

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ - ФАКУЛТЕТ ЗА ФИЗИЧКУ ХЕМИЈУ

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

На X редовној седници Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду, одржаној 11.07.2022. године именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата Марка П. Глогињића, мастер физикохемичара, под насловом:

„Испитивање утицаја имплантације јона високих енергија у моду каналисања на структуру 6H-SiC монокристала“.

Одлуком Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду, са IV редовне седнице од 16.01.2020. године одобрена је израда докторске дисертације под наведеним насловом. На основу те одлуке, Веће научних области природних науке Универзитета у Београду је на својој седници одржаној 30.01.2020. године дало сагласност да се прихвати предложена тема докторске дисертације.

Након прегледа и анализе докторске дисертације кандидата, Наставно-научном већу подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

А. Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација кандидата Марка П. Глогињића написана је на српском језику, на 116 страна А4 формата куцаног текста (фонт Times New Roman величине 12 pt и прореда 1). Дисертација је припремљена према упутству за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду. Дисертација се састоји из 7 поглавља: **Увод** (2 стране), **Теоријски део** (30 страна), **Циљеви рада** (1 страна), **Експериментална поставка** (3 стране), **Резултати и дискусија** (54 стране), **Закључци** (2 стране) и **Референце** (11 страна). У дисертацији је приказано 69 слика (15 у Теоријском делу, 2 у Експерименталној поставци и 52 у Резултатима и дискусији) и 12 табела (3 у Теоријском делу, 1 у Експерименталној поставци и 8 у Резултатима и дискусији) од којих 54 слика и 9 табела приказују истраживање кандидата.

У поглављу **Увод** описан је значај истраживања модификације материјала јонским сноповима као и одговарајућа примена монокристала силицијум карбида у полупроводничкој индустрији и нуклеарним технологијама.

Поглавље **Теоријски део** садржи преглед проблематике којом се бави дисертација, што укључује: основе теорије интеракције јона са материјалима, са нагласком на случај каналисања јона када је путања јона скоро паралелна са кристалографском осом кристала, кратак преглед карактеристика и структуре 6H-SiC кристала, утицај имплантације јона на степен уређења кристалне решетке, преглед ранијих истраживања везаних за промену степена уређења силицијум карбида услед имплантације јонима различитих енергија и осталих релевантних параметара и основе теорије и опис метода коришћених за карактеризацију материјала модификованог јонским сноповима.

У поглављу **Циљеви рада** дефинисане су основне идеје и задаци у оквиру докторске дисертације, за које је предвиђено да би довели до испуњења очекиваних резултата и одговарајућег доприноса у области интеракције јона са материјалима.

Експериментална процедура процеса имплантације јона угљеника и силицијума енергије 4 MeV у моду каналисања у монокристал 6H-SiC оријентације (0001) описана је у поглављу **Експериментална поставка**. Наведене су карактеристике акцелератора који је коришћен за имплантацију јона и експериментални услови. Додатно, описан је поступак карактеризације имплантираног силицијум карбида коришћењем спектрометрије еластичног повратног расејања (EBS), спектрометрије еластичног повратног расејања у моду каналисања (EBS/C), микро-раманске спектроскопије (μR) и скенирајуће електронске микроскопије (SEM) и дати су одговарајући параметри који су коришћени при анализи модификованог монокристала 6H-SiC.

