

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
КОСОВСКА МИТРОВИЦА

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
КОСОВСКА МИТРОВИЦА

ПРИМЉЕНО: 03.09.2020			
ОРГ ЈЕДИН	БРОЈ	ПРИЛОГ	ВРЕДНОСТ
	635/1		

НАСТАВНО – НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА У КОСОВСКОЈ МИТРОВИЦИ

Предмет: Извештај Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Александра Марковића

На основу члана 55. став 1. тачка 16) Статута Факултета Техничких наука у Косовској Митровици, а у складу са одредбама Правилника о докторским студијама, Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Косовској Митровици, на седници одржаној од дана 01.07.2020. до 06.07.2020 године, донело је одлуку под бројем 474/1 о именовању Комисије за писање извештаја за преглед, оцену и одбрану урађене докторске дисертације под насловом „Утицај хемијског састава на микроструктуру, механичке и електричне особине легура тројних Ag-Ge-X (X=Bi, In, Ga) система“ кандидата Александра Марковића, у саставу:

1. др Владан Ђосовић, научни саветник, ИХТМ Београд – председник,
2. др Душко Минић, ред. проф., ФТН Косовска Митровица – ментор и
3. др Милена Премовић, доцент, ФТН Косовска Митровица – члан.

На основу увида и анализе предложене документације, Комисија подноси Наставно – научно већу Факултета техничких наука у Косовској Митровици следећи:

ИЗВЕШТАЈ

Наслов и обим дисертације

Наслов докторске дисертациј је: “Утицај хемијског састава на микроструктуру, механичке и електричне особине легура тројних Ag-Ge-X (X=Bi, In, Ga) система”, која је написана на 82 стране и састоји се од 8 поглавља.

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
КОСОВСКА МИТРОВИЦА

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
КОСОВСКА МИТРОВИЦА

ПРИМЉЕНО: 03.09.2020			
ОРГ ЈЕДИН	БРОЈ	ПРИЛОГ	ВРЕДНОСТ
	635/1		

НАСТАВНО – НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
КОСОВСКОЈ МИТРОВИЦИ

Предмет: Извештај Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Александра Марковића

На основу члана 55. став 1. тачка 16) Статута Факултета Техничких наука у Косовској Митровици, а у складу са одредбама Правилника о докторским студијама, Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Косовској Митровици, на седници одржаној од дана 01.07.2020. до 06.07.2020 године, донело је одлуку под бројем 474/1 о именовању Комисије за писање извештаја за преглед, оцену и одбрану урађене докторске дисертације под насловом „Утицај хемијског састава на микроструктуру, механичке и електричне особине легура тројних Ag-Ge-X (X=Bi, In, Ga) система“ кандидата Александра Марковића, у саставу:

1. др Владан Ђосовић, научни саветник, ИХТМ Београд – председник,
2. др Душко Минић, ред. проф., ФТН Косовска Митровица – ментор и
3. др Милена Премовић, доцент, ФТН Косовска Митровица – члан.

На основу увида и анализе предложене документације, Комисија подноси Наставно – научном већу Факултета техничких наука у Косовској Митровици следећи:

ИЗВЕШТАЈ

Наслов и обим дисертације

Наслов докторске дисертациј је: “Утицај хемијског састава на микроструктуру, механичке и електричне особине легура тројних Ag-Ge-X (X=Bi, In, Ga) система”, која је написана на 82 стране и састоји се од 8 поглавља.

Место дисертације у одговарајућој научној области

Предмет истраживања докторске дисертације припада научној области **Техничких наука**, односно ужој научној области **Технолошко инжењерство**, за коју је Факултет техничких наука у Косовској Митровици акредитован.

Биографски подаци о кандидату

Александар (Радован) Марковић, рођен је 25.03.1983. године у Београду, општина Савски Венац. Основну и средњу школу је завршио у Младеновцу 2002. године. Исте године уписује Факултет техничких наука у Косовској Митровици на студијском програму Инжењерство технологије. Дипломирао је 2010. године са просечном оценом 7.42 у току студија и стекао звање дипломирани инжењер технологије.

