

ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ
35/510
(Број захтева)

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ВЕЋЕ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
(Назив већа научне области и коме се захтев упућује)

09.12.2016.
(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

„Синтеза и карактеризација ватросталних материјала на бази волфрама“
(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

ЈЕЛЕНА (Милосав) ЛУКОВИЋ, дипл. инж. технологије

2. Назив и седиште факултета на коме је стекао основно образовање: **Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет.**

3. Година дипломирања: 2010.

Студент је шк. 2010/2011. године уписан на докторске академске студије.
На захтев студента, а уз сагласност ментора, донето је Решење број 20/123 од 06.10.2016. године о продужењу рока за завршетак студија за још два семестра шк. 2016/2017. године.

Обавештавамо Вас да је **Наставно-научно веће**, на седници одржаној **24.11.2016. године** размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем
2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације
3. Подаци о ментору.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата **Јелена Луковић**

Име и презиме ментора: **проф. Др Татјана Волков-Хусовић**

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Posarac-Markovic Milica B., Veljovic Djordje N., Devecerski Aleksandar B, Matovic Branko Z, **Volkov-Husovic Tatjana D.**, Nondestructive evaluation of surface degradation of silicon carbide-cordierite ceramics subjected to the erosive wear, MATERIALS & DESIGN, (2013), vol. 52 br. , str. 295-299, ISBN 0261-3069, IF =2.805
2. Vlahovic Milica M Jovanic Predrag B Martinovic Sanja P Boljanac Tamara Dj **Volkov-Husovic Tatjana D**, Quantitative evaluation of sulfur-polymer matrix composite quality, COMPOSITES PART B-ENGINEERING, (2013), vol. 44 br. 1, str. 458-466, ISSN 1359-8368 IF = 2.134
3. Kljajevic Ljiljana M Nenadovic Snezana S Nenadovic Milos T Gautam Devendraprakash **Volkov-Husovic Tatjana D** Devecerski Aleksandar B Matovic Branko Z, Spark plasma sintering of ZrC-SiC ceramics with LiYO2 additive, CERAMICS INTERNATIONAL, (2013), vol. 39 br. 5, str. 5467-5476, ISSN 0272-8842, IF=1.968
4. Branko Matović, Dusan Bučevac, Vladimir Urbanović, Nadezda Stanković, Nina Daneu, **Tatjana Volkov-Husović**, Biljana Babic, Monolithic nanocrystalline SiC ceramics, Journal of the European Ceramic Society, Volume 36, Issue 12, September 2016, Pages 3005–3010, ISSN 0955-2219, IF= 2,993
5. Matovic, B., Zivic, F.b Mitrovic, S., Prsic, D., Maksimovic, V., **Volkov-Husovic, T.**, Kumar, R. , Ultra-high pressure densification and properties of nanostructured SiC, Materials Letters, Volume 164, 1 February 2016, Pages 68-71, ISSN 0167-577X, IF -2.412,
6. Martinovic Sanja P Vlahovic Milica M Boljanac Tamara Dj Dojcinovic Marina **Volkov-Husovic Tatjana D**, Cavitation resistance of refractory concrete: Influence of sintering temperature, JOURNAL OF THE EUROPEAN CERAMIC SOCIETY, (2013), vol. 33 br. 1, str. 7-14, ISSN 0955-2219, IF=2.360

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техничкотехнолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11, M12, M13, M14, M41 и M51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум: 5.9.2016.

М.П.

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата **Јелена Луковић**

Име и презиме ментора: др Бранко Матовић

Звање: научни саветник, Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке
Винча