У делу дисертације под називом **Резултати и дискусија** приказани су добијени резултати као и дискусија о квалитету и значају добијених резултата. На почетку су приказани Монте Карло прорачуни везани за степен аморфизације, вредности енергијских губитака и домета јона у силицијум карбиду у случају имплантацијом јона угљеника и силицијума, енергије 4 MeV, при случајној оријентацији кристала. У следећем делу приказани су експериментални резултати имплантације јона угљеника и силицијума, енергије 4 MeV али у моду каналисања. У овом делу дисертације приказана је прецизност процеса одређивања правца канала кристала при којем је извршена јонска имплантација у моду каналисања. Наредна целина односи се на приказ резултата карактеризације имплантираних узорака методом EBS/C у циљу одређивања профила аморфизације у функцији дубине имплантације јона у кристалу (дубински профил аморфизације). Резултати су обрађени коришћењем побољшане верзије CSIM рачунарског кода развијеног у Лабораторији за физику, Института за нуклеарне науке „Винча“ који је Институт од националног значаја за Републику Србију. Принцип рада кода као и најновија побољшања која су имплементирана током израде докторске дисертације детаљно су изложена. Додатно, установљен је модел за процену релативне количине аморфизације у кристалу силицијум карбида користећи јоне енергије 4 MeV различитих маса у широком опсегу флуенаса. Такође, модификован је итеративни поступак који се често користи за анализу EBS/C спектра и добијање профила аморфизације на малим дубинама кристала, и показана је његова ефикасност за добијање профила аморфизације на дубинама знатно већим од уобичајено разматраних за овај аналитички метод (случај у дисертацији). У последњем делу поглавља приказани су резултати SEM и μR анализе имплантираних узорка. Помоћу резултата SEM и μR анализе проверена су слагања дубина на којима се налазе модификоване зоне кристала. Додатном обрадом еволуције различитих карактеристика μR спектра са дубином узорка, претпостављен је начин на који долази до промене степена уређења кристалне решетке процесом имплантације јона.

У поглављу **Закључци** приказан је кратак осврт на најважније резултате дисертације и сумирани су закључци који су проистекли из добијених резултата.

Поглавље **Референце** представља преглед научних радова, књига и других извора према редоследу појављивања у тексту који су коришћени при изради докторске дисертације.

Б. Кратак преглед остварених резултата

У оквиру истраживања ове докторске дисертације успешно је спроведен процес имплантације јона угљеника и силицијума енергије 4 MeV у моду каналисања у монокристал 6H-SiC оријентације (0001). Коришћењем неколико различитих флуенаса јона угљеника и силицијума, добијени су узорци са различитим степеном модификације кристалне решетке. За један од узорака извршена је додатна имплантација јона при истим експерименталним параметрима али при случајној оријентацији кристала. Добити узорци анализирани су методама EBS, EBS/C, SEM и μR .

На основу добијених EBS и EBS/C спектра примећено је да са порастом флуенса јона долази до пораста степена неуређености (аморфизације) кристалне решетке, што је посебно изражено у случају имплантације јонима силицијума. Ово указује на индуковање знатно већег степена аморфизације имплантацијом силицијума у односу на угљеник, што је очекивано с обзиром да је силицијум тежи од угљеника. Профили расподеле степена аморфизације по дубини кристала (профили аморфизације) добијени су анализом EBS/C спектра коришћењем CSIM рачунарског програма. Овај рачунарски програм је током израде докторске дисертације побољшан у виду прецизнијег рачунања параметара каналисања јона. Резултати су показали да се максимуми профила аморфизације за најниже флуенсе простиру од 2,0 μm до 2,6 μm у случају имплантације јона силицијума и од 2,9 μm до 3,1 μm у случају имплантације јона угљеника. С порастом флуенса, зона са највишим степеном аморфизације се шири и помера према површини до достизања вредности које су карактеристичне за имплантацију при случајној оријентацији кристала. Имплантација у моду каналисања доводи до нижег степена аморфизације кристалне решетке и померање профила аморфизације ка већим дубинама при истим експерименталним условима у поређењу са имплантацијом при случајној оријентацији. Додатно, показано је да постојање и коришћење еластичних нуклеарних резонантних пикова у EBS/C спектрима, за одговарајуће опсеге енергије протонског снопа, даје прецизније резултате при анализи у односу на резултате који су добијени помоћу EBS/C спектра у опсегу енергија протона за који се не јављају резонантни пикови. Разлог за овакво понашање може се потражити у чињеници да су резонантни пикови погодни енергијски маркери што доводи до повећања тачности добијених профила аморфизације.

Анализа укупне количине аморфизације испитиваних узорка, добијених из одговарајућих профила аморфизације као функције од флуенса јона, показује експоненцијалну зависност, са бржим трендом раста за узорке имплантиране јонима силицијума. Са порастом флуенса долази до постепеног смањења количине индуковане аморфизације што наговештава сатурацију. На основу добијених резултата предложен је модел за процену вредности укупне количине аморфизације за јоне маса приближних угљенику и силицијуму у опсегу флуенаса коришћених у експериментима у дисертацији.

