

Одлуком Наставно-научног вијећа Технолошког факултета у Зворнику, Универзитет у Источном Сарајеву, број 273/2020 од 21.02.2020. године, именована је Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Немање Тошковић под називом: " Експериментално одређивање, термодинамичко моделовање и карактеризација легура тројних Ge-Sn-X (X=Ag, In) система" у следећем саставу :

Др Душко Минић, редовни професор, ментор, Технички факултет Косовска Митровица, Универзитет Приштина са седиштем у Косовској Митровици, Србија (ужа научна област Материјали)

Др Милорад Томић, редовни професор, коментор, Технолошки факултет Зворник, Универзитет у Источном Сарајеву, РС, БИХ (ужа научна област Процесно инжењерство-Електрохемијско инжењерство)

Др Драган Манасијевић, редовни професор, члан, Технички факултет Бор, Универзитет Београд, Србија (ужа научна област Металуршко инжењерство-термодинамика и равнотежа фаза)

Др Миомир Павловић, редовни професор, члан, Технолошки факултет Зворник, Универзитет у Источном Сарајеву, РС, БИХ (ужа научна област Процесно инжењерство-Електрохемијско инжењерство)

Др Љубиша Балановић, ванредни професор, члан, Технички факултет Бор, Универзитет Београд, Србија (ужа научна област Металуршко инжењерство- екстрактивна металургија)

Комисија је извршила преглед и оцену докторске дисертације и подноси Наставно-научном већу Технолошког факултета Универзитета у Источном Сарајеву следећи

ИЗВЕШТАЈ

о оцени урађене докторске дисертације

1. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области о оцена урађене докторске дисертације

Изучавање тројних система на бази Ge-Sn привлачи велику пажњу истраживача. Повећана пажња за истраживање ових легура може се приписати специфичним особинама самих елемената Ge и Sn као што су добра изолаторска својства, лака обрадивост, ковност и многе друге. Такође, легуре на бази Ge су неопходне за развој меморијских материјала, прављење оптичких дискова, DVD-a, Blue-Ray дискова, флеш-меморија, итд. Познавање фазних дијаграма тројних система заснованих на бази Ge и Sn као и њихових механичких, електричних и корозионих својстава су од великог значаја због различитих примена у области енергетике, електронике и даљој практичној употреби.

Због широке потенцијалне примене, предмет истраживања у овом раду су два тројна система на бази германијума и калаја: Ge-Sn-Ag и Ge-Sn-In. Литературни подаци који се

односе на легуре ових тројних система нису доступни тако да су истраживања ових легура актуелна, посебно у областима: термодинамике, фазних дијаграма стања, механичких особина, електричне проводљивости и корозионе отпорности.

2. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области

Основни циљ овог рада је експериментално испитивање фазних дијаграма, њихов термодинамички прорачун и карактеризација легура тројних Ge-Sn-X ($X = \text{Ag}, \text{In}$) система. За експериментална испитивања ових тројних системима коришћене су следеће експерименталне технике: диференцијална термијска анализа (DTA), диференцијална скенирајућа калориметрија (DSC), X-гау дифрактометрија (XRD), скенирајућа електронска микроскопија са енергетско дисперзивном спектрометријом (SEM-EDS), мерење тврдоће по Brinell методи, мерење електричне проводљивости, потенциодинамичка поларизациона мерења - Tafel-ови дијаграми и електрохемијске импедансне спектроскопије (EIS).

Поред експерименталног испитивања у раду је извршен термодинамички прорачун равнотежних дијаграма стања тројних система применом CALPHAD (CALculation of PHase Diagrams) методе. За сваку фазу присутну у испитиваним системима одређен је термодинамички модел и вредности термодинамичких параметара које се у њему јављају. На овај начин је дефинисана зависност Gibbsове енергије појединачних фаза у зависности од температуре и састава система.

Након тога је применом програма Pandat вер. 8.1 минимизацијом укупне Gibbsове енергије система изведен прорачун равнотежних дијаграма стања испитиваних тројних система а добијени резултати су упоређени са експерименталним подацима. Одређени равнотежни дијаграми стања пружају увид у фазне трансформације, термичке особине, микроструктуру и друге особине испитиваних легура.

