

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Мр Емине Пожега

Одлуком Наставно – научног већа Техничког факултета у Бору бр. VI/4-18-6. од 7.9.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидата Мр Емине Пожега под насловом

„Синтеза и карактеризација монокристала бизмута и телура допираних селеном, цирконијумом и арсеном“

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Мр Емина Пожега, дипл.инж.мет. уписала је докторске академске студије 2016/2017. године на Техничком факултету у Бору Универзитета у Београду на студијском програму: Металуршко инжењерство.

Хронологија одобравања и израде докторске дисертације је протекла следећом динамиком:

- 10.11.2016. Кандидат Мр Емина Пожега, дипл.инж.мет. је Наставно-научном већу Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду поднела пријаву за израду докторске дисертације (број пријаве VI-1/10-327) уз захтев да се спроведе поступак за оцену подобности кандидата и предложене теме.
- 19.01.2017 Одлуком, бр.VI/4-19-4. формирана је комисија за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације у саставу: др Десимир Марковић, редовни професор Техничког факултета у Бору, др Татјана Волков-Хусовић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета у Београду; др Драгослав Гусковић, редовни професор Техничког факултета у Бору, др Ана Костов, научни саветник Института за рударство и металургију Бор, др Срба Младеновић, доцент Техничког факултета у Бору.

- 24.03.2017. Одлуком број VI/4-1-6 Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду прихваћена је предложена тема докторске дисертације „Синтеза и карактеризација монокристала бизмута и телура допираних селеном, цирконијумом и арсеном“.
- 24.04.2017. Веће научних области техничких наука, Универзитета у Београду, је одлуком број 61206-1407/2-17, дало сагласност на предлог теме докторске дисертације.
- 20.04.2018 Одлуком бр. VI/4-14-03 формирана је комисија за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу: Др Десимир Марковић, редовни професор Техничког факултета у Бору – председник Комисије, Др Пантелија Николић, академик, редовни члан САНУ – члан, Др Чедомир Малуцков, ванредни професор, Техничког факултета у Бору – члан, Др Драгослав Гусковић, редовни професор, Техничког факултета у Бору – члан, Др Ана Костов, научни саветник, ИРМ Бор – члан.
- 25.05.2018 Одлуком бр. VI/4 -15-03 није усвојен извештај комисије за оцену и одбрану докторске дисертације. Образложење одлуке: Универзитет у Београду је дана 24. 04. 2017. године дао сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Мр Емине Пожеге. Одлуком Наставно – научног већа Техничког факултета у Бору бр. VI/4-14-3. од 20.04.2018. године, формирана је Комисије за оцену докторске дисертације кандидата Мр Емине Пожега под насловом „Синтеза и карактеризација монокристала бизмута и телура допираних селеном, цирконијумом и арсеном“. Комисија у саставу: Др Десимир Марковић, редовни професор Техничког факултета у Бору, Др Пантелија Николић, академик, редовни члан САНУ, Др Чедомир Малуцков, ванредни професор, Техничког факултета у Бору, Др Драгослав Гусковић, редовни професор, Техничког факултета у Бору, Др Ана Костов, научни саветник, ИРМБор, сачинила је Извештај о урађеној докторској дисертацији на који током јавног увида није било примедби. Извештај је разматран на седници Наставно научног већа и након дискусије, чланови Већа изјаснили су се по Извештају и то: 16 гласова ЗА, 1 ПРОТИВ и 42 УЗДРЖАНО. Пошто за Извештај није гласао довољан број чланова Већа, донета је одлука као у диспозитиву. У складу са чланом 44. Правилника о докторским студијама на Техничком факултету у Бору Наставно научно веће Факултета именоване, на предлог катедре, нову Комисију за оцену докторске дисертације
- 7.9.2018. Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, (одлука број VI/4-18-6.), именована је Комисија за оцену докторске дисертације у саставу: др Љиљана Живанов, редовни професор, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, члан; др Небојша Лабус, виши научни сарадник, Институт техничких наука САНУ, Београд, члан; др Срба Младеновић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору, члан; др Милан Радовановић, научни сарадник, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, члан и др Зоран Јањушевић, научни саветник, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд.

1.2. Научна област дисертације

Предмет истраживања докторске дисертације припада научној области Металуршко инжењерство (за коју је Технички факултет у Бору акредитовао студијске програме за сва три нивоа студија), ужа научна област – Металуршко инжењерство.

За ментора је изабран др Саша Марјановић, ванредни професор Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду који је на основу досад објављених радова компетентан да руководи израдом ове докторске дисертације. Проф. др Саша Марјановић као аутор и коаутор публиковао је преко 20 радова у часописима са JCR-листе.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Мр Емина Д. Пожега рођена је 03.07.1973. године у Бору, где је завршила основну и средњу школу. Дипломирала је на Техничком факултету у Бору 1999. године, са оценом на дипломском раду 10 (десет) и просечном оценом у току студија 8.00 и тиме стекла звање дипломирани инжењер металургије. Докторске академске студије уписала је школске 2016/2017. године на Техничком факултету у Бору на студијском програму *Металуршко инжењерство*. Од 05.07.2000. године ради у Институту за Рударство и Металургију (некада Институт за бакар) где је ангажована на пројекту које финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја: „Развој напредних материјала и технологија за мултифункционалну примену заснованих на еколошком знању“ – евиденциони број пројекта ТР34005. Магистарску тезу под називом „Утицај активатора на образовање дифузионог слоја при борирању отпресака од железног праха“ одбранила је 9.6.2008. године на Техничком факултету у Бору и тиме стекла академско звање Магистар техничких наука за научну област: металургија за прерађивачку металургију. Тренутно је у звању стручног саветника. Аутор је и коаутор више радова објављених у часописима међународног и националног значаја, као и великог броја радова саопштених на скуповима међународног и националног значаја.

Разведена је (девојачко презиме Грамић) и има два малолетна детета која су јој поверена као мајци, на самостално вршење родитељског права.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Мр Емине Пожега, дипл. инж. металургије, написана је на 82 стране, у оквиру којих се налази 13 поглавља, са укупно 55 слика, 18 табела и 87 литературна навода.