Докторске студије је уписао на Факулету техничких наука у Косовској Митровици 2015. године на студијском програму Технолошко инжењерство.

Још током студија је активно учествовао у научно-истраживачком раду. Данас има 5 публикована рада у међнародним часописима са импакт фактором (1 рад категорије M21, 1 рад категорије M22 и 3 рада категорије M23), 1 рад у националном часопису међнародног значаја категорије M24, 4 саопштења на међнародним скуповима штампана у целости категорије M33, 3 саопштење на међнародним скуповима штампана у изводу категорије M34 и 1 рад презентован на интернационалном студентском симпозијуму штампан у изводу.

Научна област интересовања су му двојни и вишекомпонентни метални системи, карактеризација материјала, CALPHAD метод и термодинамика материјала.

Тренутно живи и ради у Косовској Митровици. Говори енглески језик.

ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Веза између структуре материјала, његових особина и примене је добро позната и представља основ савремене науке.

Утицај хемијског састава на микроструктуру, механичке и електричне особине легура тројних Ag-Ge-X (X=Bi, In, Ga) система, који су тема ове докторске дисертације још увек су, највећим делом, непознати, тако да је основно истраживачко питање докторске дисертације везано за дефинисање равнотежних дијаграма стања, као и механичких и електричних особина ових испитиваних тројних система.

Познавање микроструктуре, механичких и електричних карактеристика испитиваних система као и одређивање њихове међузависности ће пружити могућност јаснијег сагледавања потенцијалне примене испитиваних легура у пракси.

Главни и основни циљеви докторске дисертације су испитивање фазних равнотежа и утицај хемијског састава на микроструктуру и особине испитиваних тројних система.

Основне хипотезе

Полазна хипотеза, на којој се базира докторска дисертација је, да ће комбинована примена изабраних експерименталних и аналитичких метода омогућити испитивање утицаја хемијског састава на микроструктуру, механичке и електричне особине легура тројних Ag-Ge-X (X=Bi, In, Ga) система.

Основну хипотезу докторске дисертације представља могућност одређивања равнотежних дијаграма стања и утицаја хемијског састава на особине у испитиваним тројним системима, комбинацијом адекватних експерименталних и аналитичких техника.

ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Садржај дисертације

Дисертација је написана на 82 стране и састоји се од 8 поглавља:

1. Увод,
2. Преглед досадашњих испитивања,
3. Циљеви истраживања,
4. Експериментални део,
5. Прорачун равнотежних дијаграма стања,
6. Резултати и дискусија,
7. Закључак и Литература.

Дисертација је илустрована са 37 слика и има 13 табела, а литературни преглед садржи податке 135 референци, при чему је највећи број њих новијег датума, што указује на актуелност истраживања.

Кратак приказ појединачних поглавља

У **првом поглављу** изложена су уводна разматрања о предмету и циљевима истраживања у оквиру докторске дисертације.

Кандидат у овом поглављу указује на важност истраживања и потенцијалну примену легура испитиваних тројних система. Пошто се својства материјала могу променити додавањем других елемената охрабрујуће је проучавање различитих легура на начин да би се добиле легуре са добрим својствима. У овом раду кандидат се фокусирао на Ge и Ag легуре и њихова својства, због техничког значаја система заснованих на Ge и Ag и њихове посебне примене. Због свега тога, у овој дисертацији су испитивана три тројна система на бази Ag и Ge: Ag-Ga-Ge, Ag-Bi-Ge и Ag-Ge-In.

Са друге стране, сребро, германијум, бизмут, индијум, галијум и њихове легуре добијају све већи значај у индустрији електронике због својих повољних топлотних и електричних својстава. Због широке могуће примене легура на бази сребра и германијума, важно је истражити вишекомпонентне легуре на бази Ag-Ge.

