

**Nastavno-naučnom veću
Tehnološko-metalurškog fakulteta
Univerziteta u Beogradu**

Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta održanoj 10. 07. 2012. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Jelene D. Bobić, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom:

“Uticaj parametara sinteze i dopanata na strukturu i svojstva barijum bizmut-titanatne keramike”.

Posle pregleda i analize dostavljenog materijala, Komisija podnosi sledeći

I Z V E Š T A J
o urađenoj doktorskoj disertaciji

1. UVOD

Naslov i obim disertacije

Doktorska disertacija pod naslovom “Uticaj parametara sinteze i dopanata na strukturu i svojstva barijum bizmut-titanatne keramike” kandidatkinje Jelene Bobić, dipl. inž. tehnologije, napisana je na 117 strana standardnog A4 formata, sadrži 12 tabela i 78 slika i podeljena je u 5 poglavlja. Na početnim stranama disertacije dat je uvod, zatim Poglavlje 1 koje obuhvata teorijski deo rada, Poglavlje 2 eksperimentalni deo, Poglavlje 3 rezultate i diskusiju, zatim je u Poglavlju 4 dat zaključak i na kraju, pregled literature u okviru Poglavlja 5. Po svojoj formi i sadržaju, podneti rad zadovoljava sve standarde za doktorsku disertaciju.

Hronologija odobravanja i izrade disertacije

- 23. 06. 2011. godine - na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta doneta je Odluka o prihvatanju predloga teme doktorske disertacije Jelene Bobić, dipl. inž. tehnologije, pod naslovom „Uticaj parametara sinteze i dopanata na strukturu i svojstva barijum bizmut-titanatne keramike” a za mentora je imenovan dr Đorđe Janačković, redovan profesor TMF.
- 08. 07. 2011. godine - na sednici Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije Jelene Bobić, dipl. inž. tehnologije, pod naslovom „Uticaj parametara sinteze i dopanata na strukturu i svojstva barijum bizmut-titanatne keramike”

- 10. 07. 2012. - na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta doneta je Odluka o imenovanju članova Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije Jelena Bobić, dipl. inž. tehnologije, pod naslovom „Uticaj parametara sinteze i dopanata na strukturu i svojstva barijum bizmut –titanatne keramike”

Mesto disertacije u odgovarajućoj naučnoj oblasti

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Hemija i hemijska tehnologija za koju je matičan Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu.

Biografski podaci o kandidatu

Jelena Bobić je rođena 04. septembra 1981. godine u Virovitici, Hrvatska. I Zemunsku gimnaziju, prirodno-matematičkog smera završila je 2000. godine u Beogradu. Nakon toga upisuje Tehnološko-metalurški fakultet u Beogradu na smeru Neorganska hemijska tehnologija, odsek Analitička kontrola. Studije završava u septembru 2006. godine sa prosečnom ocenom 8,50. Doktorske akademske studije započinje školske 2006/2007. godine na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na smeru Hemija i inženjerstvo materijala, odsek Keramički materijali. Sa prosečnom ocenom 9,70 položila je sve ispite predviđene planom i programom. 1. decembra 2006. godine zaposlila se kao istraživač pripravnik u Centru za multidisciplinarne studije Univerziteta u Beogradu (sada Institut za multidisciplinarna istraživanja Univerziteta u Beogradu), gde 2008. godine dobija zvanje istraživač-saradnik. Reizabrana je u isto zvanje 2012. Član je Društva za keramičke materijale Srbije.

Oblast istraživanja kandidata su nauka o materijalima i fizika čvrstog stanja, a uža oblast je sinteza i karakterizacija elektronskih materijala. U toku dosadašnjeg rada na projektima Ministarstva i međunarodnim projektima COST 539 i COST MP0904 u svojstvu autora i koautora objavila je 9 radova u časopisima od međunarodnog značaja i imala veći broj saopštenja na međunarodnim konferencijama.

2. OPIS DISERTACIJE

Struktura i sadržaj disertacije

Doktorska disertacija Jelene Bobić sadrži sledeća poglavlja: Uvod, Teorijski deo, Eksperimentalni deo, Rezultati i diskusija, Zaključak i Literaturu. Na početku disertacije dat je izvod na srpskom i engleskom jeziku.

Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U uvodnom delu je istaknut uticaj strukture na svojstva materijala na različitim nivoima: elektronskom, kristalnom, mikro i makro nivou. Takođe, dat je osvrt na značaj određivanja

zavisnosti između sinteze, strukture i svojstava materijala, kao i izbor tehnološkog procesa u cilju dobijanja novih materijala sa unapred zadatim svojstvima koji mogu da nađu odgovarajuću primenu u složenim proizvodnim sistemima. U uvodnom delu su takođe jasno predstavljeni ciljevi ove doktorske disertacije.

Teorijski deo disertacije sastoji se iz četiri poglavlja: Struktura feroelektričnih materijala, Feroelektrični materijali, Metode sinteze praha $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ i Proces dobijanja i primene keramike $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$.

U poglavlju Struktura feroelektričnih materijala detaljno je opisana i analizirana struktura različitih tipova feroelektričnih materijala. Akcenat je dat na perovskitne i anizotropne kristalne strukture Aurivilijusovih jedinjenja kojoj pripada ispitivani barijum bizmut-titanat. S obzirom na složenost strukture, predstavljena je stabilnost $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ kroz faktor stabilnost, kako perovskitnih tako i Aurivilijusovih jedinjenja radi njihovog poređenja. Dat je i detaljan pregled literature o promeni strukture tokom fazne transformacije barijum bizmut-titanata.

U poglavlju Feroelektrični materijali opisana su feroelektrična svojstva materijala, odnosno sposobnost promene polarizacije kao glavno obeležje feroelektričnih materijala. Istaknut je značaj i karakter domenske strukture, a na osnovu predstavljene histerezisne petlje objašnjeni su domenski procesi koji se odvijaju u materijalu pod uticajem električnog polja. Takođe su prikazana dielektrična i električna svojstva sa akcentom na relaksorska svojstva faznog prelaza feroelektričnih materijala.

U trećem poglavlju dat je pregled mogućih načine sinteze barijum bizmut-titanata, gde je znatno veći značaj dat mehaničkoj aktivaciji kao metodi koja se poslednjih decenija dosta koristi kao tehnika za sintezu oksidnih prahova ili pak kao prekusorska tehnika termičkim reakcijama u čvrstom stanju. Predstavljene su sve vrste mlinova sa osvrtom na planetarni mlin korišćen za sintezu prahova u ovoj disertaciji.

U četvrtom poglavlju opisan je proces sinterovanja kao proces dobijanja guste keramike željene mikrostrukture i sastava. Takođe je prikazan i savremeni pristup procesiranja barijum bizmut-titanate keramike, kao i primena ovog materijala u elektronici. Ukazano je i na nedostatke ove keramike, čiji će pokušaj otklanjanja biti glavna tema ovog istraživanja u cilju bolje visoko-temperaturne piezoelektrične primene materijala.

Eksperimentalni deo se sastoji iz dva dela, gde su dati podaci o upotrebljenim reaktantima, kao i detaljan opis sinteze praha i keramike barijum bizmut-titanata. Prikazane su metode karakterizacije praha: rendgenostrukturalna analiza, skenirajuća elektronska mikroskopija, BET metoda i analiza veličine čestica korišćenjem laserske difrakcije. Keramika je karakterisana rendgensko-difrakcionom analizom (XRD), skenirajućom elektronskom mikroskopijom (SEM), dielektričnim i električnim merenjima iz koga su računskim putem dobijeni rezultati impedansnih merenja.

Rezultati i diskusija se sastoje od četiri poglavlja: Analiza uticaja mehaničke aktivacije na strukturne i mikrostrukturne karakteristike $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ praha, Strukturna karakterizacija

prahova $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dopiranih lantanom i niobijumom, Karakterizacija barijum bizmut-titanatne keramike i Uticaj dopanata na svojstva barijum bizmut-titanata.