Докторска дисертација се састоји из следећих поглавља и осталих пратећих садржаја:

1. Увод
2. Теоријски део
3. Преглед досадашњих истраживања
4. Предмет и циљеви истраживања
5. Експериментални део
6. Методе карактеризације
7. Резултати мерења и дискусија за прву серију експеримената
8. Резултати мерења и дискусија за завршну серију експеримената
9. Закључак
10. Литература
11. Биографија

12. Публиковани и саопштени радови из оквира дисертације

13. Прилози

Прилог 1 – Вредности за поједине електричне и термичке особине Bi_2Te_3

Прилог 2 – Фактор квалитета термоелектричних материјала на различитим температурама

Прилог 3 – Вредности за Bi, Sb Se, Te, Zr и As из периодног система елемената HSC Chemistry 6 програма

Прилог 4 – Изјава о ауторству

Прилог 5 – Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Прилог 6 – Изјава о коришћењу

На почетку дисертације су дати изводи на српском и енглеском језику, а на крају дисертације потписане изјаве о ауторству, истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и начину коришћења докторске дисертације. По својој форми, садржају и постигнутим резултатима, дисертација у потпуности задовољава критеријуме и стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Поглавље **Увод** се састоји из три потпоглавља. У поглављу Увод дат је разлог повећања интересовања за термоелектричним материјалима и предности термоелектричних материјала. Такође је дата и подела термоелектричних материјала према врсти материјала, кристалном облику, димензијама материјала и радној температури. Описано је како се дефинише параметар којим се вреднује квалитет термоелектричних материјала, фактор квалитета, (eng. *thermoelectric figure of merit, Z*). У првом потпоглављу акценат је дат на бизмут телурид као термоелектрични материјал. У другом потпоглављу Уводног дела описана је кристална структура Bi_2Te_3 . У трећем потпоглављу дато је одступање од стехиометрије у бизмут телуриду.

Поглавље **Теоријски део** се састоји из једног потпоглавља, који се састоји из два потпотпоглавља у којима су описане: метода раста кристала из растопа Брицман поступком и метода извлачења, метода Чохралски, која се користи за израду монокристала у лабораторијским условима, пре свега у индустријској производњи полупроводника.

У поглављу **Преглед досадашњих истраживања** приказани су постојећи публиковани резултати примене бизмут телурида као полупроводничког једињења и начини побољшања фактора квалитета.

У поглављу **Предмет и циљеви истраживања** детаљно су изложени циљеви истраживања, и предложене су хипотезе истраживања.

Поглавље **Експериментални део** састоји се из две целине, и то:

- описа синтезе монокристала $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.88}\text{Se}_{0.12}$ Чохралски поступком

- описа синтезе монокристала $\text{Bi}_{10.17}\text{Sb}_{30.72}\text{Zr}_{0.35}\text{Te}_{58.28}\text{Se}_{0.48}$ и $\text{Bi}_{0.5}\text{As}_{1.5}\text{Te}_{2.98}\text{Se}_{0.02}$ Брицман поступком

У поглављу **Методе карактеризације** описане су методе које су се користиле за карактеризацију монокристала у првој и завршној серији експеримената. Ово поглавље састоји се из једанаест потпоглавља и то: оптичка микроскопија (ЛОМ), скенирајућа електронска микроскопија (СЕМ) са енергодисперзивном спектрометријом (ЕДС), диференцијално – термијска анализа, термогравиметријска анализа (ТГА), метода мерења микротврдоће, термовизија, рендгеноструктурна анализа, дилатометријска анализа, метода вруће тачке, мерења електричних својстава Холовом и ван дер Паувом методом и метода мерења Зебековог коефицијента, електричне и топлотне проводности.

У поглављу **Резултати мерења и дискусија за прву серију експеримената** приказани су резултати добијени у овој дисертацији, као и дискусија добијених резултата за прву серију експеримената. Ово поглавље састоји се из осам потпоглавља и то: резултати оптичке микроскопије (ЛОМ), резултати скенирајуће електронске микроскопије са енергодисперзивном спектрометријом (ЕДС), резултати диференцијално термијске анализе, резултати термогравиметријске анализе (ТГА), резултати мерења микротврдоће, резултати термовизије, резултати рендгеноструктурне анализе узорка $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.88}\text{Se}_{0.12}$, резултати Холове и ван дер Пауве методе. Потпоглавље резултати Холове и ван дер Пауве методе се састоји из једног потпотпоглавља и то: резултати мерења са Шоткијевом диодом на собној температури (25°C) при магнетној индукцији сталног магнета $B=0.37\text{ T}$, које се састоји из потпотпотпоглавља и то: узорак 1/5 (\perp) кружног попречног пресека дебљине 2.05 mm и узорак 2/2 (\perp) кружног попречног пресека дебљине 1.9 mm .

У поглављу **Резултати мерења и дискусија за завршну серију експеримената** приказани су резултати добијени у овој дисертацији, као и дискусија добијених резултата за завршну серију експеримената. Ово поглавље се састоји из два потпоглавља и то: узорак $\text{Bi}_{10.17}\text{Sb}_{30.72}\text{Zr}_{0.35}\text{Te}_{58.28}\text{Se}_{0.48}$ и узорак $\text{Bi}_{0.5}\text{As}_{1.5}\text{Te}_{2.98}\text{Se}_{0.02}$. Потпоглавље узорак $\text{Bi}_{10.17}\text{Sb}_{30.72}\text{Zr}_{0.35}\text{Te}_{58.28}\text{Se}_{0.48}$ се састоји из пет потпотпоглавља и то: резултати скенирајуће електронске микроскопије са енергетско – дисперзионом спектроскопијом X – зрака (СЕМ - ЕДС), резултати рендгеноструктурне анализе, резултати дилатометријске анализе, резултати Холове и ван дер Пауве методе и резултати мерења термоелектричних особина. Потпотпоглавље резултати Холове и ван дер Пауве методе састоји се из два потпотпотпоглавља и то: резултати мерења са Шоткијевом диодом на собној температури (25°C) при магнетној индукцији сталног магнета $B=0.37\text{ T}$ и резултати мерења са сребрним лемом на температури течног азота од 77 K при магнетној индукцији сталног магнета $B=0.37\text{ T}$. Потпотпотпоглавље резултати мерења са Шоткијевом диодом на собној температури (25°C) при магнетној индукцији сталног магнета $B=0.37\text{ T}$ се састоји из пет потпотпотпотпоглавља и то: узорак 8/3 (\perp) кружног попречног пресека дебљине 2.150 mm , узорак 8/4 (\perp) кружног попречног пресека дебљине 2.2 mm , узорак 8/5 (II) квадратног попречног пресека дебљине 1.350 mm , узорак 8/6 (\perp) кружног попречног пресека дебљине 2.250 mm и узорак 8/8 (II) квадратног попречног пресека дебљине 1.750 mm . Потпотпотпотпоглавље резултати мерења са сребрним лемом на температури течног азота од 77 K при магнетној индукцији сталног магнета $B=0.37\text{ T}$ се састоји из два потпотпотпотпоглавља и то: узорак 8/6 (\perp) кружног попречног пресека дебљине 2.250 mm и узорак 8/8 (II) квадратног облика цепан уздуж дебљине 1.750 mm . Потпоглавље $\text{Bi}_{0.5}\text{As}_{1.5}\text{Te}_{2.98}\text{Se}_{0.02}$ се састоји из два потпотпоглавља и то: резултати скенирајуће електронске микроскопије са енергетско – дисперзионом спектроскопијом X – зрака (СЕМ - ЕДС) и резултати Холове и ван дер Пауве методе. Потпотпоглавље резултати Холове и ван дер Пауве методе се састоји из потпотпотпоглавља и то: резултати мерења са Шоткијевом диодом на собној температури (25°C) при магнетној индукцији сталног магнета $B=0.37\text{ T}$. Ово потпотпотпотпоглавље се састоји из два потпотпотпотпоглавља и то: узорак 5/3 (\perp) кружног попречног пресека дебљине 1.5 mm и узорак 5/6 (\perp) кружног попречног пресека дебљине 1.55 mm .