Разлика у домету јона добијена за узорке имплантиране при истим експерименталним условима за различите оријентације кристала је мала и износи највише 13%. Разлог за то може се потражити у величини канала кристала која утиче на брзину деканалисања јона. Дакле, у овом случају предложено је коришћење итеративног поступка за екстракцију дубинских профила аморфизације из одговарајућих EBS/C спектра који се уобичајено користи само за анализу блиског односно површинског региона кристала (до око 1 μm). Резултати су показали добра слагања са профилима аморфизације добијеним помоћу CSIM програма и потврдили успешност датих претпоставки. Модификација итеративног поступка увођењем корекционог фактора за губитак енергије јона довела је до бољег понашања профила аморфизације, како у погледу позиције максимума, тако и у погледу степена аморфизације. Овај корекциони фактор је израчунат на основу χ^2 процедуре минимизације која је имплементирана у CSIM програм.

Резултати SEM анализе показали су одлично слагање позиција дубине на којој се налази зона са највећим степеном аморфизације кристала са позицијама максимума профила аморфизације добијеним анализом EBS/C спектра помоћу CSIM програма. Ово је додатна експериментална потврда исправности добијених профила аморфизације коришћењем CSIM програма.

Одлична слагања позиција дубина имплантираних јона које одговарају максималном степеном аморфизације кристала показали су и резултати μR анализе. Потврђено је да имплантација јона у моду каналисања доводи до померања профила аморфизације ка већим дубинама кристала и смањења степена аморфизације у односу на имплантацију при случајној оријентацији јона. Праћењем еволуције карактеристика раманских трака са дубином узорка

дошло се до закључка о начину на који су јони угљеника и силицијума процесом имплантације утицали на степен уређености кристалне решетке. Након имплантације јона долази до делимичног очувања 6H-SiC кристалне решетке у облику уређења кратког домета, где су кристални домени и аморфна фаза случајно распоређени. Деградација 6H-SiC кристалне решетке одвија се уз доминантно измештање лакших атома угљеника са својих места у кристалној решетки. Процењено је да се величине кристалита у зонама са највећим степеном аморфизације крећу у распону од 9 до 13 nm. Додатно, предложена је процедура конволуције дубинске расподеле интензитета раманске траке која решава проблем ширине ласера и у складу са тим ширења реалних профила раманског интензитета. Након конволуције, за узорке имплантиране јонима угљеника са мањим флуенсима добијена су одлична слагања са профилима аморфизације добијени помоћу CSIM програма.

Сумирањем резултата EBS/C, SEM и μ R анализа потврђује се тачност примене CSIM програма за тумачење EBS/C спектра у случајевима када мета садржи атомска језгра идентична онима којима се врши имплантација. Додатно, потврђена је исправност теоријских претпоставки које су коришћене за израчунавање параметара каналисања у унапређеној верзији CSIM кода.

В. Упоредна анализа резултата кандидата са резултатима из литературе

Иако је силицијум карбид један од најпознатијих полупроводничких материјала који је већ извесно време предмет истраживања и примена, он је захваљујући својим изванредним физичким и хемијским особинама и данас веома актуелан. Одликује се високом чврстоћом, високом тачком топљења, хемијском инертношћу, ниским коефицијентом термалног ширења и високом топлотном проводношћу што га сврстава у материјале погодне за широке примене, почев од производње високофреквентних, високотемпературских електронских уређаја великих снага па све до примена у окружењима са екстремним условима попут оних у нуклеарним реакторима [1, 2].

