), jednog rada u časopisu međunarodnog značaja (M23-2) i u četiri prezentacije na nučnim skupovima (M34-5, M34-9, M34-11, M64-1).

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Rezultati istraživanja u okviru ove doktorske disertacije daju veliki doprinos povećanju nivoa znanja u oblasti luminescentnih i fotokatalitičkih materijala. Kandidat dipl. inž. Mina Medić je pokazala stručnost, samostalnost i sistematičnost u toku izrade doktorske disertacije, pa Komisija smatra da poseduje sve kvalitete neophodne za samostalni naučno-istraživački rad. Na osnovu svega izloženog, Komisija smatra da doktorska disertacija, dipl. inž. Mine Medić, pod nazivom: „Multifunkcionalne nanočestice magnezijum-ortotitanata dopiranog jonima retkih zemalja i prelaznih metala“, predstavlja značajan i originalan naučni doprinos u naučnoj oblasti Tehnološko inženjerstvo – Inženjerstvo materijala, što je potvrđeno objavljivanjem radova u vrhunskim naučnim časopisima međunarodnog značaja i saopštenjima na međunarodnim skupovima. Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta da se doktorska disertacija pod nazivom: „Multifunkcionalne nanočestice magnezijum-ortotitanata dopiranog jonima retkih zemalja i prelaznih metala“ dipl. inž. Mine Medić, prihvati, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu, te da se nakon završetka ove procedure kandidat pozove na usmenu odbranu disertacije pred Komisijom u istom sastavu.

ČLANOVI KOMISIJE:

Dr Đorđe Janačković, red. prof

Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Miroslav D. Dramićanin, red. prof

Univerzitet u Beogradu, Fizički fakultet

Naučni savetnik, Institut za nuklearne nauke Vinča

Dr Rada Petrović, red. prof

Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Vesna Đorđević, naučni saradnik

Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke Vinča