У поглављу **Закључак** кандидат даје резиме добијених резултата, из којих се може извести следеће:

Успешно су синтетизовани: монокристал n типа $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.88}\text{Se}_{0.12}$ добијен Чохралски поступком и монокристали p типа, $\text{Bi}_{10.17}\text{Sb}_{30.72}\text{Zr}_{0.35}\text{Te}_{58.28}\text{Se}_{0.48}$ и n типа, $\text{Bi}_{0.5}\text{As}_{1.5}\text{Te}_{2.98}\text{Se}_{0.02}$ добијени Брицман методом.

Допирање монокристала бизмута и телура селеном, цирконијумом и арсеном доводи до различите покретљивости већинских носиоца наелектрисања (електрона и шупљина) и различите концентрације већинских носиоца наелектрисања и до добијања монокристала p и n типа.

- Приликом допирања монокристала бизмута и телура селеном добијен је монокристал н типа ($\text{Bi}_2\text{Te}_{2.88}\text{Se}_{0.12}$)
- Приликом допирања монокристала бизмута и телура цирконијумом добијен је монокристал п типа ($\text{Bi}_{10.17}\text{Sb}_{30.72}\text{Zr}_{0.35}\text{Te}_{58.28}\text{Se}_{0.48}$)
- Приликом допирања монокристала бизмута и телура арсеном добијен је монокристал н типа ($\text{Bi}_{0.5}\text{As}_{1.5}\text{Te}_{2.98}\text{Se}_{0.02}$)
- Елементарни састав и емпиријске формуле монокристала добијене су помоћу енергетско дисперзивне спектрометрије (ЕДС)
- На основу добијених вредности I/I_{max} и d_{hkl} и упоређивањем са литературним подацима и JCPDS и ICSD стандардима, идентификовано је да је добијен монокристал $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.88}\text{Se}_{0.12}$ и прорачунати су параметри јединичних ћелија полупроводника. Параметри јединичне ћелије $a = 4,368(2)$, $c = 30,418(11)$ Å, $V = 502,5(4)$ Å³ веома су слични параметрима типске структуре Bi_2Te_3 ($a = 4,3896(2)$, $c = 30,5019(10)$ Å, $V = 508,99$ Å³), што показује да је мали део телура замењен селеном
- Вредности Холовог коефицијента су негативне и показују да је монокристал ($\text{Bi}_2\text{Te}_{2.88}\text{Se}_{0.12}$) н типа и да су већински носиоци наелектрисања електрони, изузев за узорак 1/5 (⊥) при јачини струје 0.5 mA и за узорак 2/2 (⊥) при јачини струје од 0.1 mA. Да су узорци н типа потврђено је и методом вруће тачке.
- Покретљивост већинских носиоца наелектрисања монокристала ($\text{Bi}_2\text{Te}_{2.88}\text{Se}_{0.12}$) се смањује са повећањем јачине струје
- Мерења рентгенске дифракције (ХРД) показала су да добијени кристални инготи у завршној серији експеримената представљају монокристале и потврђују једињења Bi_2Te_3 типа
- Орјентација монокристала $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.88}\text{Se}_{0.12}$ и $\text{Bi}_{10.17}\text{Sb}_{30.72}\text{Zr}_{0.35}\text{Te}_{58.28}\text{Se}_{0.48}$ је 001
- Добијена је изузетно висока покретљивост већинских носиоца наелектрисања ($10^3 \text{ cm}^2\text{Vs}^{-1}$) и концентрација већинских носиоца наелектрисања (10^{19} cm^{-3}) монокристала $\text{Bi}_{10.17}\text{Sb}_{30.72}\text{Zr}_{0.35}\text{Te}_{58.28}\text{Se}_{0.48}$. Покретљивост је варијала од $2.173 \cdot 10^3$, $1.723 \cdot 10^3$, $1.752 \cdot 10^3$ и $4.648 \cdot 10^1$ за узорак 8/5 (||) на собној температури. За узорак 8/8 (||) покретљивост на собној температури била је у опсегу $1.926 \cdot 10^3$ до $2.146 \cdot 10^2 \text{ cm}^2\text{Vs}^{-1}$. Висока покретљивост већинских носиоца наелектрисања потврђена је и Холовим мерењем на температури течног азота. Вредности покретљивости за овај састав монокристала су изузетно повећане у односу на вредности покретљивости бизмут телурида п типа. Утицај концентрације већинских носиоца наелектрисања на структурне дефекте и нечистоће био је мањи због оптималне концентрације наелектрисања. Минимална топлотна проводност (0.8) примећена је на 300°C. Веома сложена кристална структура са много различитих атомских тежина у јединичној ћелији могла је да допринесе да се добије материјал са слабом везом између термичких и електричних својстава. Фактор квалитета се повећава са температуром. За монокристал $\text{Bi}_{10.17}\text{Sb}_{30.72}\text{Zr}_{0.35}\text{Te}_{58.28}\text{Se}_{0.48}$ добијена је вредност фактора квалитета $Z = 1.22 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ на 300°C што потврђује да чак и мала количина цирконијума утиче на термоелектричне особине овог монокристала

- На основу Холовог коефицијента утврђено је да су у монокристалу $\text{Bi}_{0.5}\text{As}_{1.5}\text{Te}_{2.98}\text{Se}_{0.02}$ већински носиоци наелектрисања електрони и да је измерена покретљивост електрона била знатно мања од покретљивости електрона у не допираном бизмут телуриду
- Генерално, цирконијум би могао да послужи као ваљан допант монокристала бизмута и телура
- Међутим, с обзиром на то да још увек није у потпуности испитан утицај различите количине цирконијума као допанта монокристала бизмута и телура, као и да у литератури нема таквих података, предложена количина цирконијума као допанта монокристала бизмута и телура је изузетно успешан покушај, који захтева додатна испитивања, чиме се отвара могућност за даљи истраживачки рад у овој области.