За ово истраживање кандидат је користио експерименталне технике као што су: оптичка микроскопија (LOM), скенирајућа електронска микроскопија (SEM) са енергетски дисперзивном спектрометријом (EDS), рендгено дифрактометријска анализа (XRD), мерења тврдоће по Brinell методи и мерења електричне проводљивости.

Поред експерименталног испитивања у раду је извршен термодинамички прорачун равнотежних дијаграма стања тројних Ag-Ge-X ($X=Bi, In, Ga$) система применом CALPHAD (Calculation of Phase Diagrams) методе. На овај начин је дефинисана зависност Gibbsove енергије појединачних фаза у зависности од температуре и састава система.

У другом поглављу кандидат даје детаљан преглед досадашњих истраживања из научне области докторске дисертације. Испитивани тројни системи: Ag-Ge-Bi, Ag-Ge-In и Ag-Ge-Ga се састоје од седам двојних система: Ag-Ge, Ag-Bi, Ag-Ga, Ag-In, Bi-Ge, Ga-Ge и Ge-In, који су описани у овом поглављу на основу досадашњих доступних испитивања.

На основу прегледа литературе и релевантних библиографских извора утврђено је да за ова три испитивана тројна система (Ag-Ge-In, Ag-Ge-Bi и Ag-Ge-Ga), поред радова од Milisavljević и сарадника, који су вршили експериментална испитивања и термодинамички прорачун на 200 и 400 °C, нема података везаних за испитивања утицаја хемијског састава на микроструктуру, механичке и електричне особине, изузев података представљених у оквиру ове докторске дисертације.

У трећем поглављу су изложени основни циљеви докторске дисертације, као и методе које су коришћене. Утицај хемијског састава на микроструктуру, механичке и електричне особине легура тројних Ag-Ge-X ($X=Bi, In, Ga$) система, који су тема ове докторске дисертације још увек су, највећим делом, непознати, тако да је основно истраживачко питање докторске дисертације везано за дефинисање равнотежних дијаграма стања, као и механичких и електричних особина ових испитиваних тројних система.

У четвртном поглављу дат је преглед и кратак опис експерименталних техника које су коришћене у докторској дисертацији, а ради се о следећим:

- припрема узорака топљењем чистих метала у заштитној атмосфери и њихова термичка обрада,
- скенирајућа електронска микроскопија са EDS анализом (SEM-EDS), у циљу одређивања хемијског састава узорака и хемијског састава присутних фаза,
- рендгено – дифрактометријска анализа (XRD), у циљу идентификације присутних фаза у узорцима легура и одређивања кристалографских параметара присутних кристалних решетки,
- оптичка микроскопија (LOM), у циљу микроструктурне анализе испитиваних легура,

- одређивање електропроводљивости и тврдоће у циљу карактеризације испитиваних легура.

У петом поглављу су изложене основне теоријске поставке CALPHAD (calculation of phase diagrams) методе која је примењена за прорачун равнотежних дијаграма стања тројних: Ag-Ge-X (X=Bi, In, Ga) система. CALPHAD метода је базирана на одређивању зависности Gibbsove енергије од састава и температуре за све фазе у проучаваном систему. У том циљу прво је потребно одредити модел Gibbsove енергије за сваку фазу појединачно, водећи рачуна о кристалографским карактеристикама фазе. Затим се, на основу расположивих експерименталних и аналитичких података о фазној равнотежи и термодинамици испитиваног система, одређују вредности параметара који се јављају у једначинама модела индивидуалних фаза. Следећи корак је формирање термодинамичке базе података у којој се дефинишу фазе, термодинамички модели фаза и параметри модела. Прорачун равнотежног дијаграма стања се врши минимизацијом укупне Gibbsove енергије система, коришћењем специјалних програма на бази CALPHAD методе.

У шестом поглављу су изложени главни резултати докторске дисертације.

У седмом поглављу дат је сажет приказ главних резултата истраживања. У овој дисертацији тројни Ag-Ga-Ge, Ag-Bi-Ge и Ag-Ge-In системи су испитивани, како теоријски тако и експериментално. Сет података који су добијени и представљени у овој докторској дисертацији су поуздани. У даљем делу овог поглавља кандидат је укратко представио резултате за сваки систем појединачно.