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **Matović, B.**, Nikolić, D., Labus, N., Ilić, S., Maksimović, V., Luković, J., Bučevac, D.,: *Preparation and properties of porous, biomorphic, ceria ceramics for immobilization of Sr isotopes*, - *Ceramics International*, 39 [8] 9645–9649 (2013), DOI: 10.1016/j.ceramint.2013.05.086, Impact Factor: 2.605, ISSN: 0272-8842. (M21)
2. Luković, J., Babić, B., Bučevac, D., Prekajski, M., Pantić, J., Bašćarević, Z., **Matović, B.**: *Synthesis and characterization of tungsten carbide fine powders*, - *Ceramics International*, 41 [1] 1271–1277 (2015), DOI: 10.1016/j.ceramint.2014.09.057, Impact Factor: 2.605, ISSN: 0272-8842. (M21)
3. **Matović, B.**, Pantić, J., Luković, J., Čebela M., Dmitrović, S., Mirković, M., Prekajski, M.: *A novel reduction-oxidation synthetic route for hafnia*, - *Ceramics International*, 42 [1] 615–620 (2016), DOI: 10.1016/j.ceramint.2015.08.155, Impact Factor: 2.605, ISSN: 0272-8842. (M21)
4. **Matović, B.**, Bučevac, D., Urbanović, Vb, Stanković, N., Daneu, Nc, Volkov-Husović, T., Babić, B., *Monolithic nanocrystalline SiC ceramics*, *Journal of the European Ceramic Society*, Volume 36, Issue 12, 1 September 2016, Pages 3005–3010 Impact Factor: 2.993, ISSN: Impact Factor: 2.605, ISSN: 0272-8842.. (M21)
5. **Matovic, B**, Zivic, F., Mitrovic, S., Prsic, D., Maksimovic, V., Volkov-Husovic, T.d, Kumar, R., *Ultra-high pressure densification and properties of nanostructured SiC*, *Materials Letters*, Volume 164, 1 February 2016, Pages 68-71 Impact Factor: 2.437, ISSN 0167-577X. (M21)
6. Prekajski, M., Zarubica, A., Babić, B., Jokić, B., Pantić, J., Luković, J., **Matović, B.**: *Synthesis and characterization of Cr³⁺ doped TiO₂ nanometric powders* - *Ceramics International*, 42 [1] 1862–1869 (2016), DOI: 10.1016/j.ceramint.2015.09.151, Impact Factor: 2.605, ISSN: 0272-8842. (M21)
7. Prekajski, M., Mirković, M., Todorović, B., Matković, A., Marinović-Cincović, M., Luković, J., **Matović, B.**: *Ouzo effect-New simple nanoemulsion method for synthesis of strontium hydroxyapatite nanospheres* - *Journal of the European Ceramic Society*, 36 [5] 1293–1298 (2016), DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2015.11.045, Impact Factor: 3.067, ISSN: 0955-2219. (M21)
8. Kostogloua, N., Luković, J., Babić B., **Matović, B.**, Photioud, D., Constantinidesd, G., Polychronopoulou, K., Ryzhkovf, V., Grossmann, B., Mitterera, C., Rebholz, C. : *Few-step synthesis, thermal purification and structural characterization of porous*

- boron nitride nanoplatelets -Materials & Design, 110 540–548 (2016) DOI: 10.1016/j.matdes.2016.08.011, Impact Factor: 3.997, ISSN: 0264-1275. (M21)
9. **Matović, B.**,Pantić, J.,Luković, J.,Ilić, S., Stanković, M,Kokunešovski, M., Miljević, M.:*Synthesis and characterization of (Ba,Yb) doped ceria nanopowders*, - Processing and Application of Ceramics,5 [2] 69-72 (2011). Impact Factor: 0.944, Impact Factor: 3.997, ISSN: 0264-1275 (M22)

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техникотехнолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11, M12, M13, M14, M41 и M51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум: 5.9.2016.

М.П.

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

ДП

На основу чл. 30. став 3. Закона о високом образовању, чл. 40. Статута ТМФ-а и чл. 32. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 24.11.2016. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата
за израду докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата и одобрава израда докторске дисертације ЈЕЛЕНИ ЛУКОВИЋ, дипл. инж. технологије, под називом: „Синтеза и карактеризација ватросталних материјала на бази волфрама“.

Одлуку о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације доноси Универзитет у Београду.

За менторе се одређују: др Татјана Волков-Хусовић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Бранко Матовић, научни саветник Универзитета у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду на сагласност, кандидату, менторима, Служби за наставно студентске послове и архиви Факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Јелена Луковић за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 35/443 од 15.9.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Јелене Луковић, дипл. инж. за израду докторске дисертације и научне заснованости теме:

Синтеза и карактеризација ватросталних материјала на бази волфрама

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Јелена (Милосав) Луковић је рођена 08.05.1984. године у Београду. Основну школу завршила је у Београду, као и VI београдску гимназију, коју завршава 2003. године. Исте године уписује Технолошко-металуршки факултет, Универзитета у Београду. Дипломира 2010. године на смеру хемијско инжењерство са просечном оценом 8.11, одбравивши дипломски рад са темом: „Примена модела кубне једначине стања за израчунавање допунске моларне запремине бинарних и тернерних смеша неелектролита“.

Године 2010. уписује докторске студије на смеру хемијско инжењерство Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду где је у октобру 2013. године одбранила завршни рад под називом: „Својства, методе синтезе и карактеризације волфрам карбида“. У оквиру докторских студија положила је све испите предвиђенес тудијским програмом, са просечном оценом 9,50.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Од фебруара 2011. године стално је запослена у Институту за нуклеарне науке Винча у Лабораторији за материјале. Ангажована је на пројекту интегралних и интердисциплинарних истраживања: „Синтеза, процесирање и карактеризација наносруктурних материјала за примену у области енергије, механичког инжењерства, заштите животне средине и биомедицине“, Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (број пројекта ИИИ 45012).

Научно-истраживачки рад Јелене Луковић одвија се у области наноматеријала, где је укључена у истраживања која су у вези са синтезом и карактеризацијом ових материјала, са посебним занимањем за ватросталне материјале на бази волфрама. У свом досадашњем научно-истраживачком раду аутор и коаутор је 6 радова у врхунском међународном часопису (M21), 3 рада у истакнутом међународном часопису (M22), као и 15 саопштења са међународног скупа штампано у изводу (M34).