У поглављу **Литература** је представљена коришћена литература, која обухвата 87 релевантна референтна навода из области истраживања и покрива све делове дисертације.

Поглавље **Биографија** се односи на биографију кандидата.

У поглављу **Публиковани и саопштени радови из оквира дисертације** дат је списак публикованих и саопштених радова проистеклих као резултат рада на дисертацији.

У поглављу **Прилози** дата су шест прилога.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Глобално загревање услед употребе фосилних горива и цена енергије су велики проблеми у данашњем свету. Из тог разлога се повећава интересовање за термоелектричним материјалима који се могу користити за конвертовање отпадне топлоте у електричну енергију. Једна од главних предности термоелектричних материјала је да могу да се користе за претварање било које врсте топлотне енергије, као што су отпадна топлота, соларна енергија, топлота зрачења и тд. директно у електричну енергију, на основу термоелектричног ефекта. Термоелектрични ефекат је директна конверзија температурне разлике у електричну енергију и обрнуто. Због тога се термоелектрични ефекат може користити за мерење температуре, хлађење и загревање објеката или за генерисање електричне енергије.

Термоелектрични материјали услед лошег искоришћења претварања електричне енергије у топлотну и обрнуто немају широку примену. Главни проблем је да је ефикасност претварања топлотне енергије у електричну и обрнуто, присутних термоелектричних материјала нешто нижа од жељене. Непрекидно се врше истраживања нових термоелектричних материјала и данас. Развој термоелектричних материјала игра важну улогу у решавању одрживе енергије на планети. Термоелектрични материјали се деле према: врсти материјала (металоиди, полупроводници, керамика, полимери), кристалном облику (монокристали, поликристали, нанокмозити, аморфни), димензијама материјала (масивни, филмови, жице, кластери) и радној температури (Bi_2Te_3 -собна, PbTe -средња температура и SiGe -висока температура). Развој термоелектричних материјала условљен је на проналажењу материјала са високим фактором квалитета (параметар којим се вреднује квалитет термоелектричних материјала). Три најпознатије групе термоелектричних материјала чија је радна температура $< 450^\circ\text{C}$; око 1000°C и око 1300°C засноване су на легурама бизмут телурида, олово телурида и SiGe , респективно. Вредност фактора квалитета бизмут телурида највише одговара за већину расхладних апликација. Као стандардни материјал са високом вредношћу

фактора квалитета, ZT , на собној температури, користи се бизмут телурид, чија је вредност $ZT = 0.6$, при $T = 300 \text{ K}$.

Истраживања су показала, како су добри термоелектрични уређаји обично јако допирани полупроводници. Због великих могућности примене, од полупроводничких термоелектричних материјала се захтевају прецизно дефинисана својства. Полупроводнички термоелектрични материјали се искључиво израђују у форми монокристала, због захтева што веће брзине рада и мањих димензија полупроводничких термоелектричних уређаја.

Bi_2Te_3 је добро познато бинарно халкогено слојевито полупроводничко једињење које се користи у термоелектричним уређајима који раде на собној температури. Углавном се користи у хладњацима и генераторима. Такође има примену у оптоелектронским и електрохемијским уређајима као што су топлотне пумпе, инфрацрвени сензори и фотонапонске ћелије високе ефикасности. Бизмут телурид се нашироко изучава као термоелектрични материјал, посебно у температурном опсегу око 300 K. Термоелектрични материјали на бази бизмут телурида углавном се користе за производњу електричне енергије из отпадне топлоте или у производњи термоелектричних хладњака. Као основни материјал за термоелектричне уређаје за хлађење и термогенераторе који раде при температурама од 300 - 350°C користе се чврсти раствори $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$ и $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$. Међу халкогенидима који се јављају као компоненте тих чврстих раствора најдетаљније је изучен бизмут телурид. Бизмут телурид сам по себи има довољно високе термоелектричне параметре. Легирањем бизмут телурида можемо добити n и p тип. Због своје кристалне структуре бизмут телурид је веома анизотропан. Његова електрична отпорност је око четири пута већа паралелно са осом раста него нормално у односу на осу раста. Топлотна проводност, с друге стране, је око два пута већа паралелно са осом раста кристала него нормално у односу на осу раста. Бизмут телурид образује непрекидне изоморфне чврсте растворе са Bi_2Se_3 и Sb_2Te_3 . Најефикаснији састав нискотемпературних термоелектричних материјала n типа који имају примену у термоелектричним хладњацима и генераторима у систему $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$ је пронађен у интервалу до 33.3% мол Bi_2Se_3 . Једињења бизмута и телура имају узак енергетски процеп који на собној температури износи $E_g = 0.15 \text{ eV}$.

Опсежна истраживања литературе показала су да је највише радова о поликристалима BiSbTeSe , а о монокристалима BiSbTeSe добијених Брицман методом скоро да нема ништа. Посебна пажња у овим истраживањима је усмерена на цирконијум као допанта монокристала бизмута и телура.

У истраживању се пошло од следећих основних хипотеза:

- 1) повећање транспортних параметара (носиоци наелектрисања, покретљивост) доводи до побољшања фактора квалитета ZT смањењем топлотне проводности материјала без промене његових електричних својстава.
 - 2) повећање транспортних параметара је могуће постићи поступком допирања
 - 3) допирање селеном, цирконијумом или арсеном могуће је утицати на транспортне параметре испитиваног материјала
 - 4) контролом стехиометрије уз униформну расподелу нечистоћа током раста монокристала могуће је утицати на побољшање транспортних особина материјала
 - 5) могуће је оптимизирати концентрацију носиоца наелектрисања допирањем са донорским или акцепторским нечистоћама
 - 6) допирање монокристала бизмута и телура цирконијумом доводи до примене ових материјала и на високим температурама
- Обављена испитивања су потврдила напред поменуте хипотезе.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде дисертације кандидат је детаљно истражио постојећу релевантну литературу и коректно навео радове који су у вези са темом дисертације. Наведено је укупно 87 библиографских референци. Литература садржи најновије радове релевантне за

проблематику истражену у дисертацији, као и радове чији је аутор или коаутор Мр Емина Пожега.