Пројекција зависности тврдоће (HB) и електричне проводљивости од процентуалног удела компонената легура тројног Ag-Ge-Sn система, добијена је коришћењем методологије одзивне површине (*Response Surface Methodology*). Обрада података је урађена у софтверском пакету *Design Expert v.9.0.6.2.*, при чему су предложени *Квадратни модел смеше (Quadratic Mixture model)* за тврдоћу (HB), односно *Кориговани кубни „Slack“ модел смеше (Reduced Cubic Slack Mixture model)* за електричну проводљивост. Коначне једначине математичких модела које адекватно описују зависност тврдоће мерене по Brinell-у и електричне проводљивости од процентуалног удела компоненти тројног Ag-Ge-Sn система дате су адекватним релацијама, респективно. Изолиније за тврдоћу по Brinell-у и електричну проводљивост, дате у оквиру графичких приказа развијених математичких модела прате присуство одговарајућих фаза у структури вертикалног пресека.

Користећи методологију одзивне површине (као и код тројног Ag-Ge-Sn система) и исти софтверски пакет *Design Expert v.9.0.6.2.*, извршена је пројекција зависности тврдоће (HB) и електричне проводљивости од процентуалног удела компонената легура и за тројни Ge-Sn-In систем. Од математичких модела који су на располагању, предложен је *Специјални модел смеше 4-ог реда (Special Quartic Mixture model)*, а коначне једначине математичких

модела које адекватно описују зависност тврдоће мерене по Brinell-у и електричне проводљивости од процентуалног удела компоненти тројног Ge-Sn-In система дате су одговарајућим релацијама респективно. Изолиније за тврдоћу по Brinell-у и електричну проводљивост, дате у оквиру графичких приказа развијених математичких модела прате присуство одговарајућих фаза у структури вертикалног пресека.

Дефинисана је корозиона отпорност (брзина корзије v_{corr} (mm/god)) у 3% NaCl за метале високе чистоће: Ge, Sn, Ag, In, пет саставних двојних легура Ge₅₀Sn₅₀, Ag₅₀Ge₅₀Ag₅₀Sn₅₀, Ge₅₀In₅₀, In₅₀Sn₅₀, шест легура тројног Ag-Ge-Sn система: 2 (Ag₃₀Ge₄₀Sn₃₀), 5 (Ag₂₅Ge₂₅Sn₅₀), 6 (Ag₁₅Ge₁₅Sn₇₀), 3 (Ag₆₅Ge_{17.5}Sn_{17.5}), 4 (Ag₈₀Ge₁₀Sn₁₀), 1 (Ag₄₅Ge₁₀Sn₄₅), седам легура тројног Ge-Sn-In система 7 (Ge₁₀In₁₀Sn₈₀), 6 (Ge₁₅In₁₅Sn₇₀), 2 (Ge₄₀In₃₀Sn₃₀), 3 (Ge₄₀In₂₀Sn₄₀), 1 (Ge₂₀In₄₀Sn₄₀), 4 (Ge_{17.5}In₆₅Sn_{17.5}), 5 (Ge₃₅In₃₅Sn₃₀).

Добијени резултати представљају оригинални допринос научном раду, фундаментални и практични значај у областима Процесног инжењерства и материјала.

3. Преглед остварених резултата рада кандидата у одређеној научној области

Кандидат мр Немања Тошковић је дипломирао и магистрирао на Технолошком факултету у Зворнику, Универзитета у Источном Сарајеву, студијски програм Хемијско инжењерство и технологија. На истом факултету на студијском програму Хемијско инжењерство, на модулу Електрохемијско инжењерство и материјали је уписао докторске студије на којима је положио све програмом предвиђене испите.

Запослен је у компанији ELIXIR GROUP на позицији Индустријски координатор за производњу минералних ђубрива. Говори енглески језик.

Кандидат се бавио припремом, презентацијом и објављивањем научних и стручних радова који су везани за различите аспекте из области хемијског инжењерства, технологије и материјала. До сада је написао, као аутор или коаутор, 14 научно-истраживачких и стручних радова који су објављени у истакнутим научним, стручним часописима, зборницима радова у целини или као апстракт.