U prvom poglavlju praćena je promena faznog sastava smeše oksida (Bi_2O_3 , TiO_2 i BaO) tokom sinteze barijum bizmut-titanata konvencionalnom metodom reakcije u čvrstom stanju. Rezultati pokazuju da se na $850\text{ }^\circ\text{C}$ potpuno formira slojevita faza Aurivilijusa uz prisustvo male količine "nečistoća" BaTiO_3 kao sekundarne faze, na osnovu čega je izveden mehanizam po kome se formiranje $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ može prikazati reakcijom: $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} + \text{BaTiO}_3 = \text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$. Utvrđeno je da se jednofazan sistem $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ metodom reakcije u čvrstom stanju formira na $950\text{ }^\circ\text{C}$. Budući da se materijali Aurivilijusove strukture dobijaju reakcijama u čvrstoj fazi na visokim temperaturama, od posebnog je značaja proučavanje procesa aktivacije ovih reakcija prethodnom obradom polaznih komponenti. Zato je $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ sintetisan i nekonvencionalnim postupkom sinteze prethodno potpomognut mehaničkom aktivacijom. Smeša oksida je mlevena u planetarnom mlinu u trajanju od 0,5; 1; 3 i 6 h u atmosferi vazduha. Uočeno je da već nakon 0,5 h mlevenja dolazi do narušavanja kristalne strukture polaznih oksida i visokog stepena amorfizacije. Nakon 3 i 6 h mlevenja dolazi do transformacije početnih oksida i do formiranja novih oblika strukture i to slojevite Aurivilijusne strukture. Kristalna struktura $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ sintetisana je od 6 h mehanički aktivirane smeše nakon termičkog tretmana na $850\text{ }^\circ\text{C}$ tokom 4 h. Činjenica da se mehaničkom aktivacijom snižava temperatura termičke obrade smeše oksida u postupku dobijanja čistog barijum bizmut- titanata za $100\text{ }^\circ\text{C}$, daje prednost korišćenju ove metode sa aspekta uštede energije u procesu proizvodnje. Mikrostruktura i morfologija neaktivirane i mehanički aktivirane smeše prahova je analizirana skenirajućim elektronskim mikroskopom i laserskim difraktometrom. Skenirajuće elektronske mikrografije ukazuju na znatnu razliku u mikrostrukturi i veličini čestica između neaktivirane i mehanički aktivirane smeše. Neaktivirani prahovi imaju čestice pločastog oblika dok su kod aktiviranih prahova uočene čestice sfernog oblika. Laserskim difraktometrom određeno je da prosečna veličina čestica neaktiviranog prahova iznosi $d_{50} = 450\text{ nm}$ a aktiviranog $d_{50} = 227\text{ nm}$. Na osnovu ovih rezultata uočen je bitan uticaj mehaničke aktivacije na smanjenje veličine čestica aktiviranog praha, što dovodi do porasta specifične površne materijala, pa samim tim i do povećanja njegove reaktivnosti.

U drugom poglavlju istraživanja su usmerena na detaljno proučavanje uticaja lantana kao izovalentnog dopanta (La^{3+}) i niobijuma (Nb^{5+}) kao donorskog dopanta na strukturu i svojstva prahova barijum bizmut-titanata. Reakcijom u čvrstom stanju na temperaturi od $950\text{ }^\circ\text{C}$ tokom 4 h sintetisani su $\text{BaBi}_{4-x}\text{La}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ i $\text{BaBi}_4\text{Ti}_{4-(5/4)x}\text{Nb}_x\text{O}_{15}$ prahovi sa sadržajem lantana, odnosno niobijuma: $x = 0, 0.05, 0.15$ i 0.30 . XRD analizom uzoraka dopiranih lantanom i niobijumom nije uočeno postojanje sekundarne faze, što potvrđuje da je došlo do potpune ugradnje dopanata (La^{3+} na mesto Bi^{3+} i Nb^{5+} na mesto Ti^{4+}) u kristalnu rešetku barijum bizmut-titanata.