У наставку овог извештаја су, у том смислу, наведени најзначајнији радови коришћени и цитирани у дисертацији:

1. Bhakti, J., Dimple, S., Ravindra, N. M. Transport Property Measurements in Doped Bi_2Te_3 Single Crystals Obtained via Zone Melting Method. *Journal of electronic materials*, 44 (6) (2015), 1509-1516.
2. Chen, J., Zhou, X., Uher, C., Shi, X., Jun, J., Dong, H., Li, Y., Zhou, Y., Wen, Z., Chen, L. Structural modifications and non-monotonic carrier concentration in $\text{Bi}_2\text{Se}_{0.3}\text{Te}_{2.7}$ by reversible electrochemical lithium reactions. *Acta Materialia*, 61 (2013) 1508-1517.
3. Cope, R. G., Penn, A.W. The powder metallurgy of n-type $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.55}\text{Se}_{0.45}$ thermoelectric material. *Journal of Materials Science*, 3 (1968) 103–109.
4. Cui, J. L., Xue, H. F., Xiu, W. J. Microstructures and thermoelectric properties of p-type pseudo-binary $\text{Ag}_x\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5-x}\text{Te}_3$ ($x = 0.05\text{--}0.4$) alloys prepared by cold pressing. *Materials Letters*, 60 (2006) 3669-3672.
5. Cui, J. L., Xue, H. F., Xiu, W. J., Yang, W., Xu, X. B. Thermoelectric properties of Cu-doped p-type pseudo-binary $\text{Cu}_x\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5-x}\text{Te}_3$ ($x = 0.05\text{--}0.4$) alloys prepared by spark plasma sintering. *Scripta Materialia*, 55 (2006) 371-374.
6. Gol'cman, B. M., Kudinov, V. A., Smirnov, I. A. Semiconductor thermoelectric materials based on Bi_2Te_3 . 2nd ed. Moskva: Nauka, 1972. (in Russian)
7. Hyeona, M., Kyu, H., L., Suk, J., K., Jong-Young, K., Jeong, H., L., Jae-Hong, L., Hee, J., P., Jong, W., R., Sung, W., K. Fe-Doping Effect on Thermoelectric Properties of p-Type $\text{Bi}_{0.48}\text{Sb}_{1.52}\text{Te}_3$, *Materials*, 8 (2015) 959-965.
8. Imamuddin, M., Dupre, A. Thermoelectric properties of p-type $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Se}_3$ alloys and n-type $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$ alloys in the temperature range 300 to 600 K. *Physica Status Solidi A*, 10 (1972) 415-424.
9. Lee, J. K., Park, S. D., Kim, B. S., Oh, M. W., Cho, S. H., Min, B. K., Lee, H. W., Kim, M. H. Control of thermoelectric properties through the addition of Ag in the $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ alloy. *Electronic Materials Letters*, 6 (2010) 201-207.
10. Lee, K., Hwang, S., Ryu, B., Ahn, K., Roh, J., Yang, D., Lee, S., Kim, H., Kim, S. Enhancement of the thermoelectric performance of $\text{Bi}_{0.4}\text{Sb}_{1.6}\text{Te}_3$ alloys by In and Ga doping. *Journal of Electronic Materials*, 42 (2013) 1617-1621.
11. Li, H., Jing, H., Han, Y., Xu, Y., Lu, G. Q., Xu, L. Microstructure and transport properties of copper-doped p-type (BiSbTe) alloy prepared by mechanical alloying and subsequent spark plasma sintering. *Journal of alloys and compounds*, 576 (2013) 369-374.

12. Son, J. H., Oh, M. W., Kim, B. S., Park, S. D., Min, B. K., Kim, M. H., Lee, H. W. Effect of ball milling time on the thermoelectric properties of p-type $(\text{Bi,Sb})_2\text{Te}_3$. *Journal of alloys and compounds*, 566 (2013) 168–174.
13. Tritt, T. M. Subramanian, M. A. Thermoelectric materials, phenomena, and applications: A bird's eye view, *MRS Bulletin* 31 (3) (2006) 188-198.
14. Wu, F., Song, H., Gao, F., Shi, W., Jia, J., Hu, X. Effects of different morphologies of Bi_2Te_3 nanopowders on thermoelectric properties. *Journal of Electronic Materials*, 42 (2013) 1140-1145.
15. Xie, W., Tang, X., Yan, Y., Zhang, Q., Tritt, T. M. Unique nanostructures and enhanced thermoelectric performance of melt-spun BiSbTe alloys. *Applied Physics Letters*, 94 (2009) 10111-102120.
16. Xie, W., Wang, S., Zhu, S., Ho, J., Tang, X., Zhang, Q., Tritt, T. M. High performance Bi_2Te_3 nanocomposites prepared by single-element-melt-spinning spark-plasma sintering. *Journal of Materials Science*, 48 (2013) 2745-2760.
17. Yan, X., Poudel, B., Ma, Y., Liu, W., Joshi, G., Wang, H., Lan Y., Wang, D., Chen, G. Ren, Z. Experimental studies on anisotropic thermoelectric properties and structures of n-type $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ *Nano Lett.* 10, (2010) 3373- 3378.
18. Yu, C., Zhang, X., Leng, M., Shaga, A., Liu, D., Chen, F., Wang, C. Preparation and thermoelectric properties of inhomogeneous bismuth telluride alloyed nanorods. *Journal of alloys and compounds*, 570 (2013) 86-93.
19. Qihao, Z., Xin, A., Lianjun, W., Yanxia, C., Wei, L., Wan, J., Lidong, C. Improved thermoelectric performance of silver nanoparticles-dispersed Bi_2Te_3 composites deriving from hierarchical two-phased heterostructure, *Advanced Functional Materials*, (2014) 966-976.
20. Zheng, Z. H., Fan, P., Luo, J. T., Liang, G .X., Zhang, D. P. Enhanced thermoelectric properties of antimony telluride thin films with preferred orientation prepared by sputtering a fan-shaped binary composite target. *Journal of Electronic Materials*, 42 (2013) 3421-3425.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

➤ *Припрема монокристала (Чохралски и Брицман метода)*

За синтезу монокристала су као полазни материјали коришћени спектроскопски чисти материјали (5N и 6N). Телур (Sigma – Aldrich, 99.999%), антимион (Koch Light Laboratories LTD, 99.9999%), бизмут (Sigma – Aldrich, 99.999%), селен (Alfa Aesar, 99.999%), цирконијум (KEFO, 99.98%) и арсен (Koch-Light Laboratories Ltd Colnbrook Bucks England, 99.999%) узимани су у одеђеној пропорцији. Монокристали бизмута и телура допирани селеном добијени су Чохралски поступком, а допирани цирконијумом и арсеном Брицман поступком.