Списак положених испита у оквиру докторских студија

Редни бр.	Назив предмета	Оцена	ESPB
1	Материјали са специфичним електричним, топлотним, магнетним и оптичким својствима	10	4
2	Специјална поглавља преноса масе	10	4
3	Нумеричке методе у хемијском инжењерству	10	4
4	Аналогије феномена преноса	7	5
5	Специјална поглавља преноса топлоте	10	4
6	Хемијска кинетика	7	5
7	Виши курс термодинамике	10	5
8	Пренос топлоте и енергетска интеграција	10	5
9	Физичко-механичка испитивања материјала (виши курс)	10	4
10	Структура и својства композитних материјала	10	5
11	Одабрана поглавља математичке анализе	10	5
12	Енглески језик	10	
13	Завршни испит	10	30
Средња оцена/укупно		9,50	80

Објављени научни радови и саопштења

Рад у врхунском међународном часопису, M21

1. Matović, B., Nikolić, D., Labus, N., Ilić, S., Maksimović, V., **Luković, J.**, Bucevac, D.: *Preparation and properties of porous, biomorphic, ceria ceramics for immobilization of Sr isotopes*, - *Ceramics International*, Vol39, No 8, 2013, pp. 9645–9649, doi: 10.1016/j.ceramint.2013.05.086, ISSN: 0272-8842, IF 2013: 2.110
2. **Luković, J.**, Babić, B., Bučevac, D., Prekajski, M., Pantić, J., Baščarević, Z., Matović, B.: *Synthesis and characterization of tungsten carbide fine powders*, - *Ceramics International*, Vol41, No 1, 2015, pp. 1271–1277, doi: 10.1016/j.ceramint.2014.09.057, ISSN: 0272-8842, IF 2015: 2.661
3. Matović, B., Pantić, J., **Luković, J.**, Čebela M., Dmitrović, S., Mirković, M., Prekajski, M.: *A novel reduction-oxidation synthetic route for hafnia*, - *Ceramics International*, Vol42, No 1, 2016, pp. 615–620, doi: 10.1016/j.ceramint.2015.08.155, ISSN: 0272-8842, IF 2016: 2.661,
4. Prekajski, M., Zarubica, A., Babić, B., Jokić, B., Pantić, J., **Luković, J.**, Matović, B.: *Synthesis and characterization of Cr³⁺ doped TiO₂ nanometric powders*, - *Ceramics International*, Vol42, No 1, 2016, pp. 1862–1869, doi: 10.1016/j.ceramint.2015.09.151, ISSN: 0272-8842, IF 2016: 2.661.
5. Prekajski, M., Mirković, M., Todorović, B., Matković, A., Marinović-Cincović, M., **Luković, J.**, Matović, B.: *Ouzo effect-New simple nanoemulsion method for synthesis of*

strontium hydroxyapatite nanospheres - Journal of the European Ceramic Society, Vol36, No 5, 2016, pp. 1293–1298, doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2015.11.045, ISSN: 0955-2219, IF 2015: 2.933.

6. Kostogloua, N., **Luković, J.**, Babić B., Matović, B., Photioud, D., Constantinidesd, G., Polychronopoulou, K., Ryzhkovf, V., Grossmanna, B., Mitterera, C., Rebholz, C.: *Few-step synthesis, thermal purification and structural characterization of porous boron nitride nanoplatelets* -Materials & Design, Vol110, pp. 540–548, 2016, doi:10.1016/j.matdes.2016.08.011, ISSN: 0264-1275, IF 2015: 4.023