U trećem poglavlju ispitivana su dielektrična svojstva dobijenih materijala, tj. praćena je zavisnost dielektrične konstante i dielektričnih gubitaka od frekvencije (1 kHz - 1 MHz) i temperature (25 °C - 727 °C). Uočeno je da dielektrična permitivnost na sobnoj temperaturi uzorka dobijenog konvencionalnim postupkom sinteze i uzorka pethodno mehanički aktiviranog imaju približno istu vrednost, dok su vrednosti dielektrične konstante na Kiri temperaturi 2429 i 1723, redno. To je uslovljeno smanjenjem veličine zrna keramike dobijene od mehanohemijski sintetisanog praha i pojavom strukturnih promena i unutrašnjih naprezanja u uzorku. Utvrđeno je, na osnovu Lorencove jednačine i Vogel-Fučerovog zakona, da mehanička aktivacija nema bitnog uticaja na difuzivnost i stepen relaksacije faznog prelaza. Na osnovu rezultata istraživanja provodnosti keramike dobijene od mehanički aktiviranog i neaktiviranog praha potvrđeno je da se smanjenjem veličine zrna smanjuje provodnost materijala čime su stvoreni uslovi lakšeg polarisanja pa samim tim i postizanja optimalnih karakteristika finalnog proizvoda. Impedans odzivi fitovani ekvivalentnim kolima pomoću Zview softverskog paketa su pokazali da ukupna provodnost obe vrste keramike potiče od provodnosti zrna.

U četvrtom poglavlju analizom mikrostrukture skenirajućom elektronskom mikroskopijom uočeno je da lantan ne utiče na promenu veličine zrna, ali se zrna smanjuju sa povećanjem koncentracije niobijuma pri čemu oba dopanta utiču na povećanje gustine barijum bizmut-titanatne keramike. Mikrografije svih uzoraka pokazuju karakterističan pločasti oblik zrna. Takođe je praćen uticaj vrste i koncentracije dopanata na pomeranje faznih prelaza i pojavu širenja pikova tj. stvaranja difuznog faznog prelaza. Korišćenjem Lorencove jednačine izračunat je stepen difuzivnosti u svim uzorcima i uočeno je da on raste sa povećanjem koncentracije oba dopanta. Razlog rasta difuzivnosti i stepena relaksacije faznog prelaza usled dopiranja lantanom je strukturna neuređenost sistema kojoj je uzrok tendencija ka smeštanju više katjona (Bi^{3+} , Ba^{2+} i La^{3+}) na isti položaj A u kristalnoj rešetki ovog jedinjenja $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^{2+} \cdot ((\text{A}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+3}))^{2-}$, kao i tendencija smeštanja ovih jona na mesto bizmuta u $(\text{BiLaO}_2)^{2+}$ sloju. Zato stepen relaksacije raste sa 16 za nedopiran do 30 za najveću koncentraciju La ($x = 0,3$ prema formuli $\text{BaBi}_{4-x}\text{La}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$). Kod keramike dopirane niobijumom uočava se isti trend, s tim što zbog promene u mehanizmu provođenja ove promene se teško uočavaju kod uzorka dopiranog sa $x = 0,15$ i $0,30$ (prema formuli $\text{BaBi}_4\text{Ti}_{4-(5/4)x}\text{Nb}_x\text{O}_{15}$) zbog izražene disperzije dielektrične konstante na Kiri temperaturi pri niskim frekvencijama. Ovo rasipanje izazvano je, verovatno, polarizacionim mehanizmom usled visoke provodnosti i interakcije velikog broja elektrona unetih u sistem donorskim dopiranjem. Zavisnost provodnosti od temperature ukazuje na NTC karakteristike i čiste i dopirane keramike što potvrđuje linearna zavisnost $\ln\sigma - 1000/T$ u intervalu od 315 °C do 727 °C. Na osnovu zavisnosti provodnosti od koncentracije dopanata date su pretpostavke o uticaju vrste i koncentracije dodatog dopanata na provodnost materijala, a utvrđene su i kritične koncentracije pri kojima dolazi do promena u provodnosti materijala. Koristeći odgovarajuće jednačine dobijeni su impedans odzivi materijala koji su fitovani odabranim