➤ *Експерименталне методе карактеризације монокристала обухватале су:*

- Структурну анализу

- Одређивање детаља структуре (макроскопских и микроскопских) и хемијског састава материјала

Микроструктурна анализа је обављена применом оптичке микроскопије (ЛОМ) и скенирајуће електронске микроскопије са енергетско-дисперзивним спектрометром (СЕМ-ЕДС). За оптичку микроскопију је коришћен оптички микроскоп „Reichert MeF₂“ за увећања до 1000 пута. Електронски микроскоп омогућио је да се виде детаљи површине испитиваних узорака који не могу да се виде уз помоћ оптичког микроскопа. СЕМ анализа је извршена на скенирајућем електронском микроскопу „JOEL JSM 6610LV“. ЕДС анализом одређен је хемијски састав материјала и расподела елемената у узорку.

- Термоаналитичку и термогравиметријску анализу

- Термичко понашање полупроводника је праћено применом методе диференцијално-термијске анализе (ДТА)
- Термогравиметријом је праћена промена масе у функцији температуре при порасту температуре

- Механичку анализу

- Мерења микротврдоће

Основна механичка особина материјала је његова тврдоћа. Испитивања механичких карактеристика обухватила су мерења микротврдоће. Микротврдоћа је одређена на уређају ознаке „PMT 3“ применом Викерсове методе.

- Термовизијску анализу

За термовизијска испитивања коришћена је дигитална термална камера Wohler IK 21 чији је рад заснован на нехлађеном германијумском термоелектричном детектору.

- Рендгеноструктурну анализу

- Одређивање параметара јединичних ћелија и оријентације монокристала

Одређивање параметара јединичних ћелија и оријентације кристала је обављено применом методе рендгенске дифракције (ХРД) помоћу дифрактометра за прах „Philips PW 1710“ под следећим условима – радни напон: $U = 40 \text{ kV}$; јачина струје: $I = 30 \text{ mA}$; таласна дужина: $\text{CuK}\alpha = 1.54178 \text{ \AA}$; коришћен је графитни монокроматор, опсег испитивања: $10^\circ\text{-}100^\circ$; корак: $0,02^\circ$; временска константа: 0.8 s по кораку.

- Дилатометријску анализу

Тачка топљења узорка одређена је на дилатометру марке Bähr GmbH Thermoanalyse 802 s. Дилатометријска анализа спроведена је у атмосфери вакуума, при брзини загревања 10°Cmin^{-1} и $T_{\text{max}} = 600^\circ\text{C}$. За испитивање је коришћен узорак правоугаоног попречног пресека димензија $7.74 \text{ mm} \times 4.82 \text{ mm} \times 1.71 \text{ mm}$. Као референтни материјал коришћена је глиница димензија 2×1.26 и дужине $l_0 = 0.45 \text{ mm}$.

- Методу вруће тачке

Метода вруће тачке служи за одређивање типа већинских носилаца, мерењем поларитета отклона галванометра између врућег и хладног краја узорка, имајући у виду да се већински носиоци услед термалне дифузије увек нагомилавају на хладном крају узорка.

- Електричну анализу

- Одређивање концентрације носилаца наелектрисања, покретљивости, специфичне отпорности, проводности и Холовог коефицијента

Мерења заснована на Холовом ефекту извршена су на уређају Escoria, HMS-3000. Систем за мерење Холовог ефекта (*Hall Effect Measurement System*) HMS-3000, фирме Escoria, је пројектован за мерење концентрације носилаца покретљивости, специфичне отпорности и

Холовог коефицијента, и то са циљем да омогући лакше и једноставније посматрање електричних карактеристика полупроводничких узорака.

- Термо анализу

• Z мерач базиран на разлици температура (**Lagrange ΔT method**) успешно је развијен у Јожеф Стефан Институту у Љубљани за потпуно аутоматизовану термоелектричну карактеризацију узорака до температуре од око 500°C . Уређај је омогућио да се истовременим мерењем Зебековог коефицијента (S), електричне отпорности (ρ) и топлотне проводљивости (k) итеративном методом одреди фактор квалитета Z (*figure of merit*), на основу израза: $Z = S^2/(\rho k)$. Мерење је вршено у високом вакууму од 10^{-2} до 10^{-3} Па. За мерење је било потребно имати узорак облика ваљка пречника од 8 до 11 mm и висине барем 9.5 mm.

3.4. Применљивост остварених резултата

На основу прегледа до сада објављених експерименталних података и резултата приказаних у оквиру ове дисертације, остварен је значајан допринос у овој области. Резултати и закључци изнети у овој дисертацији потврда су могућности коришћења цирконијума као допанта монокристала бизмута и телура и Брицман и Чохралски методе за успешну синтезу **монокристала** бизмута и телура.

Стандардни термоелектрични уређаји користе бизмут телурид како би претворили топлоту у електричну енергију, а могу се наћи и у хладњацима и у кулерима за процесоре. Ефикасност коришћења горива аутомобила могла би да се повећа конвертовањем топлотне енергије која се испушта сагоревањем у мотору, у електричну енергију, коришћењем бизмут телурида као полупроводничког елемента. То би резултирало смањењу глобалног загревања услед употребе фосилних горива и емисију штетних гасова.

Термоелектрични материјали немају широку примену услед лошег искоришћења претварања топлоте у електричну енергију и обрнуто. Успешност претварања дефинише се помоћу бездимензионог фактора квалитета:

$$ZT = \frac{S^2 \cdot \sigma \cdot T}{k} = \frac{S^2 \cdot T}{k \cdot \rho} = \frac{S^2 \cdot T}{(k_e + k_l) \cdot \rho}$$

где је: S – Зебеков коефицијент, σ - електрична проводност, k - топлотна проводност, T - апсолутна температура, ρ - електрична отпорност.

Топлотна проводност има две компоненте: електричну проводност, k_e и проводност решетке, k_l .