У процесу производње полупроводничких компоненти користи се метода имплантације јона проистекла из потребе за постизањем танких полупроводничких слојева на добро дефинисаним дубинама у полупроводном материјалу. Упркос доброј резолуцији имплантације, која може износити и до неколико нанометара, пратећи ефекат јонске имплантације је аморфизација (нарушавање) кристалне структуре [3]. Аморфизација полупроводника утиче на њихова електрична својства, тако да је познавање дебљине и дубине аморфизованог слоја, као и степена и типа аморфизације, од општег значаја за савремену полупроводничку индустрију. Додатно, последице изложености екстремним условима су важно питање за примену силицијум карбида као нуклеарног материјала. Имплантација јонима који су истовремено и јони атома имплантираног кристала (енгл. *self-ions*) коришћена је за симулацију аморфизације материјала које би било изазвано његовим излагањем неутронском зрачењу [4]. Експерименти имплантације јона мање су захтевни од озрачивања неутронима и еквивалентна доза аморфизације постиже се за неупоредиво краће време озрачивања. Због тога се јавља потреба за опсежнијим истраживањима структурних дефеката у силицијум карбиду насталих као последице јонске имплантације. У литератури се могу пронаћи публикације везане за имплантацију јона угљеника и силицијума у 6H-SiC. Међутим, оне су везане за имплантацију у случајној оријентацији кристалне решетке, када се правац снопа јона не поклапа са кристалографским осама кристала. Стога, као главни циљ истраживања ове докторске дисертације представљено је испитивање утицаја имплантације јона силицијума и угљеника високих енергија у моду каналисања на процес аморфизације монокристала 6H-SiC.

Карактеризација аморфизације кристала 6H-SiC вршена је коришћењем аналитичких метода: EBS, EBS/C, SEM и μR . Дубински профил аморфизације је добијен превасходно анализом EBS/C спектра. Најчешће се подаци о дубинском профилу аморфизације из EBS/C спектра добијају користећи два различита приступа. Први приступ заснован је на итеративној процедури која раздваја приносе повратно расејаних од деканалисаних јона [5]. Проблем код итеративне процедуре јавља се при конверзији енергија детектованих јона са дужином узорка због чега је поступак погодан за одређивање профила дефеката који се налазе на малим дубинама узорка (мањим од 1 μm). У дисертацији је показано да је у посебним случајевима, када разлика у диметима јона имплантираних у моду каналисања и при случајној оријентацији није велика, могуће применити итеративни поступак и на већим дубинама кристала, до 3 μm . Додатном модификацијом итеративног поступка у виду корекције енергијских губитака јона, добијени су бољи резултати.

Други приступ заснован је на рачунарским симулацијама намењеним фитовању EBS/C спектра, из којих се потом добијају информације о дубинском профилу аморфизације кристалне решетке. Најчешће се користе рачунарски програми базирани на Монте Карло симулацијама, као што је McChassy [6]. Главни недостатак Монте Карло рачунарских програма је велико рачунско време које је потребно при анализи EBS/C спектра, које може износити и до неколико сати. Додатно, постоје и програми базирани на аналитичком приступу као што је DICADA [7] који пружају могућност добијања дубинске расподеле одређених типова дефеката. У сврху издвајања профила аморфизације кристала из EBS/C спектра развијен је CSIM рачунарски код заснован на феноменолошком приступу [8]. Према сазнању кандидата и сарадника ово је први рачунарски програм опште намене за симулацију аморфне фазе који не разматра тип дефекта већ квантификује степен аморфизације и знатно је бржи од Монте Карло програма. CSIM рачунарски програм раније је успешно коришћен за добијање дубинског профила аморфизације у моноатомском кристалу дијаманта имплантираног јонима угљеника енергије 4 MeV [9]. У докторској дисертацији показано је да се помоћу побољшане верзије CSIM програма може успешно анализирати EBS/C спектар код знатно компликованијег случаја у коме је диатомски монокристал силицијум карбида, који се састоји од истородних атома као и имплантирани јон. Током израде докторске дисертације програм је побољшан у виду начина рачунања параметара каналисања јона. Ово представља значајан напредак. Преостао је развој и тестирање CSIM рачунарског програма који би анализирао имплантацију јона примеса чији атоми нису и атоми мете.