У поглављу литература је дат списак коришћених референци у овом раду.

ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Савременост и оригиналност

Прегледом досадашње литературе може се закључити да утицај хемјског састава на микроструктуру, механичке и електричне особине тројних Ag-Ga-Ge, Ag-Bi-Ge и Ag-Ge-In система, који представљају предмет истраживања у овој докторској дисертацији, нису до сада ни у каквом облику истраживани. Резултати из оквира ове докторске дисертације представљају прво публикувано истраживање везано оза ову проблемтику.

Испитивани тројни системи јесу раније испитивани, али оно што је тема ове докторске дисертације односно, утицај хемјског састава на испитиване легуре, то до сада нико није испитивао.

На основу претходно наведеног може се закључити да докторска дисертација представља оригиналан научни допринос.

За испитивање поменутих тројних система примењен је савремени методолошки приступ. Овај приступ је базиран на комбинованој примени високо софистицираних

експерименталних техника и термодинамичког моделовања дијаграма стања према CALPHAD методологији.

Опис и адекватност примењених научних метода

Методе примењене за испитивање тројних система на бази германијума и сребра и у потпуности одговарају предмету и методологији истраживања.

У експерименталном делу рада коришћене су следеће методе:

1. Припрема узорка за испитивање

Узорци су припремљени топљењем одмерених маса елемената високе чистоће у индукционој пећи у атмосфери инертног гаса. Припремљени узорци су жарени на различитим температурама и у различитим временским интервалима а затим брзо хлађени-каљени у води са ледом како би се одговарајућа високотемпературна структура узорака сачувала за микроструктурна испитивања.

2. Металографска испитивања

Металографска испитивања узорка су извршена применом оптичке миктоскопије (LOM) и скенирајуће електронске микроскопије са енергетско дисперзионом спектрометријом (SEM-EDS). Овом анализом су уочене и идентификоване фазе присутне у микроструктури узорака.

3. Структурна анализа

Идентификација фаза и одређивање параметара кристалне решетке је изведена применом XRD анализе.

4. Механичка и електрична испитивања

За испитивне системе одређивана је тврдоћа по Brinell методи, као и вредности електричне проводљивости.

У аналитичком делу дисертације за прорачун равнотежних дијаграма стања коришћена је CALPHAD метода. Дефинисани су термодинамички модели и одређени параметри у једначинама модела фаза. Применом софтверског пакета PANDAT извршен прорачун равнотежних дијаграма стања испитиваних тројних система.

Оцена достигнутих способности кандидата за самосталан научни рад

Урађена докторска дисертација, анализа добијених резултата, као и проистекли публиковани научни радови везани за тематику обраде експерименталних резултата у самој дисертацији, указују на способност кандидата Александра Марковића, како за самостални научни рад (од почетне идеје до завршетка дисертације), тако и за активно учешће у тимском раду. Кандидат је током израде дисертације у потпуности овладао методологијом научно-истраживачког рада. Квалитет рада, организованост, систематичност, као и натпросечна мотивисаност, коју је показао током израде докторске дисертације су елементи који квалификују Александра Марковића, за будући успешан,

самостални и тимски научно-истраживачки рад. Савременост и оригиналност приказаних резултата показују висок ниво спремности кандидата за компетентно бављење научно-истраживачким радом.

ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Приказ остварених научних доприноса

- Добијање нових експерименталних резултата о микроструктури, фазним равнотежама, и фазним трансформацијама.
- Добијање информација о одређеним механичким, електричним и физичким карактеристикама испитиваних тројних система,
- Термодинамичко моделовање испитиваних тројних система на бази сопствених и литературних експерименталних и аналитичких података.

Критичка анализа резултата истраживања

Полазна хипотеза, на којој се базира докторска дисертација, је да ће комбинована примена изабраних експерименталних и аналитичких метода омогућити испитивање утицаја хемијског састава на микроструктуру, механичке и електричне особине легура тројних Ag-Ge-X (X=Bi, In, Ga) система.