ekvivalentnim kolima. Sa dodatkom lantana može se uočiti preklapanje dva polukruga na Nikvistovim dijagramima, što ukazuje da na ukupnu provodnost uzorka pored zrna ima udela i granica zrna, čiji se polukrug jasno uočava na niskim frekvencijama (posebno na povišenim temperaturama jer su nosioci naelektrisanja tada termički aktivirani). S obzirom da se broj kiseoničnih vakancija povećava sa uvođenjem lantana u strukturu, one migriraju na granicu zrna gde se nagomilavaju i tako utiču na pojavu provodnosti granice zrna. U slučaju dopiranja niobijumom, zbog pojave samo jednog karakterističnog polukruga ili njegovog dela, pretpostavljeno je da jedino zrno ima udela u ukupnoj impedansi uzorka, pa je njemu i pripisan taj odziv. Sa povećanjem koncentracije dopanta impedansni polukrug počinje da se širi. Ovo se može pripisati nasumičnom rasporedu katjona u strukturi što je još jedna potvrda mikroskopske neuređenosti jedinjenja.

U Zaključku su sažeti postignuti rezultati istraživanja koji odgovaraju zadatim ciljevima disertacije i dat je spisak korišćene literature.

3. OCENA DISERTACIJE

Savremenost, originalnost i značaj

Poslednjih godina započela su istraživanja u cilju poboljšanja dielektričnih i piezoelektričnih svojstava, kao i ispitivanja uticaja dopanata na strukturu i svojstva Aurivilijusovih jedinjenja koja prvenstveno privlače veliku pažnju zbog odsustva olova u strukturi i njihove netoksičnosti. Barijum bizmut-titanat, kao jedan od njih, se pokazao kao dobar kandidat zbog relativno visoke temperature fazne transformacije polarnog u nepolarni oblik, malih dielektričnih gubitaka i velike anizotropnosti. Takođe, veliki je broj radova koji se bavi ispitivanjem relaksorskih svojstava jedinjenja na bazi olova (PMN, PZT, PLZT itd.), ali znatno manji broj onih koji proučavaju anomalno ponašanje dielektrične permitivnosti jedinjenja na bazi bizmuta.

Nedostatak jedinjenja na bazi bizmuta za visoko-temperaturnu piezoelektričnu primenu jeste relativno visoka provodnost p-tipa, zbog čega se barijum bizmut-titanatna keramika teško polariše. U cilju prevazilaženja ovog problema u ovom radu su izvedena istraživanja u dva pravca u cilju snižavanja provodnosti materijala i to preko mikrostrukture (smanjenjem veličine zrna mehaničkom aktivacijom) i dopanata (ugradnjom lantana i niobijuma u kristalnu rešetku barijum bizmut titanata). Postizanje velike otpornosti je važno za piezoelektrična svojstva iz dva razloga: postizanje dovoljno velikog (jakog) polja radi polarizacije materijala i održavanje efikasnosti na visokim temperaturama.

U ovoj disertaciji, takođe, detaljno je ispitivan uticaj mikrostrukture i dopanata na dielektrična i relaksorska svojstva materijala, što je od velikog značaja za razumevanje veze i funkcionalne zavisnosti između sinteze, strukture i svojstava ovog materijala.

Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U doktorskoj disertaciji citirana su 134 literaturna navoda, koji su omogućili da se prikaže stanje u ispitivanoj oblasti, kao i aktuelnost problematike. Navedeni naučni radovi sa tematikom od suštinskog značaja za izradu doktorske disertacije, sadrže eksperimentalne rezultate istraživanja mnogih istraživača, analizu i diskusiju dobijenih rezultata i izvedene zaključke. Omogućili su da se prikaže stanje u ispitivanim oblastima kao i da se na osnovu njihovih nedostataka uoče smernice za istraživanja sprovedena u okviru ove disertacije. Iz obrazloženja predložene teme doktorske disertacije i objavljenih radova u prijavi koju je kandidat podneo, kao i iz popisa literature koja je korišćena u istraživanju, uočava se adekvatno poznavanje predmetne oblasti istraživanja i aktuelnog stanja ovoj oblasti u svetu.