У ранијим истраживањима аморфизованих слојева силицијум карбида μR методом, пажња је била посвећена праћењу промене интензитета најистакнутијих раманских трака на основу којих су утврђене промене аморфне фазе са дужином кристала [10]. У односу на раније извршене анализа аморфних фаза силицијум карбида μR методом, у овој дисертацији урађена је сложенија анализа карактеристика раманских спектра. Као резултат добијено је добро слагање са профилима аморфизације добијеним помоћу EBS/C спектра, при чему је показан начин на који јони угљеника и силицијума енергије 4 MeV смањују степен неуређености структуре. Процењена је и величина кристалита на дубинама са највећим степеном аморфизације. Додатно, предложена је одговарајућа процедура за превазилажење утицаја ширине ласера на интензитет спектра при μR скенирању имплантираног дела попречног пресека узорка. Процедура се заснива на фитовању профила еволуције укупног интензитета најинтензивније раманске траке у спектру силицијум карбида.

Референце:

- [1] T. Kimoto, Material science and device physics in SiC technology for high-voltage power devices, *Japanese Journal of Applied Physics*, 54 (2015) 040103/1-040103/27. <https://doi.org/10.7567/JJAP.54.040103>
- [2] P. Yvon, F. Carré, Structural materials challenges for advanced reactor systems, *Journal of Nuclear Materials*, 385 (2009) 217-222. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2008.11.026>
- [3] W. Wesch, E. Wendler, C. Schnohr, Damage evolution and amorphization in semiconductors under ion irradiation, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 277 (2012) 58-69. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2011.12.049>
- [4] X. Chen, W. Zhou, Q. Feng, J. Zheng, X. Liu, B. Tang, J. Li, J. Xue, S. Peng, Irradiation effects in 6H-SiC induced by neutron and heavy ions: Raman spectroscopy and high-resolution XRD analysis, *Journal of Nuclear Materials*, 478 (2016) 215-221. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2016.06.020>
- [5] X. Zhang, Q. Li, M. Wang, Z. Zhang, S. Akhmadaliev, S. Zhou, Y. Wu, B. Guo, Defects in hydrogen implanted SiC, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 436 (2018) 107-111. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2018.09.020>
- [6] L. Nowicki, A. Tuross, R. Ratajczak, A. Stonert, F. Garrido, Modern analysis of ion channeling data by Monte Carlo simulations, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 240 (2005) 277-282. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2005.06.129>
- [7] K. Gärtner, Axial dechanneling in compound crystals with point defects and defect analysis by RBS, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 132 (1997) 147-158. [https://doi.org/10.1016/S0168-583X\(97\)00381-9](https://doi.org/10.1016/S0168-583X(97)00381-9)
- [8] M. Erich, M. Kokkoris, S. Fazinić, S. Petrović, EBS/C proton spectra from a virgin diamond crystal, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 381 (2016) 96-102. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2016.05.030>
- [9] M. Erich, M. Kokkoris, S. Fazinić, S. Petrović, Channeling implantation of high energy carbon ions in a diamond crystal: Determination of the induced crystal amorphization, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 416 (2018) 89-93. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2017.12.001>
- [10] F. Linez, A. Canizares, A. Gentils, G. Guimbretiere, P. Simon, M.F. Barthe, Determination of the disorder profile in an ion-implanted silicon carbide single crystal by Raman spectroscopy, *Journal of Raman Spectroscopy*, 43 (2012) 939-944. <https://doi.org/10.1002/jrs.3118>

Г. Научни радови и саопштења публиковани из резултата дисертације

Кандидат је коаутор три научна рада објављена у међународним часописима и једног саопштења са међународног научног скупа штампаног у изводу који су публиковани из резултата дисертације.