У том погледу, резултати ове докторске дисертације, који укључују испитивања микроструктурних, термодинамичких, механичких и електричних својстава, имају велики значај. Практично све физичке и хемијске особине неког материјала зависе од карактеристика фаза у његовој структури као и од њиховог количинског односа.

Верификација научних доприноса

Научни допринос ове докторске дисертације верификован је кроз публикације проистекле као резултат истраживања у оквиру теме, о чему сведоче радови објављени у научним часописима и саопштења са научних скупова:

Радови из докторске дисертације:

1. **Aleksandar Markovic, Milena Premovic, Dusko Minic, Dejan Guresic, Dragan Manasijevic, Aleksandar Djordjevic, Effect of Chemical Composition on the Microstructure and Properties of the Ag-Ga-Ge Alloys, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 28 (6) (2019), 3759-3766, ISSN: 1059-9495, DOI: 10.1007/s11665-019-04118-8 (M23)**

2. **Aleksandar Marković**, Duško Minić, Milena Premović, Dragan Manasijević, Dejan Guresić and Milan Kolarević, Effect of chemical composition on the microstructure, hardness and electrical conductivity profiles of the Ag-Bi-Ge alloys, *Materials Research*, 22 (6) (2019), e20190372, ISSN: 1516-1439, DOI: 10.1590/1980-5373-mr-2019-0372 (M23)

Остали радови кандидата:

1. Duško Minić, Milena Premović, Dragan Manasijević, Vladan Čosović, Dragana Živković, **Aleksandar Marković**, Experimental investigation and thermodynamic Calculations of the Ag-Bi-Ga phase diagram, *Journal of Alloys and Compounds*, 646 (2015), 461-471, ISSN: 0925-8388, DOI: 10.1016/j.jallcom.2015.05.163 (M21)
2. Duško Minić, Yong Du, Milena Premović, Dragan Manasijević, Nada Talijan, Dušan Milisavljević, **Aleksandar Marković**, Aleksandar Đorđević, Milica Tomović, Experimental and thermodynamic description of ternary Bi-Cu-Ga system, *Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy*, 53 (3) (2017), 189-201, ISSN: 1450-5339, DOI: 10.2298/JMMB170505017M (M22)
3. Toskovic Nemanja, Minic Dusko, Premovic Milena, Manasijevic Dragan, Djordjevic Aleksandar, **Markovic Aleksandar**, Experimental Investigation of the Ternary Ge-Sn-In and Ge-Sn-Zn Systems, *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*, 39 (6) (2018), 933-943, ISSN: 1547-7037, DOI: 10.1007/s11669-018-0696-2 (M23)
4. Dejan Gurešić, Aleksandar Đorđević, **Aleksandar Marković**, Milica Tomović, Nadežda Talijan, Ivana Manasijević, Effect of chemical composition on the microstructure and properties of the Cu-Ge-Sb alloys, *Journal of Engineering & Processing Management*, 8 (1) (2016) 45-64, DOI: 10.7251/JEPMEN1608045G, UDK: 552.527:543.4 (M24)
5. Aleksandar Đorđević, Dušan Milisavljević, **Aleksandar Marković**, Milena Premović and Duško Minić, Experimental investigation and liquidus projection of ternary Bi-Ge-Sb system, The 47th International October Conference on Mining and Metallurgy, 04-07 October 2015, Bor Lake, Bor (Serbia), 285-288 (M33)
6. Dušan Milisavljević, Aleksandar Đorđević, **Aleksandar Marković**, Duško Minić and Milena Premović, Experimental investigation of isothermal sections at 373 K in ternary Bi-Ge-Sb system, The 47th International October Conference on Mining and Metallurgy, 04-07 October 2015, Bor Lake, Bor (Serbia), 279-284 (M33)
7. Milena Premović, Yong Du, Duško Minić, Aleksandar Đorđević, Dušan Milisavljević, **Aleksandar Marković**, Milica Tomović, Prediction of The Ge-In and Ge-Pb nano alloys phase diagrams, 16th International Foundrymen Conference Global Foundry Industry – Perspectives for the Future, 15-17 May 2017, Opatija (M33)

8. Duško Minić, Milena Premović, Dragana Zivkovic, Srđan Jovic, **Aleksandar Markovic** and Milica Tomovic, Microstructural investigation of ternary Al-Cu-Sb and Bi-Ge-Sb alloys, The 48th International October Conference on Mining and Metallurgy, 28 September - 01 October 2016, Bor, Bor (Serbia), 443-446 (M33)
9. Aleksandar Đorđević, Milena Premović, Milica Tomović, **Aleksandar Marković**, Experimental and thermodynamic description of ternary Bi-Cu-Ga system, *Osmi simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima*, 19-20 Jun 2017, Kosovska Mitrovica (Serbia), 44-45 (M34)
10. Milena Premović, **Aleksandar Markovic**, Vladan Čosović, Milica Tomović, Natalija Dolić, Xiaoma Tao, Experimental investigation of the ternary Ge-Sn-In system, *Deveti simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem*, 21-22 jun 2019, Kosovska Mitrovica, (Serbia) 52-53 (M34)
11. Nemanja Tošković, Milena Premović, Duško Minić, **Aleksandar Marković**, Characterization of the ternary Ge-Sn-Zn alloys, *Deveti simpozijum o termodinamici i faznim dijagramima sa međunarodnim učešćem*, 21-22 jun 2019, Kosovska Mitrovica, (Serbia) 54-55 (M34)
12. Milica Tomović, Aleksandar Đorđević, Jovana Galjak and **Aleksandar Marković**, mentor: dr. Milena Premović, Experimental investigation of isothermal sections at 200 °C of the ternary Al-Ag-Ga systems, The fifth international symposium for students, November 27, (2015), Faculty of Mechanical and Civil Engineering Kraljevo, (Serbia), 5-8.

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

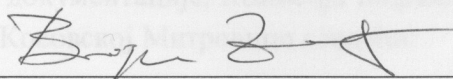
Докторска дисертација кандидата Александра Марковића, под насловом: „Утицај хемијског састава на микроструктуру, механичке и електричне особине легура тројних Ag-Ge-X (X=Bi, In, Ga) система“, представља савремен, оригиналан и значајан научни допринос. Дисертација је у сагласности са образложењем у пријави теме и садржи све елементе које предвиђа Правилник о докторским студијама Универзитета у Приштини – Факултета техничких наука у Косовској Митровици. Комисија потврђује да докторска дисертација има оригиналан и савремен научни допринос у области Технолошког инжењерства. На основу прегледане докторске дисертације, као и увида у верификован научни допринос кроз објављене радове у међународним научним часописима (два публикована рада у часописима са SCI листе као првопотписани аутор), комисија за оцену и одбрану урађене докторске дисертације закључује да кандидат Александар Марковић, испуњава све законске и остале услове за одбрану докторске дисертације. Стога Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Факултета техничких наука у Косовској Митровици да прихвати позитиван извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата Александра Марковића, под називом:

„Утицај хемијског састава на микроструктуру, механичке и електричне особине легура тројних Ag-Ge-X (X=Bi, In, Ga) система“,

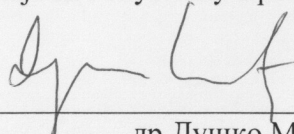
и да исти упути у даљу процедуру.

У Косовској Митровици,
21.08.2020. године

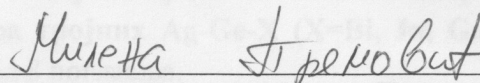
КОМИСИЈА:



др Владан Тосовић, научни саветник
Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, Институт од националног значаја за Републику Србију, Београд, председник



др Душко Минић, редовни професор
Универзитет у Приштини, Факултет техничких наука, Косовска Митровица, ментор



др Милена Премовић, доцент
Универзитет у Приштини, Факултет техничких наука, Косовска Митровица, члан