У пракси су највише коришћени масивни полупроводнички материјали бизмут телурида допирани са антимоном и селеном са вредношћу $ZT \approx 1$ на собној температури. Међутим, коришћењем цирконијума као допанта, **фактор ZT износи око 0.7 на 300°C** , што је доста већа вредност од вредности фактора квалитета бизмут телурида која изнад 75°C почиње да пада и на 250°C је испод 0.25. Ово даје наду да се допирањем цирконијумом погодне количине може фактор квалитета још повећати на температурама већим од собне и да се на основу утврђених карактеристика добијених монокристала бизмут телурида побољшаног састава испита могућност њихове евентуалне практичне примене као и проучавање да се ови материјали оптимизују за употребу и на високим температурама.

Поменути инжењерски приступ допирања монокристала бизмут телурида и развој термоелектричних материјала побољшавањем њиховог састава је од значаја за решавање постојећих проблема у решавању одрживе енергије на планети, како са становишта енергетске ефикасности, заштите животне средине, тако и са економског аспекта и аспекта одрживог развоја, и отвара могућност за даље иновативне активности у овој истраживачкој области.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу изнете анализе докторске дисертације и верификације остварених резултата истраживања, Комисија сматра да је кандидат несумњиво показао способност за самостални научни рад.

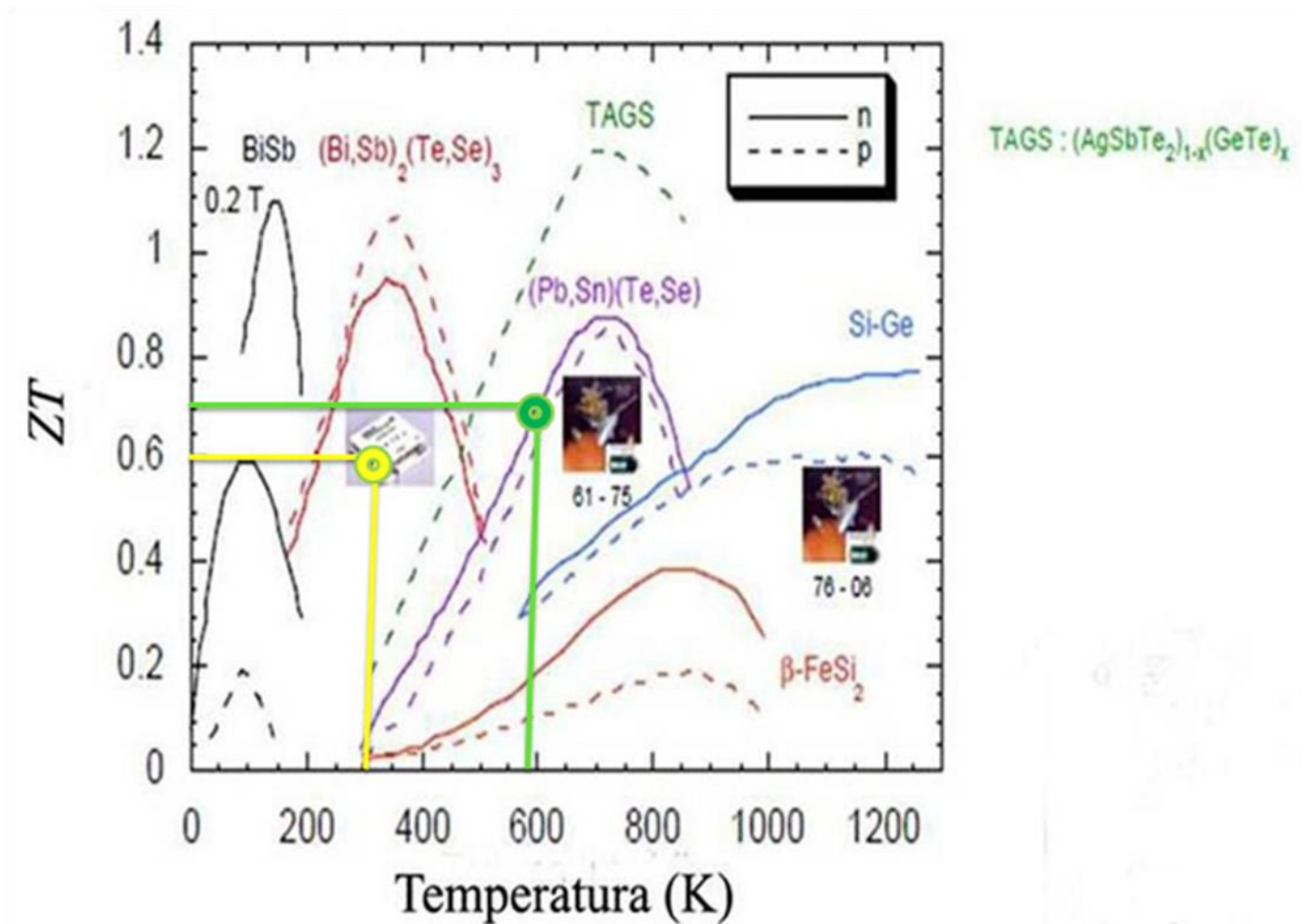
4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру ове дисертације остварен је значајан научни допринос у области примене бизмут телурида као термоелектричног материјала и цирконијума као његовог допанта.

Научни и практични значај ове докторске дисертације се огледа у следећем:

- Побољшању особина монокристала бизмут телурида допирањем цирконијумом.
- Успешну синтезу **монокристала** бизмута и телура допираних селеном, цирконијумом и арсеном, с тим у вези монокристали $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.88}\text{Se}_{0.12}$ добијени су Чохралски поступком, а монокристали $\text{Bi}_{10.17}\text{Sb}_{30.72}\text{Zr}_{0.35}\text{Te}_{58.28}\text{Se}_{0.48}$ и $\text{Bi}_{0.5}\text{As}_{1.5}\text{Te}_{2.98}\text{Se}_{0.02}$ Брицман поступком.
- Одређивање структуре решетке монокристала.
- Одређивање хемијског састава монокристала. На основу одређеног хемијског састава добијене су формуле једињења.
- Побољшање вредности ZT кристала смањењем топлотне проводности и повећањем Зебековог коефицијента
- Смањење топлотне проводности кристала без промене електричних својстава а кроз побољшање транспортних параметара, као што су носиоци наелектрисања и покретљивост већинских носилаца наелектрисања као и **фактора квалитета, $ZT = 0.7$ на 300°C код узорка допираног са цирконијумом**



Слика 1. Фактор квалитета термоелектричних материјала на различитим температурама
(<https://www.fzu.cz/~knizek/pdf/ThermoelectricMaterials.pdf>)

Напомена: добијен резултат фактора квалитета, ZT , у дисертацији за монокристал **$\text{Bi}_{10.17}\text{Sb}_{30.72}\text{Zr}_{0.35}\text{Te}_{58.28}\text{Se}_{0.48}$** !