Analiza primenjenih naučnih metoda i njihova adekvatnost za sprovedeno istraživanje

Da bi se uspešno ostvarili ciljevi postavljeni u okviru ove disertacije primenjeni su savremene analitičke metode:

- Metoda mehaničke aktivacije materijala, visokoenergetskim planetarnim mlinom "Fritch" Pulverisette 5 za sintezu prahova barijum bizmut-titanata. Ovaj metod sinteze prahova korišćen je i u cilju smanjenja veličine čestica prahova, kao i dobijanja prahova homogenijeg sastava radi poboljšanja njegove reaktivnosti.
- Rendgenski difraktometar PHILIPS PW 1710 sa $\text{CuK}_{\alpha/2}$ zračenjem i grafitnim monohromatorom korišćen u cilju indentifikacije faza i praćenja promene faznog sastava tokom sinteze prahova i keramike barijum bizmut-titanata.
- Određivanje specifične površine prahova Micromeritics Gemini 2375 sa tečnim azotom kao adsorbatom, korišćen je za praćenje promena nastalih pod uticajem dopanata na specifičnu površinu prahova i njihov stepen aglomeracije.
- Određivanje raspodele veličine čestica korišćenjem uređaja Malvern Mastersizer S, za utvrđivanje uticaja mehaničke aktivacije na veličinu čestica mehanički aktiviranog praha u odnosu na neaktivirani prah, kao i uticaja dopanata na promenu veličine čestica dobijenih prahova.
- Skenirajuća elektronska mikroskopija na uređaju Tescan VEGA TS 5130MM je korišćena radi utvrđivanja morfologije sintetisanih prahova i mikrostrukture dobijene keramike
- Merenje induktivnosti, kapacitivnosti i otpornosti materijala (LCR-metar tipa 4284 A, Hewllet-Packard) za praćenje promene dielektrične permitivnosti i provodnosti materijala. Pomoću rezultata ovih merenja, računskim putem, određivane su i vrednosti impedansi, čime je bilo moguće odrediti pojedinačne uticaje zrna i granice zrna na ukupnu provodnost, kako nedopirane tako i dopirane barijum bizmut-titanatne keramike.

Ocena primenljivosti i verifikacija ostvarenih rezultata

Na osnovu pregleda do sada objavljenih eksperimentalnih podataka i rezultata prikazanih u okviru ove doktorske disertacije ostvaren je značajan doprinos u razumevanju relaksorskih procesa u materijalima na bazi bizmuta. Takođe, istaknut je značaj mehaničke aktivacije u postupku sinteze jedinjenja u cilju smanjenja veličine zrna dobijene keramike i smanjenja njegove provodnosti za jedan red veličine. Zaključci i rezultati izneti u disertaciji su bitni za poboljšanje ove vrste materijala za primenu kao piezoelektrika i komponenti za izradu memorijskih uređaja. Deo rezultata disertacije je publikovan u međunarodnim časopisima, a deo je u pripremi za objavljivanje.

Ocena sposobnosti kandidata za samostalan naučni rad

Kandidat Jelena Bobić je diplomirani inženjer tehnologije. Kao saradnik u istraživanju do sad je bila angažovana na više projekata koje finansira Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije, kao i na dva međunarodna, COST projekta. Tokom izrade doktorske disertacije ispoljila je stručnost u pripremi i realizaciji eksperimenta i korišćenju različitih tehnika i metoda, a pri ispitivanju i analizi rezultata je pokazala samostalnost, sistematičnost i kreativnost. Na osnovu dosadašnjeg zalaganja i postignutih rezultata Komisija je mišljenja da kandidat poseduje sve kvalitete koji su neophodni za samostalni naučno-istraživački rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Doprinos rezultata ove teze može se posmatrati sa sledećih stanovišta:

- definisani su relevantni parametara sinteze u cilju dobijanja odgovarajuće mikrostrukture i svojstava keramike na bazi barijum bizmut-titanata,
- utvrđen je uticaj parametara sinteze na morfologiju praha i mikrostrukturu keramike barijum bizmut-titanata, kao i na promenu električnih svojstava ovog materijala,
- utvrđen je uticaj dopanata na električna svojstva materijala, a pre svega na provodnost barijum bizmut-titanata,
- na osnovu dobijenih rezultata ukazano je na oblasti praktične primene sintetisanih barijum bizmut-titanata.

