

Fakultet za fizičku hemiju

Univerzitet u Beogradu

11000 Beograd

NASTAVNO – NAUČNOM VEĆU FAKULTETA ZA FIZIČKU HEMIJU

Predmet:

Izveštaj Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Ljiljane Veselinović, magistra tehničkih nauka

Odlukom Nastavno-naučnog veća Fakulteta za fizičku hemiju, sa 7. redovne sednice održane 14.4.2016. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Ljiljane Veselinović, magistra tehničkih nauka, pod naslovom „**Kristalna struktura i električne karakteristike $\text{BaTi}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$ i $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{Ru}_x\text{O}_{12}$ perovskitnih materijala**“.

Kandidat Ljiljana Veselinović je izradu doktorske disertacije prijavila na Fakultetu za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu 9.12.2014. godine. Izrada disertacije pod navedenim naslovom je odobrena odlukom Nastavno-naučnog veća sa 3. redovne sednice održane 11.12.2014. godine, a saglasnost na predlog teme doktorske disertacije Ljiljane Veselinović data je na sednici Veća naučnih oblasti prirodnih nauka Univerziteta u Beogradu koja je održana 26.2.2015. godine. Nakon čitanja podnete doktorske disertacije podnosimo Nastavno-naučnom veću sledeći:

IZVEŠTAJ

A. Prikaz sadržaja doktorske disertacije

Doktorska disertacija mr Ljiljane Veselinović pod navedenim naslovom predstavljena je na 127 strana kucanog teksta i sadrži sledeće celine: Izvod (2 strane), Abstract (2 strane), Uvod (3 strane), Teorijski deo (41 strana), Cilj istraživanja (1 strana), Eksperimentalni deo (6 strana), Rezultati i

diskusija (59 strana), Zaključak (3 strane) i Literatura sa 127 literaturnih podataka (8 strana). Na kraju je priložena Bibliografija autora.

Disertacija sadrži ukupno 59 slika (22 slike u Teorijskom delu, 1 slika u Eksperimentalnom delu, 36 slika u delu u kom su predstavljeni Rezultati i diskusija). Disertacija sadrži i 2 tabele u Teorijskom delu, 15 tabela u delu u kom su predstavljeni Rezultati i diskusija.

U Uvodu je dat kratak prikaz značaja i aktuelnosti problematike rada i predmet i cilj urađenih istraživanja.

U Teorijskom delu opisana su osnovna fizičko-hemijska i kristalografska svojstva perovskitnih materijala ABO_3 tipa kao i složenih perovskita $AC_3B_4O_{12}$ tipa. Predstavljeni su i osnovni principi metoda karakterizacije korišćenih u ovoj doktorskoj disertaciji. Takođe, dat je pregled stanja u oblasti tj. predstavljeni su rezultati iz literature koji se odnose na primenu perovskitnih materijala proučavanih u okviru ove doktorske disertacije. Definisani su osnovni pojmovi od značaja za uspostavljanje korelacije između električnih karakteristika i kristalne strukture ovih materijala.

U poglavlju Cilj rada prikazani su osnovni ciljevi istraživanja u okviru ove doktorske disertacije.

U Eksperimentalnom delu je dat prikaz primenjenih eksperimentalnih procedura, korišćenog materijala i instrumentalnih metoda za karakterizaciju proučavanih prahova perovskita.

U poglavlju Rezultati i diskusija predstavljeni su dobijeni rezultati pri čemu je uspostavljena korelacija strukturnih osobina i faznih transformacija sa promenom električnih svojstava proučavanih materijala. Ovo poglavlje se sastoji od dve celine. U prvom delu su prikazani rezultati proučavanja strukturnih karakteristika primenom rendgenske i neutronske difrakcione analize, kao i električnih svojstava barijum titanat stanatnih (BTS) materijala. Drugi deo se odnosi na strukturnu analizu $CaCu_3Ti_{4-x}Ru_xO_{12}$ perovskitnih materijala i ispitivanje njihovih električnih svojstava.

U Zaključku su sumirani rezultati doktorske disertacije.

B. Prikaz postignutih rezultata

U ovoj doktorskoj tezi proučavane su promene strukturnih svojstava serije čvrstih rastvora $\text{BaTi}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$, gde je $x = 0; 0,025; 0,05; 0,07; 0,10; 0,12; 0,15$ i $0,20$. Ovaj niz BTS materijala pokazao se kao dovoljan da se, pomoću eksperimentalnih metoda koje su primenjene, prikupi dovoljno podataka koji ukazuju na to kako se menjaju strukturne i mikrostrukturne karakteristike ovog perovskita s postepenim porastom sadržaja kalaja uz istovremeno smanjenje sadržaja titanijuma. Strukturne karakteristike korelisane su sa električnim karakteristikama ovih materijala koje su već poznate za ovaj niz čvrstih rastvora. Svi BTS materijali sintetisani su reakcijom u čvrstom stanju.

Detaljna analiza kristalne strukture urađena je na osnovu strukturnog utačnjavanja podataka prikupljenih rendgenskom difrakcijom sa polikristalnih uzoraka Ritveldovom metodom. Dobijeni rezultati pokazuju da porast sadržaja kalaja u $\text{BaTi}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$ kristalnoj strukturi uslovljava postepenu transformaciju kristalne strukture od tetragonalne ka kubnoj. Utačnjene vrednosti parametara zauzeća kristalografskih položaja (*Occ*) pokazuju da je katjon Sn^{4+} smešten u *B* položaju, odnosno u $1a$ Wyckoff-ovom položaju. Sadržaj jona titanijuma u $\text{BaTi}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$ strukturama izračunat na osnovu utačnjenih vrednosti okupacionih faktora približno je 0, 2, 6, 7, 7, 11, 13 i 18 at. %, za prahove kod kojih je x redom 0, 0,025, 0,05, 0,07, 0,10, 0,12, 0,15 i 0,20. Na ovaj način izračunati sadržaji titanijumovih jona pokazuju dobro slaganje sa sadržajima određenim XRF metodom: 0, 2, 4, 5, 8, 10, 12 i 17 at. %.

Promene kristalne strukture kao i evolucija kristalnih faza kod BTS perovskita dodatno je potvrđena metodom visokorezolucione transmisiona elektronske mikroskopije u kombinaciji sa elektronskom difrakcijom na odabranoj površini (HRTEM-SAED).

Ramanska spektroskopija, kao metoda komplementarna rendgenskoj difrakcionoj analizi, je takođe korišćena za identifikaciju evolucije faza u zavisnosti od odnosa sadržaja Ti/Sn katjona. Ova metoda je ukazala na prisusustvo tetragonalne i malog procenta ortorombične kristalne strukture kod svih proučavanih BTS materijala, ukazujući na nižu lokalnu simetriju od simetrije na dugom dometu.

U cilju preciznijeg određivanja zavisnosti faznih transformacija i strukturnih parametara od sadržaja kalaja u BaTiO_3 strukturama korišćena je metoda neutronske difrakcije na polikristalnim

uzorcima (NPD). S obzirom da snaga rasejanja neutrona ne zavisi od atomskog broja, bilo je moguće precizno odrediti položaj lakog atoma (kiseonika) u prisustvu teškog (barijuma) u proučavanim kristalnim strukturama. Utačnjavanjem podataka prikupljenih NPD metodom, postignuta je preciznija analiza strukturnih promena i evolucije kristalne strukture BTS prahova, izazvanih: (1) promenom u odnosu Ti/Sn, i (2) promenom u temperaturi. Utačnjavanje kristalne strukture urađeno je Ritveldovom analizom prikupljenih difrakcionih podataka. Rezultati dobijeni na ovaj način pokazuju da porast sadržaja kalaja u $\text{BaTi}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$ kristalnim strukturama prouzrokuje sledeće fazne transformacije: kristalna struktura BT praha ($x=0$) najbolje slaganje pokazuje sa tetragonalnom ($P4mm$) prostornom grupom, BTS prahovi kod kojih je $0,025 \leq x \leq 0,07$ pokazuju koegzistenciju tetragonalne ($P4mm$) i ortorombične ($Amm2$) prostorne grupe, dok prahovi sa $x=0,10$ i $0,12$ pokazuju prisustvo romboedarske ($R3m$) i kubne ($Pm\bar{3}m$). Prahovi sa $x=0,15$ i $0,20$ poseduju potpuno uređenu (bez distorzija) kubnu ($Pm\bar{3}m$) strukturu. Rezultati dobijeni metodom neutronske difrakcione analize se delimično razlikuju od rezultata dobijenih rendgenskom difrakcionom analizom, što se može objasniti činjenicom da je NPD metoda pogodnija za određivanje $\text{BaTi}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$ struktura, kod kojih je teži atom (barijuma) smešten pored lakog atoma (kiseonika).