Радови објављени на SCI листи:

[1] **Тошковић, Н.**, Минић, Д., Премовић, М., Манасијевић, Д., Ђорђевић, А., Марковић, А., (2018). Experimental Investigation of the Ternary Ge-Sn-In and Ge-Sn-Zn Systems, ASM International Journal of Phase Equilibria and Diffusion. Volume 39, Issue 6, децембар 2018, pp 933-943. ISSN 1547-7037. IF-1.315

[2] **Немања Тошковић**, Милена Премовић, Милорад Томић, Душко Минић, Драган Манасијевић, Милан Георгијевић (2019). Experimental examination and thermodynamic description of the ternary Ag-Ge-Sn systems, The Journal of Chemical Thermodynamics. Volume 13, април 2019, pp 563-571. <https://doi.org/10.100016/j.jct.2018.12.003>. IF-1.53

[3] Минић Д., Премовић М, **Тошковић Н.**, Манасијевић Д., Ћосовић В., Јанаћковић М., Томовић М. (2019), Experimental investigation and thermodynamic of the Bi – Ni – Pb phase diagram. Jan. 2019. Journal of Mining of Metallurgy Section B: Metallurgy 2019 on line, 24-24. <https://doi.org/10.2298/JMMB18112802414>.

Објављени радови у националним часописима:

[1] Тадић Г., Јотановић М., **Тошковић Н.**, Сикирић Д., Горичанец Д., (2014). Испитивање могућности коришћења отпадне топлоте у хидроелектрани „Зворник“ употребом високотемпературне топлотне пумпе, Научно-стручни часопис за климатизацију, грејање и хлађење (KGN), Vol 3, pp. 39-45.

[2] Тошковић, Д., Рајковић, М., Томић, М., **Тошковић, Н.**, Рајић, Д., (2016). Одређивање брзине корозије аустентних целика Ч4572 и Ч4583 у растворима калцијум-хипохлорита, Заштита материјала 57 (2), pp. 296-304, UDC :620.193 :669.122.227. ISSN 0351-9465.

[3] **Тошковић, Н.**, Рајић, Д., Васиљевић, Љ., Тошковић, Д., Рајковић, М. (2018). Determination of Au and Ag from iron ores combining FA and ICP/AES methods, Заштита материјала 59 (1) 2018, pp.77-81, UDC: 543.4/.5:546.57.59; doi:10.5937/ZasMat1801077T

Објављени радови на међународним конгресима:

[1] Павловић, М., **Тошковић, Н.**, Васиљевић, Љ., (2013) Device for electrochemical elimination of microorganisms in drink water, 5th Emc project conference international science conference reporting for sustainability, Већићи, Montenegro, pp 369-373.

[2] **Тошковић, Н.**, Павловић, М., Тошковић, Д., (2013), Утицај легираног слоја (FeSn_2) и порозности калајне превлаке на корозију белог лима, XV YuCorr, Међународна конференција, Тара, Србија, Књига радова, 420-430.CD

[3] **Тошковић, Н.**, Рајић, Д., Тошковић, Д., Рајковић, М., Процена изложености железа на белим лимовима и конзервама од белог лима, (2014). XVI YuCorr, Међународна конференција, Тара, Србија, Књига радова, 57.CD.

[4] Тошковић, Д., Рајић, Д., Павловић, С., **Тошковић, Н.**, (2014). Determination of corrosion rate austenitic steels $\check{c}$ 4571 and $\check{c}$ 4580 in a solution of calcium hypohlorite, Седми међународни Научни скуп Савремени материјали Бања Лука, 21-22.