вредност фактора квалитета, ZT , за Bi_2Te_3

- Ово указује на могућност примене овако допираног материјала и на повишеним радним температурама са побољшаним карактеристикама у односу на примену чистог бизмут телурида р-типа као и $(\text{Bi,Sb})_2(\text{Te,Se})_3$, слика 1.
- На основу прегледа доступне литературе утврђено је да утицај цирконијума као допанта монокристала бизмут телурида није проучаван. Због тога резултати приказани у овој докторској дисертацији значајно допуњују постојећа знања о монокристалима бизмут телурида.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Добијени резултати у експерименталном делу дисертације обезбеђују додатне корисне информације везане за проблематику развоја термоелектричних материјала који је условљен на проналажењу материјала са високим фактором квалитета. Комбинација особина материјала које су потребне да би термоелектрични материјали имали квалитетна и искористива својства су уједно и изазов за научнике. Основни темељ код истраживања термоелектричних материјала јесте да се задовоље својства која су у међусобној супротности. Да би што више повећали фактор квалитета, односно да би добили већу термоелектричну енергију, која је апсолутна вредност

Зебековог коефицијента, морамо имати високу електричну проводност а ниску топлотну проводност. Ови резултати повезују структурне, термоаналитичке, термогравиметријске, термовизијске, рендгеноструктурне, дилатометријске, термоелектричне, транспортне и механичке карактеристике монокристала и методе синтезе (Чохралски и Брицман) са допантима испитиваних монокристала бизмута и телура.

Постављени циљеви и задаци истраживања у дисертацији остварени су у потпуности.

Добијени резултати представљају значајан допринос актуелним испитивањима у области термоелектричних материјала, и показују да се цирконијум може успешно користити као допант монокристала бизмута и телура, а Брицман и Чохралски методе се могу користити за успешну синтезу монокристала бизмута и телура.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос ове докторске дисертације је верификован кроз публиковане научне радове проистекле као резултат истраживања у оквиру дисертације.

У даљем тексту је дат списак до сада објављених радова у научним часописима и радова саопштених на конференцијама, који су проистекли из ове докторске дисертације:

Категорија M21:

1. **Е. Пожега**, S. Ivanov, Z. Stević, Lj. Karanović, R. Tomanec, L. Gomidželović, A. Kostov, Identification and characterization of single crystal $\text{Bi}_2\text{Te}_{3-x}\text{Se}_x$ alloy, Transactions of Nonferrous Metals Society of China 25 (2015) 3279–3285
DOI: 10.1016/S1003-6326(15)63964-4
http://www.vsxbcn.com/download/2015/10_en/15-p3279.pdf

Категорија M23:

1. **Е. Пожега**, P. Nikolić, S. Bernik, L. Gomidželović, N. Labus, M. Radovanović, S. Marjanović, Synthesis and investigation of BiSbTeSe single crystal doped with Zr produced using Bridgman method, Revista de Metalurgia 53 (3) (2017)
ISSN-L: 0034-8570
<http://dx.doi.org/10.3989/revmetalm.100>

Категорија M33:

1. **Емина Пожега**, Svetlana Ivanov, Zoran Stević, Nikola Vuković, Lidija Gomidželović, Ivana Marković, SEM – EDS analysis and microindentation hardness study of n – type doped BiTeSe alloy single crystals, 45th International October Conference on Mining and Metallurgy, 16 – 19 october 2013, Bor lake, Bor, Serbia, 584 – 587.
2. **Емина Д. Пожега**, Svetlana Lj. Ivanov, Zoran M. Stević, Duško M. Minić, Lidija J. Gomidželović, Nikola S. Vuković, Karakterizacija trojnog jedinjenja BiTeSe , друга међународна конференција о обновљивим изворима електричне енергије, MKOIEE 2013, 16 – 18. Oktobar 2013
3. **Емина Пожега**, Svetlana Ivanov, Zoran Stević, Materials for thermoelectric modules, 46th International October Conference on Mining and Metallurgy, 01 – 04 october 2014, Bor lake, Bor, Serbia, 589 – 592.
4. **Е. Пожега**, S. Ivanov, Z. Stević, L. Gomidželović, A. Kostov, Đ. Veljović, M. Radovanović, Electronic transport in $\text{Bi}_2(\text{Te}_{2.88}\text{Se}_{0.12})$ single crystal, III International Conference on Electrical Power Renewable Sources, Sava centar, Belgrade, Serbia, Proceedings pp. 209 – 212. (ISBN978-86-81505-78-6)
5. **Емина Пожега**, Ivana Marković, Nikola Vuković, SEM – EDS analysis and microindentation hardness study of Zr doped X_2Y_3 ($\text{X} = \text{Bi}, \text{Sb}; \text{Y} = \text{Te}, \text{Se}$) p – type semiconductor, 45th International October Conference on Mining and Metallurgy, 16 – 19 october 2013, Bor lake, Bor, Serbia 600 – 603.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација Мр Емине Пожега је урађена према одобреној пријави и представља савремен, оригиналан и значајан научни допринос имајући у виду примењене научне методе, обим и квалитет истраживања, и добијене резултате.

Комисија закључује да је докторска дисертација кандидата Мр Емине Пожега, дипл. инж. металургије, проистекла из оригиналног научно-истраживачког рада и да представља самостално научно дело.

Комисија такође закључује да докторска дисертација има прописан облик и садржај прописан од стране Универзитета у Београду. Садржи све потребне елементе који задовољавају услове предвиђене Статутом Универзитета у Београду и Статутом Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду за стицање научног звања доктора наука у научној области Металуршко инжењерство.

На основу свега претходно исказаног Комисија има част и велико задовољство да Наставно-научном већу Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду предложи да се докторска дисертација под називом „**Синтеза и карактеризација монокристала бизмута и телура допираних селеном, цирконијумом и арсеном**“, кандидата Мр Емине Пожега, дипл. инж. металургије, прихвати и изложи на увид јавности. Комисија сматра да су се стекли сви услови за њену јавну одбрану.

У Бору, 24.09. 2018. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

др Срба Младеновић, ванредни професор-председник Комисије
Технички факултет у Бору, Универзитет у Београду

др Љиљана Живанов, редовни професор-члан
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду,

др Небојша Лабус, виши научни сарадник-члан,
Институт техничких наука САНУ

др Милан Радовановић, научни сарадник-члан
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду,

др Зоран Јањушевић, научни саветник-члан
Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд