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу, М34

1. **Luković, J.**, Stanković, N., Prekajski, M., Pantić, J., Matović, B., Kijevčanin, M., Babić, B.: Synthesis of Nanocrystalline Tungsten Carbide, Conference for Young Scientists, The Ninth Student' Meeting, SM-2011, and 2nd ESR COST MP0904 Workshop, November 16th-18th, 2011, Novi Sad, Srbija, Book of Abstracts, str.26.
2. Gordić, M., Babić, B., **Luković, J.**, Matović, B.: Biomimetic Synthesis and Properties of Cellular SiC, 2nd Conference of The Serbian Ceramic Society, 5-7. June, 2013, Belgrade, Serbia, Book of Abstracts, str.37.
3. Prekajski, M., Pantić, J., **Luković, J.**, Matović, B., Kremenović, A.: Thermal stability and electrical properties of $\text{Ce}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_{2-\delta}$ ($x = 0.1-0.5$) solid solution, The Tenth Students' Meeting, SM-2013, Processing and application of ceramics, Novi Sad, Serbia, November 6 – 9, 2013, Novi Sad, Serbia, Book of Abstracts, str.35.
4. **Luković, J.**, Babić, B., Prekajski, M., Bučevac, D., Bašćarević, Z., Kijevčanin, M., Matović, B.: New synthesis method and characterization of porous nanometric tungsten carbide, Book of Abstracts, str. 71
5. Pantić, J., **Luković, J.**, Čebela, M., Minović, T., Mirković, M., Ilić, S., Rosić, M.: Synthesis and characterization of sphere based ceramics, ROSOV PIN 2014, Centar for Industrial and Technological development "Adrevlje", Fruška Gora, Serbia, October 23-24, 2014, Book of Abstracts, str. 136.
6. Prekajski, M., Pantić, J., **Luković, J.**, Stojmenović, M., Branković, G., Matović, B.: Synthesis and characterization of $\text{Ce}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_{2-\delta}$ solid solution for application in solid oxide fuel cells, Second regional roundtable: Refractory, process industry and nanotechnology, ROSOV PIN 2014, 23-24 October, Andrevlje, Fruška Gora, Serbia, Book of Abstracts, str. 137.
7. **Luković, J.**, Babić, B., Prekajski, M., Pantić, J., Stojmenović, M., Pašti, I., Matović, B.: Simple tungsten carbide synthesis from tungsten(IV)oxide, Second regional roundtable: Refractory, process industry and nanotechnology, ROSOV PIN 2014, Centar for Industrial and Technological development "Adrevlje", Fruška Gora, Serbia, October 23-24, 2014, Book of Abstracts, str. 138.
8. **Luković, J.**: Characterization and sintering of tungsten carbide (WC), XIX International Scientific Conference of Young Scientist and Specialists, February 16-20, (2015), Dubna, Russia, Book of Abstracts, str.100.
9. **Luković, J.**, Kumar, R., Pantić, J., Prekajski, M., VolkovHusović, T., Matović, B.: Sintering of WC with W-silicide additive, Advanced Research Workshop Engineering Ceramics 2015, May 10-14, (2015), Smolenice Castle, Slovakia, Book of Abstracts, str.83.

10. Prekajski, M., Zarubica, A., Kalijadis, A., Pantić, J., **Luković, J.**, Matović, B.: A novel synthesis route for nanocrystalline doped TiO₂ systems, Advanced Research Workshop Engineering Ceramics 2015, May 10-14, (2015), Smolenice Castle, Slovakia, Book of abstracts, str.80.
11. **Luković, J.**, Kumar, R., Milovanović, D., VolkovHusović, T., Matović, B.; Sintering and Characterization of Tungsten Carbide with Tungsten Silicides as Sintering Additives, Drugakonferencija „Savremenemetodeispitivanjaievaluacije u nauci“ - NANT 15, December 14-16, (2015), Belgrade, Serbia, Book of Abstracts, str. 208.
12. Pantić, J., Milošević, M., **Luković, J.**, Prekajski, M., Mirković, M., Matović, B.: Phase evolution of sphene based ceramics during annealing, 11th Conference for Young Scientist in Ceramics, SM-2015, Novi Sad, Serbia, October 21-24, 2015, Book of Abstracts, str. 37.
13. Prekajski, M., Miljević, M., Pantić, J., **Luković, J.**, Matović, B.: Ouzo effect – as the new simple nanoemulsion method for synthesis of strontium hydroxyapatite nanospheres, , 11th Conference for Young Scientist in Ceramics, SM-2015, Novi Sad, Serbia, October 21-24, 2015, Book of Abstracts, str. 73.
14. Dmitrović, S., **Luković, J.**, Prekajski, M.: Synthesis and characterisation of Ag doped ceria nanopowders. , 11th Conference for Young Scientist in Ceramics, SM-2015, Novi Sad, Serbia, October 21-24, 2015, Book of Abstracts, str. 76.
15. Čebela, M., Hercigonja, R., Ilić, S., Mirković, M., Pantić, J., **Luković, J.**, Matović, B.: Synthesis, optical and magnetic properties studies of multiferroic BiFeO₃, , 11th ti, SM-2015, Novi Sad, Serbia, October 21-24, 2015, Book of Abstracts , str. 78.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу претходно приказаних резултата досадашњег рада и оствареног искуства током докторских студија и у оквиру научноно-истраживачког рада, дипломирани инжењер технологије Јелена Луковић је показала интерес и изузетну склоност и способност за бављење научно-истраживачким радом што потврђује и значајан број до сада објављених научних радова. Из области истраживања, из које се предлаже тема докторске дисертације, до сада је објављен један рад. На основу свега до сада изложеног Комисија закључује да кандидат испуњава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет овог рада, у ширем смислу, биће синтеза и карактеризација материјала на бази волфрама – карбида и силицида волфрама.

Двадесетих година прошлог века група истраживача из Немачке долази на идеју за коришћење волфрам карбида (WC) за замену дијаманта који се до тада користио као калуп за извлачење волфрамових влакана за лампе. Иако WC није успешно примењен за ове сврхе, од тада па до данас постоји велико интересовање за овај материјал. Изузетно велика револуција у производњи алата, која је допринела наглom порасту продуктивности и смањењу трошкова производње, дешава се услед синтетисања цементираног карбида – материјала на бази волфрам карбида уз додатак везива. Са друге стране, још од како су Леви и Боудар открили да волфрам карбид показује слична својства као и платина у смислу електронске структуре и хемисорпције водоника, могућност примене волфрам карбида у катализи је привукла велику пажњу истраживача широм света. Услед велике потребе за оваквим материјалом, објављен је велики број публикација у вези са веома различитим методама његове синтезе, као и велики број радова који приказују резултате испитивања многих карактеристика овог материјала

међу којима се истичу висока температура топљења, велика отпорност на хабање, висока отпорност на оксидацију, добра термичка и електрична проводљивост. Волфрам дисилицид, који карактеришу ниска електрична отпорност, изузетна отпорност на оксидацију и добра термичка стабилност, је много мање окарактерисан материјал. Највећи број публикација објављен је у последњих 20 година, када долази до развоја микроелектронике у којој је овај материјал примењен за повећање проводљивости и повећање брзине сигнала примењених материјала. Због сталне потребе за нешто класичнијим материјалом попут волфрам карбида, као и потребе савременог времена за недовољно окарактерисаним материјалом волфрам силицидом, истраживања везана за синтезу и карактеризацију ових материјала имају висок практични значај.

Сам ток синтезе материјала утиче на карактеристике добијених материјала, што је посебно специфично за наноматеријале. Помоћу постизања услова за сагоревање елементарних прахова могуће је синтетисати ова једињења. Део рада ће се односити на разматрање услова процеса сагоревања које је потребно применити. На основу литературних података, као и експеримената биће разматран утицај преноса топлоте у пећи на услове синтезе узорка. Биће извршена анализа услова преноса топлоте у пећима које се према литературним подацима користе за ову врсту синтезе, као и опреме, односно пећи која ће бити примењена у експерименталном делу. На основу добијених резултата анализе биће одређен даљи ток експеримента у смислу примењених услова који се одосе на пренос топлоте у пећи. У зависности од температуре и времена задржавања у пећи, као и односа прекурсора, могуће је одабрати оптималне услове за добијање ових материјала. Због тога, део истраживања биће усмерен на одређивање оптималних услова синтезе, узимајући у обзир оптималност времена, температуре, као и карактеристике добијених прахова.

У литератури, денсификација волфрам карбида је систематично обрађена, где се најбољи резултати добијају додвањем везива. Ова везива ниске температуре топљења најчешће лако оксидују и кородирају. Да би се превазишли ови проблеми, за примену материјала у екстремним условима, испитивање додавања волфрам силицида као везива у волфрам карбид се намеће као битан додатак досадашњим истраживањима.

Циљ истраживања је одређивање оптималних услова синтезе прахова волфрам карбида и волфрам силицида. Такође, овим истраживањем ће бити испитана могућност синтеровања волфрам карбида уз додатак новог везива, волфрам силицида, ради побољшања својстава добијених материјала за примену у различитим условима.

Најважнији литературни подаци који се односе на дату тему:

1. E. P. Barrett, L. G. Joyner, P. P. Halenda, "The Determination of Pore Volume and Area Distributions in Porous Substances. I. Computations from Nitrogen Isotherms," *Journal of American Chemical Society*, vol. 73, no. 1, pp. 373-380, 1951.
2. C. Gelain, A. Cassuto and P. Le Goff, "Kinetics and mechanism of the low-pressure, high-temperature oxidation of tungsten silicides-III," *Oxidation of Metals*, vol. 3, no. 2, pp. 153-169, 1971.
3. R. L. Levy, M. Boudart, "Platinum-like behavior of tungsten carbide in surface catalysis," *Science*, vol. 181, pp. 547-549, 1973.
4. L. H. Bennett, J. R. Cuthill, A. J. McAlister, N. E. Erickson, R. E. Watson, "Electronic structure and catalytic behavior of tungsten carbide," *Science*, vol. 184, no. 3, pp. 563-565, 1974.
5. K. S. W. Sing, D. H. Everett, R.A.W. Haul, L. Moscou, R. A. Pierotti, J. Rouquerol, T. Siemieniewska, "Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity," *Pure and Applied Chemistr*, vol. 57, no. 4, pp. 603-619, 1985.
6. W. C. Oliver and G. M. Pharr, "An improved technique for determining hardness and elastic

modulus using load and displacement sensing indentation experiments,”*Journal of Materials Research*, vol. 7, no. 06, pp. 1564-1583, 1992.