[5] Павловић, С., **Тошковић, Н.**, Рајић, Д., Риђошић, М., Одређивање брзине корозије електрохемијских превлака цинка након накнадне обраде у растворима за хроматизацију, (2015). IV International Congress Engineering, Environmental and Materials in Processing Industry, Jahorina, Knjiga radova, CD, HS-23-S

[6] Рајковић, М., Ристић, М., Тошковић, Д., **Тошковић, Н.**, Рајић, Д., (2016). Десулфатизација фосфорне киселине додатком фосфата. XVIII YUCORR, Међународна конференција, Тара, Србија, Књига радова, 376, CD

[7] Рајић, Д., Тошковић, Н., Васиљевић, Љ., Тошковић, Д., Рајковић, М., (2017). Одређивање Au и Ag из руде гвожђа комбиновањем FA i ACP/AES metoda, V International Congres Engineering, Environmental and Materials in Processing Industry Jahorina, Knjiga radova str.1459-1468.USB,H-23-E

[8] **Немања Тошковћ**, Милена Премовић, Душко Минић, Александар Марковић, Characterization of the ternary Ge-Sn-Zn alloys, Девети симпозијум о термодинамици И фазним дијаграмима са међународним учешћем, 21-22 јун 2019, Косовска Митровица, Србија, 54-55

4. Оцјену о испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему (по поглављима)

Докторска дисертација кандидата, мр Немање Тошковић, под називом " Експериментално одређивање, термодинамичко моделовање и карактеризација легура тројних Ge-Sn-X (X=Ag, In) система" приказана је јасно и транспарентно на 90 странице формата A4, укључујући 47 слика и 38 табела. Дисертација се састоји од 7 основних поглавља, и то:

1. Увод,
2. Преглед досадашњих испитивања-Релевантни библиографски извори.
3. Циљ истраживања,
4. Експериментални део.
- 5.Термодинамички прорачун равнотежних дијаграма стања CALPHAD (CALculation of PHase diagram) методом.
6. Резултати и дискусија
7. Закључци.

Прво, уводно поглавље описује уводне напомене и дефинисање теме истраживања

У другом поглављу дат је преглед релевантних библиографских извора који описују пет двојних система (Ge-Sn, Ag-Ge, Ag-Sn, Ge-In, In-Sn), који улазе у састав испитиваних легура тројних Ge-Sn-X (X = Ag, In) система .

Претрагом релевантних библиографских извора утврђено је да за испитиване легуре тројних Ge-Sn-X (X = Ag, In) система до сада нема објављених резултата изузев података истраживања у оквиру ове дисертације .

У трећем поглављу је наведен циљ истраживања.

У четвртом поглављу су представљене експерименталне методе карактеризације легура : припрема узорака, метода термијске анализе, x-гау дифрактометријска анализа, скенирајућа електронска микроскопија са енергетско дисперзивним спектрометром SEM, мерење тврдоће, мерење електричне проводљивости, потенциодинамичка поларизациона метода и метода електрохемијске импедансне спектроскопије ЕИС.

У петом поглављу је представљен термодинамички прорачун равнотежних дијаграма

стања тројних Ge-Sn-Ag и Ge-Sn-In система CALPHAD методом.

У шестом поглављу су представљени резултати и дискусија испитивања за тројни систем Ag-Ge-Sn: термичких анализа DTA и DSC, изотермални пресек на 200C и на 300C, термодинамичко моделовање, резултати термодинамичких узрачувања и поређења са експериментима, пројекција ликвидус површине, мерење тврдоће по Бринеллу, мерење електричне проводљивости, пројекције зависности тврдоће (HB) и електричне проводљивости од процентуалног удела компоненти легура тројног Ag-Ge-Sn система и корозионе отпорности у 3% NaCl.

За тројни Ge-Sn-In систем су представљени резултати и дискусија: диференцијално термичке анализе DTA, изотермални пресек на 200C, пројекција ликвидус површине, мерење тврдоће, мерење електричне проводљивости, пројекције зависности тврдоће (HB) и електричне проводљивости од процентуалног удела компоненти легура тројног Ge-Sn-In система и корозионе отпорности у 3% NaCl.

У седмом поглављу-Закључци, сумирани су најважнији резултати истраживања докторске дисертације

Литература: У дисертацији је кориштено 129 извора литературе који се односе на предмет истраживања и представљају богату основу за анализу података и разумевање теме.

5. Научни резултати докторске дисертације

Истраживања спроведена у оквиру ове докторске дисертације у циљу потврде постављених хипотеза су у потпуности испунила очекиване резултате и постављене циљеве.