Радови у међународном часопису изузетних вредности (M21a):

1. **Marko Gloginjić**, Marko Erich, Michael Kokkoris, Efthymios Liarokapis, Stjepko Fazinić, Marko Karlušić, Kristina Tomić Luketić, Srdjan Petrović, The quantitative 6H-SiC crystal damage depth profiling, *Journal of Nuclear Materials*, 555 (2021) 153143/1-153143/9. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2021.153143>

Радови у врхунском међународном часопису (M21):

1. Aikaterini Flessa, Eleni Ntemou, Michael Kokkoris, Efthymios Liarokapis, **Marko Gloginjić**, Srdjan Petrović, Marko Erich, Stjepko Fazinić, Marko Karlušić, Kristina Tomić, Raman mapping of 4-MeV C and Si channeling implantation of 6H-SiC, *Journal of Raman Spectroscopy*, 50 (2019) 1186-1196. <https://doi.org/10.1002/jrs.5629>

Радови у међународном часопису (M23):

1. **Marko P. Gloginjić**, Marko V. Erich, Željko V. Mravik, Branislav Vrban, Štefan Čerba, Jakub Lüley, Vendula Filová, Karel Katovský, Ondřej Štastný, Jiří Burian, Srdjan M. Petrović, Comparative study of the MeV ion channeling implantation induced damage in 6H-SiC by the iterative procedure and phenomenological CSIM computer code, *Nuclear Technology & Radiation Protection*, 37.2 (2022) (accepted for publication)

Саопштења са међународних научних скупова штампаних у изводу (M34):

1. **Marko Gloginjić**, Srdjan Petrović, Marko Erich, Aikaterini Flessa, Eleni Ntemou, Michael Kokkoris, Efthymios Liarokapis, Stjepko Fazinić, Marko Karlušić, Kristina Tomić, Investigation of the 4 MeV C and Si ion channeling implantation influence on the structure of 6H-SiC monocrystal, *Eighteenth Young Researchers' Conference Materials Sciences and Engineering*, 4-6 December 2019, Belgrade, Serbia, p. 63.

Д. Провера оригиналности докторске дисертације

Провера оригиналности докторске дисертације извршена је на начин прописан Правилником о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду („Гласник Универзитета у Београду“ број 204 од 22.06.2018.). Помоћу програма iThenticate извршена је провера оригиналности докторске дисертације кандидата под називом „Испитивање утицаја имплантације јона високих енергија у моду каналисања на структуру 6H-SiC монокристала“ и установљено је да количина подударача текста (similarity index) износи 17%. Наведени степен подударности последица је употребе цитата, личних имена, библиографских података о коришћеној литератури, тзв. општих места и података, као и претходно публикованих резултата докторандових истраживања, који су проистекли из његове дисертације што је у складу са чланом 9. поменутог Правилника. На основу свега изнетог, Комисија је утврдила да је докторска дисертација кандидата Марка П. Глогињића оригинална као и да су у потпуности поштована академска правила цитирања, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

Ђ. Закључак комисије

На основу изложеног може се закључити да резултати кандидата Марка П. Глогињића представљају оригиналан и значајан научни допринос у области физичке хемије, посебно у ужој научној области физичке хемије материјала. Део резултата докторске дисертације кандидата публикован је у научним часописима и то један у међународном часопису изузетних вредности (категорија М21а), један у врхунском међународном часопису (категорија М21) и један у међународном часопису (категорија М23). Додатно, из резултата докторске дисертације кандидата проистекло је и једно саопштење са међународног научног скупа штампано у изводу (категорија М34). У складу са наведеним, Комисија сматра да кандидат испуњава све услове за прихватање завршене докторске дисертације прописане од стране Универзитета у Београду и услове дефинисане Правилником о изради и оцени докторске дисертације на Факултету за физичку хемију Универзитета у Београду.

На основу изложеног, Комисија позитивно оцењује дисертацију мастера физикохемичара Марка П. Глогињића под називом: „**Испитивање утицаја имплантације јона високих енергија у моду каналисања на структуру бН-SiC монокристала**“ и предлаже Наставно – научном већу Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду да прихвати ову оцену Комисије, чиме би били испуњени сви услови за одобрење јавне одбране докторске дисертације и стицања звања кандидата доктор физикохемијских наука.

У Београду, 05.09.2022. године

Чланови комисије

др Љиљана Дамјановић-Василић, редовни професор,
Универзитет у Београду - Факултет за физичку хемију

др Марко Даковић, ванредни професор,
Универзитет у Београду - Факултет за физичку хемију

др Срђан Петровић, научни саветник,
Универзитет у Београду - Институт за нуклеарне науке „Винча“,
Институт од националног значаја за Републику Србију