7. S. Oyama, “Introduction to the chemistry of transition metal carbides and nitrides,”*The Chemistry of Transition Metal Carbides and Nitrides*, Springer Netherlands, pp. 1-27, 1996.
8. H. O. Pierson, *Handbook of refractory carbides and nitrides: Properties, Characteristics, Processing and Applications*, Elsevier Inc., 1996.
9. C. Suryanarayana, Grant Norton M., “X-ray Diffraction: A Practical Approach,” Springer, New York, 1998.
10. S. L. Kharatyan, H. Chatilyan and A. B. Harutyunyan, “High-Temperature Silicon Diffusivities in Mo_5Si_3 and W_5Si_3 Phases,”*Defect and Diffusion Forum*, vol. 194-199, pp. 1557-1562, 2001.
11. C. Suryanarayana, “Mechanical alloying and milling,”*Progress in Materials Science*, vol. 46, no. 1–2, pp. 1-184, 2001.
12. K. H. Lee, J. K. Yoon, J. K. Lee, J. M. Doh, K. T. Hong and W. Y. Yoon, “Growth kinetics of W_5Si_3 layer in WSi_2/W system,”*Surface and Coatings Technology*, vol. 187, no. 2-3, pp. 146-153, 2004.
13. W. C. Oliver and G. M. Pharr, “Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation Advances in understanding and refinements to methodology,”*Journal of Materials Research*, vol. 19, no. 07, pp. 3-20, 2004.
14. L. Cai and Wang, “Microstructure and dry-sliding wear resistance of laser clad tungsten reinforced $\text{W}_5\text{Si}_3/\text{W}_2\text{Ni}_3\text{Si}$ intermetallic coatings,”*Applied Surface Science*, vol. 235, no. 4, pp. 501-506, 2004.
15. J. K. Yoon, K. W. Lee, S. J. Chung, I. J. Shon, J. M. Doh and G. H. Kim, “Growth kinetics and oxidation behavior of WSi_2 coating formed by chemical vapor deposition of Si on W substrate,”*Journal of Alloys and Compounds*, vol. 420, no. 1-2, pp. 199-206, 2006.
16. G. Schultes, M. Schmitt, D. Goettel, O. Freitag-Weber, “Strain sensitivity of TiB_2 , TiSi_2 , TaSi_2 and WSi_2 thin films as possible candidates for high temperature strain gauges,”*Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 126, no. 2, pp. 287-291, 2006.
17. H. S. Kim, J. K. Yoon, G. H. Kim, J. M. Doh, S. I. Kwun and K. T. Hong, “Growth behavior and microstructure of oxide scales grown on WSi_2 coating,”*Intermetallics*, vol. 16, no. 3, pp. 360-270, 2008.
18. L. Girardinia, M. Zadraa, F. Casaria and A. Molinarib, “SPS, binderless WC powders, and the problem of sub carbide,”*Metal Powder Report*, vol. 63, no. 4, pp. 18-22, 2008.
19. P. Feng, A. Farid, X. Wang, I. S. Humail, X. Qu, “Mechanically activated reactive synthesis of refractory molybdenum and tungsten silicides,”*International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 26, no. 3, pp. 137-138, 2008.
20. S. Martinovic, M. Vlahovic and M. V.-H. T. Dojcinovic, “Thermomechanical properties and cavitation resistance of a high-alumina low-cement castable,”*International Journal of Applied Ceramic Technology*, vol. 8, no. 5, pp. 1115-1124, 2010.
21. J. Ma, S. G. Zhu, “Direct solid-state synthesis of tungsten carbide nanoparticles from mechanically activated tungsten oxide and graphite,”*International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 28, no. 5, pp. 623-627, 2010.
22. X. Tao, P. Jund, C. Colinet, J.C. Tédénac, “First-principles study of the structural, electronic and elastic properties of W_5Si_3 ,”*Intermetallics*, vol. 18, no. 4, pp. 688-693, 2010.
23. C. E. Sveen, Y. Shi, “Effect of filament temperature and deposition time on the formation of tungsten silicide with silane,”*Thin Solid Films*, vol. 519, no. 14, pp. 4447-4450, 2011.
24. C. Giordano, M. Antonietti, “Synthesis of crystalline metal nitride and metal carbide nanostructures by sol–gel chemistry,”*Nano Today*, vol. 6, no 4, pp. 366-380, 2011.
25. Y. Jin, D. Liu, X. Li, R. Yang, “Synthesis of WC nanopowders from novel precursors,”*International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol.29, no 3, pp. 372–375, 2011.