U cilju što boljeg razumevanja temperaturski izazvanih faznih transformacija u BTS materijalima, urađena je i neutronska difrakciona analiza na određenim temperaturama (110, 60 i 0 °C) za prah BTS kod koga je $x=0,5$. Ritveldova analiza podataka prikupljenih NPD metodom pokazuje faznu transformaciju od kubne ($Pm\bar{3}m$ prostorna grupa) na 110 °C, preko tetragonalne ($P4mm$ prostorna grupa) na 60 °C, do ortorombične ($Amm2$ prostorna grupa) na 0 °C. Rezultati dobijeni NPD metodom u saglasnosti su sa podacima dobijenim DSC analizom, kao i sa podacima dobijenim merenjem dielektrične permitivnosti.

Složeni perovskiti $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{Ru}_x\text{O}_{12}$ sintetisani su mehanohemijski; sadržaj rutenijuma manjan je na sledeći način: $x= 0, 2$ i 4 . Strukturnim utičnjavanjem podataka prikupljenih rendgenskom difrakcionom analizom na polikristalnim uzorcima, pokazano je da sve tri proučavane strukture kristališu u kubnoj $Im\bar{3}$ prostornoj grupi. Povećanje vrednosti parametara jediničnih ćelija i zapremina jediničnih ćelija pokazuju da je jon većeg radijusa (rutenijum) ugrađen u strukturu $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{Ru}_x\text{O}_{12}$ materijala. Povećane vrednosti međuatomskih rastojanja za

uzorke sa većim sadržajem rutenijuma takođe potvrđuju ulazak katjona većeg radijusa na mesto katjona sa manjim radijusom u ispitivanim strukturama. Kao dodatna potvrda rendgenskoj strukturnoj analizi urađena je TEM, HRTEM i FFT analiza.

Analiza električnih svojstava $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{Ru}_x\text{O}_{12}$ materijala urađena je na osnovu impedansne spektroskopije i dielektričnih merenja. Dobijeni rezultati su pokazali da se sa povećanjem sadržaja atoma rutenijema, kao metalnog jona u $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ strukturi, menjaju električne osobine ovih materijala, i to iz dielektričnih u provodne. Takođe je utvrđeno da promena stehiometrije kod $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{Ru}_x\text{O}_{12}$ perovskita ne dovodi do promene njihove kristalne strukture. Ovakva svojstva $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{Ru}_x\text{O}_{12}$ materijala su od izuzetnog značaja jer omogućavaju njihovu specifičnu primenu u elektronskoj industriji.

C. Uporedna analiza rezultata disertacije sa rezultatima iz literature

S obzirom na relativno veliku vrednost dielektrične permitivnosti i malu vrednost dielektričnih gubitaka, BTS materijali imaju potencijalnu primenu u elektronskoj industriji (Marković, S., Mitrić, M., Jovalekić, Č., Miljković, M. (2007). *Mat. Sci. Forum*, **555**; 249–254. Marković, S., Mitrić, M., Cvjetičanin, N., Uskoković, D. (2007). *J. Eur. Ceram. Soc.* **27**, 505–509; Wei, X., Yao, X. (2007). *Mat. Sci. Eng.* **B137**, 184–188; Cai, W., Fan, Y., Gao, J. Fu, C., Deng, X. (2011). *J. Mater. Sci.: Mater. Electron*, **22**, 265–272). Ovi materijali mogu da se koriste za proizvodnju kondenzatora, kao i funkcionalno gradijentnih materijala (FGMi, u obliku monolitne keramike sa uniaksialnim piezoelektričnim koeficijentom i/ili dielektričnim koeficijentom). BTS FGMi su veoma korisni jer imaju širok temperaturni prelaz kao i relativno veliku dielektričnu konstantu u širokom temperaturskom opsegu (Marković, S., Uskoković, D. (2009). *J. Eur. Ceram. Soc.* **29**, 2309–2316; Marković, S., Jovalekić, Č., Veselinović, Lj., Mentus, S., Uskoković, D. (2010). *J. Eur. Ceram. Soc.* **30**, 1427–1435; Marković, S., Mitrić, M., Jovalekić, Č., Miljković, M. (2007). *Mat. Sci. Forum*, **555**; 249–254).