Научни допринос докторске дисертације се састоји у дефинисању фазних равнотежа код тројних система Ge-Sn-Ag и Ge-Sn-In као и у употпуњавању података везаних за термодинамичке, структурне, термичке, механичке, електричне и корозионе карактеристике ових тројних система у постојећој научној литератури. Научни допринос ове дисертације је и потпуна карактеризација већег броја легура сваког разматраног система.

6. Примјењивост и корисност резултата у пракси

Познавање равнотежних дијаграма стања омогућава увид у микроструктурне и термичке карактеристике испитиваних тројних система као и одређивање њихове међузависности. Дефинисани дијаграми стања и обимна карактеризација легура (тврдоћа, електрична проводљивост, пројекција зависности тврдоће (HB) и електричне проводљивости од процентуалног удела компонената легура, и корозина отпорост) могу даље пружити могућности јаснијег сагледавања потенцијалне примене испитиваних легура. Добијени резултати проистекли из истраживања у овом раду, требало би да укажу на евентуалну могућност ширења технолошке примене легура разматраних тројних система у областима енергетике, електронике у процесној индустрији.

7. Начин презентирања резултата научној јавности

Кандидат је презентовао резултате из предложене докторске дисертације, научној јавности кроз објављивање два научна рада (SCI листа) :

[1] **Тошковић, Н.**, Минић, Д., Премовић, М., Манасијевић, Д., Ђорђевић, А., Марковић, А., (2018). Experimental Investigation of the Ternary Ge-Sn-In and Ge-Sn-Zn Systems, ASM International Journal of Phase Equilibria and Diffusion. Volume 39, Issue 6, Decembar 2018, pp 933-943. ISSN 1547-7037. IF-1.315

[2] **Немања Тошковић**, Милена Премовић, Милорад Томић, Душко Минић, Драган Мнасијевић, Милан Георгијевић (2019). Experimental examination and thermodynamic description of the ternary Ag-Ge-Sn systems, The Journal of Chemical Thermodynamics. Volume 13, April 2019, Pages 563-571. <https://doi.org/10.100016/j.jct.2018.12.003>. IF-1.53

Такође, Комисија истиче да је дисертација прегледана и контролисана у складу са одредбама Правилника о кориштењу софтвера са детекцију плагијаризма на Универзитету у Источном Сарајеву.

С тим у вези, Комисија констатује да поменута докторска дисертација представља оригиналан научни допринос кандидата.

8. Закључак и приједлог

На основу детаљног прегледа и анализе завршене докторске дисертације мр Немање Тошковић под називом "Експериментално одређивање, термодинамичко моделовање и карактеризација легура тројних Ge-Sn-X (X=Ag, In) система" комисија је закључила да је кандидат изабрао веома актуелну и оригиналну тему истраживања, коју је спровео поштујући све принципе научног рада, користећи савремене методе за истраживање и анализу резултата.

Текст дисертације је писан прегледно, систематично и лако разумљивим стилом. Кандидат је показао да влада потребним знањима из области на коју се односи тема дисертације, те да има шири увид у истраживања реализована од стране других истраживача.

Добијени резултати представљају оригинални допринос научном раду, фундаментални и практични значај у областима Процесног инжењерства и материјала .

На основу наведеног, Комисија даје позитивну оцјену и са задовољством предлаже Наставно-научном вијећу Технолошког факултета у Зворнику, Универзитета у Источном Сарајеву да прихвати Извјештај о урађеној докторској дисертацији мр Немање Тошковић под називом, "Експериментално одређивање, термодинамичко моделовање и карактеризација легура тројних Ge-Sn-X (X=Ag, In) система" и одобри њену јавну одбрану.

Зворник, 15.03.2020 године.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

Др Душко Минић, редовни професор, ментор,
Универзитет Приштина, Технички факултет Косовска Митровица

Др Милорад Томић, редовни професор, коментор,
Универзитет у Источном Сарајеву, Технолошки факултет Зворник

Др Драган Манасијевић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Технички факултет Бор

Др Миомир Павловић, редовни професор,
Универзитет у Источном Сарајеву, Технолошки факултет Зворник

Др Љубиша Балановић, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Технички факултет Бор