Kritička analiza rezultata istraživanja

Definisanjem ciljeva istraživanja utvrđena je metodologija istraživanja primenjena tokom izrade doktorske disertacije. Uvidom u dostupnu literaturu iz ove oblasti istraživanja koja razmatra uticaj veličine zrna kao i uticaj ugradnje izovalentnog i donorskog dopanta na provodnost barijum bizmut-titanata, kao i razmatranjem rezultata istraživanja dobijenih

primenom odabrane metodologije u okviru ove disertacije, može se primetiti da se dobijeni rezultati nadovezuju ali i značajno dopunjuju postojeće rezultate. Na taj način, ova doktorska disertacija predstavlja važan korak ka praktičnoj primeni barijum bizmut- titanata kao piezoelektričnog materijala, ali i otvara nove mogućnosti za dalja istraživanja drugih dopanata, kao i postupaka sinteze ovog, ali i drugih materijala na bazi bizmuta.

Očekivana primena rezultata u praksi

Najvažniji zaključak koji se iz ovih istraživanja može izvesti je da se smanjenjem veličine zrna mehaničkom aktivacijom može smanjiti provodnost ove vrste keramike, kao i da različiti dopanti mogu bitno uticati kako na provodnost tako i na dielektrična svojstva Aurivilijusove vrste jedinjenja. Visoka provodnosti materijala na povišenim temperaturama može se smanjiti donorskim dopiranjem (tj. dodatkom niobijuma), kao i mehaničkom aktivacijom koja smanjuje veličinu zrna. Takođe, moguće je smanjiti provodnost i izovalentnim dopiranjem lantanom, ali pri dovoljno visokim koncentracijama što su pokazala istraživanja u ovoj disertaciji. Na taj način dobijena polikristalna keramika može se koristiti kao piezoelektrik i to na visokim temperaturama zbog njenog olakšanog polarisanja.

Spisak objavljenih radova i saopštenja na konferencijama proizašli iz doktorske disertacije:

Naučni radovi objavljeni u vrhunskim časopisima međunarodnog značaja (M21)

Bobic J.D., Vijatovic M.M., Greicius S., Banys J., Stojanovic B.D. "Dielectric and relaxor behavior of BaBi₄Ti₄O₁₅ ceramics" Journal of Alloys and Compounds, 499: 221-226, 2010 (ISSN 0925-8388, IF (2010) = 2.135)

Bobic J.D., Vijatovic Petrovic M.M., Banys J., Stojanovic B.D., Electrical properties of niobium doped barium bismuth-titanate ceramics, Materials Research Bulletin, 47: 1874–1880, 2012 (ISSN 0025-5408, IF (2012) = 2.105)

Naučni radovi objavljeni u međunarodim časopisima (M23)

Bobic J.D., Stojanovic B.D., Paiva-Santos C.O., Zivkovic L.J., Vijatovic M.M., Cilense M., "Structure and propertiels of barium bismuth titanate prepared by mechanochemical synthesis", Ferroelectrics, 368: 1-9, 2008 (ISSN 0015-0193, IF (2008) = 0.562)

Naučni radovi objavljeni u časopisima nacionalnog značaja (M52)

Bobić J.D., Vijatovic M.M., Rojac T., Stojanović B.D., "Characterization and properties of barium bismuth titanate", Processing and Application of Ceramics, 3 (1): 9-12, 2009. (ISBN 1820-6131)

Saopštenja sa međunarodnih skupova štampana u izvodu (M34)

J.D. Bobic, Lj.M. Zivkovic, M. Cilense, M.M. Vijatovic, B.D. Stojanovic, Microstructure development of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ and $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ceramics prepared by mechanochemical synthesis, Third Workshop COST 539, 2. September 2007., Bled, Slovenia, Programme and book of extended abstracts, p 80-81