Cilj ove doktorke disertacije bio je da se utvrdi zavisnost dielektričnih svojstava BTS materijala od kristalne strukture i faznog sastava izazvanih promenom u Ti/Sn odnosu. U literaturi postoji postoji veliki broj radova koji se bavi ovom problematikom, proučavanjem uticaja

stehiometrije na dielektrična svojstva BTS materijala, međutim, do danas nisu detaljno određeni strukturni parametri i fazni sastav $\text{BaTi}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$ materijala i njihov uticaj na dielektrične karakteristike. Iako je osnovna struktura perovskita ABX_3 tipa poznata još od sredine prošlog veka (Kay, H. F., Bailey, P. C. (1957). *Acta Cryst.* **10**, 219-226), ova grupa materijala okupira pažnju kristalografa i do današnjih dana (Glazer, A. M. (1972). *Acta Cryst.* **B28**, 3384-3392; Glazer, A. M. (1975). *Acta Cryst.* **A31**, 756-762; Thomas, N. W. (1989). *Acta Cryst.* **B45**, 337-344; Thomas, N. W. (1996). *Acta Cryst.* **B52**, 16-31; Woodward, P. M., (1997a). *Acta Cryst.* **B53**, 32-43; Woodward, P. M. (1997b). *Acta Cryst.* **B53**, 44-66). Kod materijala na bazi barijum titanata se najčešće javljaju fine strukturne promene, slabo izražene, koje predstavljaju samo blaga odstupanja od kubnog aristotipa. Upravo zato, jasno određivanje simetrije i strukture ovih materijala može da bude veoma zahtevan posao. Tesno povezane sa strukturnim varijacijama su i strukturne fazne transformacije koje se javljaju kao posledica promene temperature, pritiska ili stehiometrije (Howard, C. J., Stokes, H. T. (2005). *Acta Cryst.* **A61**, 93–111).

Da bi se odredile fine strukturne promene, koje imaju značajnu ulogu u objašnjenju faznih transformacija u BTS sistemima, bilo je neophodno, pored rendgenske difrakcije analize koristiti i metodu neutronske difrakcije, koja daje dobre rezultate u određivanju međuatomskih rastojanja i položaja lakih atoma (kao što je kiseonik) u prisustvu teškog atoma (kao što je barijum). Strukturne karakteristike korelisane su sa električnim karakteristikama ovih materijala koje su već poznate za ovaj niz čvrstih rastvora.

Perovskiti sa jonom Ti^{4+} u B položaju, kao što su $(\text{Ba,Sr})\text{TiO}_3$ ili SrTiO_3 poseduju velike vrednosti dielektrične konstante, ϵ , zbog čega imaju značajnu primenu u proizvodnji kondenzatora. Jedan od načina da se smanji veličina kondenzatora, a da pri tom kapacitivnost ostane nepromenjena jeste da se poveća vrednost dielektrične konstante izolatora. Poznato je da čist barijum titanat poseduje veliku dielektričnu konstantu posebno u blizini temperature faznog prelaza iz feroelektrika u paraelektrik, poznate kao Kirijeva tačka ($T_c = 120$ °C). Međutim, da bi ovi materijali imali široku primenu u elektroindustriji, neophodno je temperaturu faznog prelaza T_c pomeriti ka sobnoj temperaturi. Istraživanja su pokazala da se uvođenjem različitih izovalentnih katjona u strukturu BaTiO_3 (BT) može postići značajno povećanje dielektrične konstante i sniženje temperature faznog prelaza feroelektrik-paraelektrik (Helmont, Von R., Wecker, J., Holzapfel, B.,