26. Md. Z. Alam, S. Saha, B. Sarma, D. K. Das, "Formation of WSi_2 coating on tungsten and its short-term cyclic oxidation performance in air," *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 29, no. 1, pp. 54-63, 2011.
27. J.S. Gama, J.B. Wagener, P.L. Crouse, "A thermogravimetric study of the reactions of tungsten disilicide with anhydrous hydrogen fluoride and fluorine," *Journal of Fluorine Chemistry*, vol. 139, pp. 12-15, 2012.
28. Y. Jiang, J. F. Yang, Z. Zhuang, R. Liu, Y. Zhou, X. P. Wang and Q. F. Fang, "Characterization and properties of tungsten carbide coatings fabricated by SPS technique," *Journal of Nuclear Materials*, vol. 433, no. 1-3, pp. 449-454, 2013.
29. B.A. Gnesin, I.B. Gnesin, A.N. Nekrasov, "The interaction of carbon with Mo_5Si_3 and W_5Si_3 silicides. Nowotny phase synthesis," *Intermetallics*, vol. 41, pp. 82-95, 2013.
30. S. Roy, A. Paul, "Diffusion in tungsten silicides," *Intermetallics*, vol. 37, pp. 83-87, 2013.
31. L. G.V. Briquet, P. Philipp, "First principles investigation of the electronic, elastic and vibrational properties of tungsten disilicide," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 553, pp. 93-98, 2013.
32. B.A. Gnesin, I.B. Gnesin, A.N. Nekrasov, "The silicide coatings $(\text{Mo}, \text{W})\text{Si}_2 + (\text{Mo}, \text{W})_5\text{Si}_3$ on graphite, interaction with carbon," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 549, pp. 308-318, 2013.
33. M Tokita, Chapter 11.2.3 "Spark Plasma Sintering (SPS) Method, Systems, and Applications," *Handbook of Advanced Ceramics (Second Edition)*, edited by Shigeyuki Somiya, Academic Press, Oxford, pp. 1149-1177, 2013.
34. J. Poetschke, V. Richter, T. Gestrich and A. Michaelis, "Grain growth during sintering of tungsten carbide ceramics," *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 43, pp. 309-316, 2014.
35. X. Yuana, C. Weib, D. Zhanga, J. Zhuc and X. Gaoc, "Characterization and comparison of grain boundary character distributions in cemented carbides with different binder phases," *Computational Materials Science*, vol. 93, pp. 144-150, 2014.
36. S.K. Sun, G.J. Zhang, .W. W. Wu, J. X. Liu, J. Zou, T. Suzuki, Y. Sakka, "Reactive spark plasma sintering of binderless WC ceramics at 1500 °C," *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 43, pp. 42-45, 2014.
37. J. Y. Suh, S. E. Shin and D. H. Bae, "Fabrication of tungsten-based composites by solid binder mixing and sintering," *Powder Technology*, vol. 289, pp. 401-405, 2015.
38. A. Muthuraja, S. Senthilvelan, "Abrasive wear performance of tungsten carbide based self-lubricant cutting tool material," *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 51, pp. 91-101, 2015.
39. A. Hassan, V.A. Paganin, E. A. Ticianelli, "Pt modified tungsten carbide as anode electrocatalyst for hydrogen oxidation in proton exchange membrane fuel cell: CO tolerance and stability," *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 165, April 2015.
40. R. K. Enneti, "Synthesis of nanocrystalline tungsten and tungsten carbide powders in a single step via thermal plasma technique," *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 53, part B, November, pp. 111-116, 2015.
41. S. Bukolaa, B. Merzouguic, A. Akinpelua and M. Zeamaa, "Cobalt and Nitrogen Co-Doped Tungsten Carbide Catalyst for Oxygen Reduction and Hydrogen Evolution Reactions," *Electrochimica Acta*, vol. 1, pp. 1113-1123, 2016.
42. J. Guo, Z. Mao, X. Yan, R. Su, P. Guan, B. Xu, X. Zhang, G. Qin, S. J. Pennycook, "Ultrasmall tungsten carbide catalysts stabilized in graphitic layers for high-performance oxygen reduction reaction," *Nano Energy*, vol. 28, pp. 261-268, 2016.

3. Полазне хипотезе

На основу детаљног прегледа литературе, закључено је да приликом синтезе волфрам карбида, карактеристике добијених прахова у многоме зависе од почетних материјала који се користе као извори угљеника и волфрама. Због тога, део истраживања ове дисертације биће везан за проверу претпоставке да коришћењем активираних карбонских тканина велике специфичне површине као извор угљеника, може се снизити температура реакције за добијање волфрам карбида. Такође, биће разматрани и литературни подаци који се односе на очекиване температуре реакција, у циљу усклађивања услова експеримента са резултатима датим у литератури. Такође, различити однос количина полазних прахова може утицати на карактеристике материјала, па је претпоставка да промена моларног односа полазних прахова може допринети снижавању температуре синтезе, односно добијању материјала специфичних особина, на нижим температурама, што би било енергетски ефикасније у односу на постојеће поступке.

Са друге стране, волфрам силициди, материјали ниске електричне отпорности и добре термичке стабилности су проучавани као заштитни слој на рудама волфрама због своје одличне резистенције на оксидацију. Такође отпорни су на хабање. Као и у случају волфрам карбида, део истраживања везан је за проналажење оптималних услова (температуре и времена задржавања у пећи) за синтетисање ових материјала од елементарних прахова волфрама и силицијума. Приликом одређивања оптималних услова рада, део истраживања ће се односити на процес сагоревања, у циљу одређивања температуре сагоревања која обезбеђује потребне услове везане за синтезу материјала. Сам пренос топлоте у пећи биће проучаван са становишта његовог утицаја да добијени температурни режим у пећи и његов утицај на својства тако добијених материјала. Остварени пренос топлоте и његова анализа ће бити искорашћена и за одређивање потребног времена задржавања узорка у пећи, да би температурски профил узока обезбедио очекивана и пројектована својства материјала.

Денсификација волфрам карбида је систематски истраживана, најчешће у форми цементираних карбида, уз додатак кобалта као везива. Због наведених карактеристика ових материјала, намеће се мишљење да додавањем силицида волфрама у волфрам карбид може се добити материјал побољшаних карактеристика.