J.D. Bobic, C.O. Paiva-Santos, C.D. Jovalekic, M.M. Vijatovic, B.D. Stojanovic, Structure and propertiels of barium bismuth titanate prepared by mechanochemical synthesis, EMF-2007, 11th European Meeting on Ferroelectricity, Bled, Slovenia, 3-7. September 2007., Programme and book of abstracts, p 53

J.D. Bobić, B.D.Stojanović, M.M.Vijatovic, T.Rojac, Characterization of Barium Bismuth Titanate Prepared by Mechanical Assisted Synthesis, 4th Workshop COST 539, 25-29 June 2008, Genova, Italy, Programme and book of abstracts, p 59

J.D. Bobic, M.M. Vijatović, S. Greicius, B.D. Stojanović, Electrical properties of barium bismuth titanate, 6th Workshop COST 539, 23-25. February 2009, Madrid, Spain, Programme and book of extended abstracts, p 86-87

J.D. Bobic, M.M. Vijatović, S. Greicius, J. Banys, B.D. Stojanović, Relaxor behaviour of $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ceramics, Final Workshop COST 539, 28-30 October 2009, Aveiro, Portugal, Programme and book of extended abstracts, p 78-79

J.D. Bobic, M.M. Vijatović, S. Greicius, B.D. Stojanović, Electrical properties of barium bismuth titanate, VIII students meeting, processing and Application of Ceramics, December 2-5, 2009, Novi Sad, Serbia, Programme and book of abstracts, p 41-42

J.D. Bobic, M.M. Vijatović, S. Greicius, B.D. Stojanović, Relaxor behavior of $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, Joint Workshop of the COST MP0904 Action, 12 August, 2010, Edinburgh, United Kingdom, Programme and book of abstracts, p 25

J.D. Bobic, M.M. Vijatović, S. Greicius, J. Banys, B.D. Stojanović, Ferroelectric behavior of pure and La doped barium bismuth-titanate ceramics, Workshop of the COST MP0904 Action, 30 June-1 July, 2011, Bordeaux, France, Programme and book of abstracts, p30

J.D. Bobic, M.M. Vijatović Petrović, S. Greicius, J. Banys, B.D. Stojanović, Influence of processing method on dielectric properties of $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ceramics, VII International Conference on Mechanochemistry and Mechanical Alloying INCOME, 31 August-3 September, 2011, Herceg Novi, Montenegro, Programme and book of abstracts, p 81

J.D. Bobic, M.M. Vijatović Petrović, J. Banys, B.D. Stojanović, Niobium doped barium bismuth-titanate ceramics, The Ninth Students Meeting, 16-18 November, 2011, Novi Sad, Serbia, Programme and book of abstracts, p 53

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Kratak osvrt na disertaciju u celini

Na osnovu svega iznetog, Komisija smatra da doktorska disertacija Jelene Bobić, dipl. inž.tehnologije, studenta doktorskih studija, pod nazivom: „**Uticaj parametara sinteze i dopanata na strukturu i svojstva barijum bizmut-titanatne keramike**“, predstavlja originalno naučno delo u oblasti Hemija i hemijska tehnologija, uža oblast Inženjerstvo materijala, što je potvrđeno objavljivanjem radova u vodećim međunarodnim časopisima i časopisima međunarodnog značaja, kao i saopštenjima na međunarodnim i nacionalnim konferencijama.

Predlog Komisije nastavno-naučnom veću.

Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću TMF da prihvati ovaj Izveštaj i da ga, zajedno sa podnetom disertacijom Jelene Bobić, da na uvid javnosti u zakonski predviđenom roku, kao i da, nakon završetka procedure, pozove kandidata na usmenu odbranu disertacije pred Komisijom u istom sastavu.

U Beogradu, 10. 09. 2012.

ČLANOVI KOMISIJE

1. **Dr Đorđe Janačković**, red. prof. TMF-a u Beogradu, komentor

2. **Dr Biljana Stojanović**, red. prof. Instituta za multidisciplinarna istraživanja, Beograd, komentor

3. **Dr Rada Petrović**, vanr. prof. TMF-a u Beogradu, član komisije

4. **Dr Vladimir Srdić**, red. prof. Tehnološkog fakulteta u Novom Sadu, član komisije