Schultz, L., Samwer, K. (1993). *Phys. Rev. Lett.* **71**, 2332; Wu, M. K., Ashburn, J. R., Torng, C. J., Hor, P. H. Meng, R. L., Gao, L., Huang, Z. J. Wang, Y. Q., Chu, C. W. (1987). *Phys. Rev. Lett.* **58**, 908; Sleight, J. Li, A. W., Subramanian, M. A. (2005). *Solid State Commun.* **135**, 260; Ramirez, A. P., Subramanian, M. Gardel, A. M. G. Blumberg, D. Li, T. Vogt, S. M. Shapiro(2000), *Solid State Commun.* **115**, 217.). Primećeno je da kalaj, kao jon koji se smešta u kristalografski položaj *B* u strukturi barijum titanata, značajno poboljšava dielektrične karakteristike ovih materijala. Povećanje sadržaja kalaja u strukturi BT keramika spušta feroelektričnu Kirijevu temperaturu ka sobnoj temperaturi uz istovremeno povećanje dielektrične konstante. Značaj čvrstih rastvora $BaTi_{1-x}Sn_xO_3$ je utoliko veći što oni mogu da se koriste i kao model sistemi na kojima se proučavaju i prikazuju feroelektrični difuzni fazni prelazi. Kao i svi feroelektrici sa difuznim faznim prelazom i BTS keramike mogu da se koriste za proizvodnju dielektričnih materijala sa velikom permitivnošću, senzora, elektromehaničkih pokretača i pretvarača (Mirsaneh, M., Hayden, B. E., Furman, E., Perini, S., Lanagan, M. T., Reaney, I. M. (2012). *Appl. Phys. Lett.* **100**, 082901; Sekhar, K. C., Hong, K. P., Key, S. H., Han, C. S., Kim, J. C., Kim, D. S., Park, J. C., Cho, Y. S. (2013). *Thin Solid Films* **527**, 267–272; Tang L., Zhai, J., Shen, B., Yao, X. (2012). *Ceram. Inter.* **38**, 4967–4971; Chen, S., Yu, S., Zhang, B., Zhang, J., Ma, B., Liu, Q., Zhang W. (2016). *Ceram. Inter.* **42**, 9341–9346).

U savremenoj mikroelektronici teži se smanjenju pasivnih komponenata, posebno kondenzatora. Iz tog razloga postoji značajan interes u proučavanju materijala koji pokazuju veoma veliku dielektričnu permitivnost (10^4 - 10^5) na sobnoj temperaturi, u frekventnoj oblasti reda kHz, a takođe i malu osetljivost na promenu temperature u temperaturskom intervalu 100-600 K (Adams, T. B., Sinclair, D. C., Ramirez A.R., (2002). *Adv. Mater* **14**, 1321; Cruz W. Si, E. M., Johnson, P.D., Barnes P. W., Woodward P., Ramirez, A. P. (2002). *Appl. Phys. Lett.* **81** 2056). Materijali koji poseduju navedene karakteristike su između ostalih i perovskitna jedinjenja kubne simetrije, opšte formule $AC_3B_4O_{12}$, gde $CaCu_3Ti_4O_{12}$ (CCTO) ima poseban značaj.

Proučavanje $AC_3B_4O_{12}$ materijala pokazalo je da se dielektrične karakteristike mogu modifikovati podešavanjem faznog sastava kao i uslova sinterovanja (podešavajući mikrostrukturu tj. gustinu i srednju veličinu zrna). Ipak, uočeno je da kontakt keramika-elektroda ima značajan uticaj na električne karakteristike; naime, ukoliko dođe do formiranja energetske barijere na kontaktu keramika-elektroda dielektrična permitivnost se značajno smanjuje.

Upotrebom materijala $\text{CaCu}_3\text{Ru}_4\text{O}_{12}$ za izradu međusloja između dielektrika i metalne elektrode moguće je prevazići ovaj problem. Ista kristalna struktura i slični parametri jedinične ćelije ovih materijala doprinose smanjenju naprezanja na spoju elektroda/dielektrik (Subramanian, M. A., Li, D., Duan, N., Reisner, B. A., Sleight, A. W. (2000). *J. Solid State Chem* **151**, 323–325, Liu, J., Smith, R. W., Mei, W.-N. (2007). *Chem. Mater.* **19**, 6020–6024, De la Rubia, M. A., Leret, P., De Frutos, J., Fernández, J. F. (2012). *J. Am. Cera. Soc.* **95** 1866–1870, Sun, D.-L., Wu, A.-Y., Yin, S.-T. (2008). *J. Am. Cera. Soc.* **91**, 169–173, Jo, S. K., Han, Y. H., (2009). *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.* **20**, 680–684.

U ovoj doktorskoj disertaciji proučavane su strukturne i električne karakteristike složenih perovskita $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{Ru}_x\text{O}_{12}$ u zavisnosti od promene sadržaja rutenijuma: $x=0, 2$ i 4 . Analiza rezultata ispitivanja strukturnih karakteristika ovih materijala pokazala je da promena stehiometrije ne izaziva promenu kristalne strukture, odnosno, svi ispitivani prahovi kristališu u kubnoj $Im\bar{3}$ prostornoj grupi. Sa druge strane električna merenja su potvrdila da se ulaskom rutenijuma na kristalografski položaj B u $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{Ru}_x\text{O}_{12}$ strukturama menjaju električne osobine ovih materijala, iz dielektričnih u provodne, što je od izuzetne važnosti za njihovu primenu.