4. Научне методе истраживања

За синтезу волфрам карбида и волфрам силицида биће коришћене класичне методе синтезе - термичко загревање елементарних прахова, при чему ће бити варирани услови температуре, времена задржавања прахова у пећи као и моларни односи полазних прахова.

На основу рендгенске дифрактометрије праха (XRD) пратиће се ток синтезе прахова на основу идентификације кристалних фаза. Браунер-Емет Телер (BET) методом гасне адсорпције ће се одредити специфична површина прахова, као и изглед, величина и расподела величина пора. Скенирајућим електронским микроскопом биће прецизно одређена површина и просторна структуре материјала.

Приликом денсификације материјала биће коришћено спарк плазма синтеровање под дефинисаним притиском и на дефинисаној температури. Овај процес је веома атрактиван за материјале који се тешко синтерују, а волфрам карбид је један од њих.

При одређивању механичких особина: Јунговог модула еластичности и тврдоће материјала, користиће се наноиндентација.

Испитивање добијених чврстих узорака у условима кавитационе ерозије биће такође спроведено, у циљу одређивања њихове подобности за примену у таквим условима, као и поузданости рада у условима кавитационе ерозије. У склопу испитивања понашања у условима кавитационе ерозије, понашање узорака биће праћено стандардно, променом масе узорака, као и праћењем појаве оштећења и његове квантификације. У том смислу ће, где то

буде могуће бити примењена метода анализе слике ради дефинисања (квантификације) степена оштећења, као и дефинисања добијених јамица које настају као последице кавитационе ерозије. Варијације површинских оштећења, мериће се профилометријском техником, којом се добијају 2D и 3D профили посматране површине.

5. Очекивани научни допринос

У овом истраживању могуће је очекивати неколико научних доприноса:

- Одређивање оптималних услова синтезе материјала на бази волфрама – температуре, времена задржавања у пећи, као и почетних односа материјала, за добијање материјала одређених побољшаних особина, на основу систематске промене услова синтезе.
- Повећање енергетске ефикасности процеса, снижавањем температуре синтезе материјала у односу на до сада познате комерцијалне методе синтезе овог материјала, услед коришћења специфичног, новог материјала као прекурсора за синтезу волфрам карбида.
- Синтеза материјала специфичних, побољшаних особина, отпорног на кавитационе ерозије, велике порозности, која одговара условима примене у каталитичким реакцијама, као последица додавања синтетисаног волфрам силицида у волфрам карбид, и њиховим синтеровањем.
- Успостављање нове области и новог приступа у оквиру научног истраживања ватросталних материјала - композита два ватростална материјала на бази волфрама.

6. План истраживања и структура рада

Рад ће обухватати теоријски и експериментални приступ синтези ватросталних материјала на бази волфрама и могућност њихове примене.

У уводном делу рада ће бити дефинисани предмет рада, циљ, допринос и актуелност истраживања.

У оквиру теоријског дела биће дат преглед ватросталних материјала - њихових карактеристике и примена, са посебним освртом на ватросталне материјале на бази волфрама. Даље ће бити приказане методе синтезе ватросталних материјала на бази волфрама. Као посебан део теоријског дела даће се увид у феномене преноса при синтези ватросталних материјала на бази волфрама. Биће описане и методе синтезе, синтеровања и карактеризације добијених узорка.

Експериментални део биће одређен приказом карактеризације полазних материјала, а затим и описом синтезе узорка ватросталних материјала на бази волфрама. Након описа синтезе биће описана метода синтеровања материјала, као и опис метода и опреме коришћене при карактеризацији и тестирању добијених узорка.

Као посебан део биће приказана оптимизација услова синтезе ради добијања узорка захтеваних карактеристика.

Добијени резултати и њихова дискусија ће дати комплетан преглед за добијене узорке испитане претходно описаним методама.

У закључку ће бити сумирани добијени резултати приказаних истраживања и представљене могуће примене добијених ватросталних материјала на бази волфрама.

Литература ће садржати све наводе цитиране у дисертацији као и радове проистекле истраживањем у оквиру ове дисертације.

7. Закључак и предлог

На основу изложеног Комисија сматра да кандидат Јелена Луковић испуњава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације. На основу изнетих података Комисија сматра да је тема предложене докторске дисертације под насловом: „**Синтеза и карактеризација ватросталних материјала на бази волфрама**“ научно утемељена. Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област хемијско инжењерство, за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Комисија предлаже Научно-наставном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да кандидату Јелени Луковић одобри израду докторске дисертације под наведеним насловом.

За ментора се предлаже др Татјана Волков-Хусовић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и за коментора др Бранко Матовић, научни саветник Института за нуклеарне науке Винча.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Татјана Волков-Хусовић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,

др Бранко Матовић, научни саветник
Универзитета у Београду, Институт за нуклеарне науке Винча

др Мирјана Кијевчанин, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

др Ивона Радовић, ванредни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

9.11.2016.
Београд