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

Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21):

1. **Ljiljana Veselinović**, Miodrag Mitrić, Lidija Mančić, Marija Vukomanović, Branka Hadžić, Smilja Marković, Dragan Uskoković, “The effect of Sn for Ti substitution on the average and local crystal structure of $\text{BaTi}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 0.20$)”, *Journal of Applied Crystallography* (2014). **47**, 999–1007A.
2. Smilja Marković, Čedomir Jovalekić, **Ljiljana Veselinović**, Slavko Mentus, Dragan Uskoković, “Electrical properties of barium titanate stannate functionally graded materials”, *Journal of the European Ceramic Society* **30** (2010) 1427–1435.

3. **Ljiljana Veselinović**, Miodrag Mitrić, Maxim Avdeev, Smilja Marković, Dragan Uskoković, “New insights into $\text{BaTi}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 0.20$) crystal structure based on refinement of NPD data” podnet u *Journal of Applied Crystallography*, na recenziji od 01.04.2016.

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u izvodu (M34):

1. S. Marković, **Lj. Veselinović**, A. Garaj, N. Cvjetičanin, S. D. Škapin, D. Uskoković, Influence of sintering atmosphere on the crystal structure, microstructure, dielectric and optical properties of $\text{BaTi}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$ ($x = 0, 0.05$ and 0.1) ceramics, *Seventeenth Annual Conference, YUCOMAT 2015*, Herceg Novi, Montenegro, August 31 – September 4, 2015, Book of Abstracts, p. 14.
2. **Lj. Veselinović**, S. Marković, M. Lukić, L. Mančić, S.D. Škapin, M. Mitrić, D. Uskoković, Structural Investigation of $\text{CaCu}_3\text{B}_4\text{O}_{12}$ ($\text{B} = \text{Ti}, \text{Ru}$), *Sixteenth Annual Conference, YUCOMAT 2014*, Herceg Novi, Montenegro, September 1 – 5, 2014, Book of Abstracts, p. 67.
3. **Lj. Veselinović**, M. Mitrić, M. Vukomanović, S. Marković, D. Uskoković, Rietveld Refinement of Barium Titanate Stannate Crystal Structure, *Thirteenth Annual Conference, YUCOMAT 2011*, Herceg Novi, Montenegro, September 5 – 9, 2011, Book of Abstracts, p. 136.
4. Lj. Veselinović, M. Mitrić, **S. Marković**, D. Uskoković, XRD and Vibrational Spectroscopy Investigation of $\text{BaTi}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$ Solid Solutions, *Twelfth Annual Conference, YUCOMAT 2010*, Herceg Novi, Montenegro, September 6 – 10, 2010, Book of Abstracts, p. 89.

E. Zaključak komisije

Na osnovu prikazanog Izveštaja, može se zaključiti da rezultati kandidata mr Ljiljane Veselinović predstavljaju originalan i značajan naučni doprinos proučavanju faznog sastava perovskitnih materijala koji su značajni zbog izuzetnih električnih karakteristika. Poseban naučni doprinos ove teze sastoji se u uspostavljanju korelacije između električnih karakteristika sa faznim sastavom tj kristalnom strukturom navedenih materijala.

Delovi teze kandidata objavljeni su u dva rada u vodećim međunarodnom časopisima.

Zbog svega navedenog predlažemo Nastavno–naučnom veću Fakulteta za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu da doktorsku disertaciju kandidata mr Ljiljane Veselinović pod naslovom „**Kristalna struktura i električne karakteristike $\text{BaTi}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$ i $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{Ru}_x\text{O}_{12}$ perovskitnih materijala**“ prihvati i odobri njenu odbranu, čime bi bili ispunjeni svi uslovi da kandidat stekne zvanje doktora fizičko-hemijskih nauka.

ČLANOVI KOMISIJE:

Prof. dr Nikola Cvjetićanin, mentor

redovni profesor

Fakultet za fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu

dr Smilja Marković, mentor

viši naučni saradnik

Institut tehničkih nauka Srpske akademije nauka i umetnosti

dr Miodrag Mitrić

naučni savetnik

Institut za nuklearne nauke "Vinča"

Prof. dr Ljiljana Damjanović

vanredni profesor

Fakultet za fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu

U Beogradu,

13. 06. 2016. god.