

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ - ФАКУЛТЕТ ЗА ФИЗИЧКУ ХЕМИЈУ НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

На XI редовној седници Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду, одржаној 07. 09. 2023. године именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата Стевана А. Андрића, мастер физикохемичара, под насловом:

„Синтеза и карактеризација течно ексфолираног графена за примену у детекцији влажности ваздуха“.

Израда докторске дисертације под наведеним насловом одобрена је одлуком Наставно-научног већа са X редовне седнице од 19. 07. 2021. године. На основу те одлуке, Веће научних области природних наука Универзитета у Београду је на седници одржаној 23. 09. 2021. године дало сагласност да се прихвати предложена тема докторске дисертације. На основу прегледа и анализе докторске дисертације, подносимо Наставном-научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација кандидата Стевана А. Андрића написана је на српском језику, на 103 стране 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 од 6 поглавља: **Увод** (2 стране), **Теоријски увод** (26 страна), **Материјали и методе** (11 страна), **Резултати и дискусија** (38 страна), **Закључак** (2 стране) и **Литература** (9 страна). Поред наведеног, дисертација садржи и **Насловну страну на српском језику** (1 страна), **Насловну страну на енглеском језику** (1 страна), **Списак ментора и чланова комисије** (1 страна), **Захвалницу** (1 страна), **Списак скраћеница коришћених у тексту** (1 страна) **Сажетак на српском језику** (1 страна), **Сажетак на енглеском језику** (1 страна), **Садржај** (2 стране), **Биографију са библиографијом кандидата** (2 страна) и **Прилоге прописане правилима Универзитета о подношењу докторске дисертације на одобравање** (4 стране).

Дисертација садржи 49 слика (12 у поглављу Теоријски увод, 10 у поглављу Материјали и методе, 27 у поглављу Резултати и дискусија) и 5 табела (које се све налазе у поглављу Резултати и дискусија). Резултати истраживања кандидата су приказани на 29 слика и у 5 табела.

У поглављу **Увод** је укратко описан утицај индустријске револуције на животну околину, као и потреба за гасним сензорима. Објашњена су својства графена као дводимензионалног материјала и описана је његова примена у гасним сензорима. На крају овог поглавља истакнут је предмет истраживања и циљ докторске дисертације, уз опис израде графенских сензора. Такође су набројане и коришћене методе карактеризације.

Поглавље **Теоријски увод** је подељено на 6 потпоглавља. Најпре је објашњена улога сензора у свакодневном животу, њихова примена, као и тржишна вредност. Објашњене су основне компоненте хемијског сензора, као и основне карактеристике на основу којих се сензори групишу. Поменути су најчешће коришћени материјали на бази оксида, попут титанијум-диоксида (TiO_2), цинк-оксида (ZnO) и калај-диоксида (SnO_2). У другом потпоглављу се уводи појам графена, описана су његова главна својства, као и својства његових деривата: графен-оксида (ГО) и редукованог графен-оксида (рГО). Треће потпоглавље резимира графенске гасне сензоре који су коришћени претходних година, који као активни материјал користе од једнослојног, преко вишеслојног графена, до ГО и рГО. У четвртном потпоглављу се теоријски описују методе израчунавања количине водене паре у ваздуху. У петом и шестом потпоглављу су разматране методе које се користе за добијање графена. Нагласак је на методама течне ексфолијације, где су детаљно описане технике електрохемијске ексфолијације, као и ексфолијације помоћу ултразвука, као две методе које се даље користе у експерименталном раду. У последњем делу другог поглавља су објашњене технике формирања графенских филмова из графенских дисперзија добијених помоћу метода течне ексфолијације.

У трећем поглављу, **Материјали и методе**, описана је инструментација (апаратура) коришћена за добијање графенских дисперзија и филмова, као и израда графенских сензора на три различите подлоге. Прва подлога је комерцијална керамичка плочица са напареним златним интердигиталним контактима. Друга подлога је флексибилни полиетилен терефталат (ПЕТ), уз два напарена златна контакта са стране, спојена графенским филмом који је на средини. Трећа подлога је силицијумска плочица (Si/SiO_2), са четири златна контакта преко којих се формира филм. У склопу другог потпоглавља дат је принцип рада метода које су коришћене за карактеризацију графенских филмова, односно сензора. Коришћене су технике оптичке микроскопије, ултраљубичасто-видљиве спектроскопије (енгл. *Ultraviolet-Visible Spectroscopy*, UV-VIS), микроскопије атомских сила (енгл. *Atomic Force Microscopy*, AFM), скенирајуће електронске микроскопије (енгл. *Scanning Electron Microscopy*, SEM), енергијски дисперзивне спектроскопије X зрачења (енгл. *Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy*, EDXS), Раманске спектроскопије и фотоелектронске спектроскопије X зрака (енгл. *X-ray Photoelectron Spectroscopy*, XPS), уз дигитални мултиметар помоћу којег се мери отпорност сензора. За потребе теоријских прорачуна коришћени су програмски пакети Quantum ESPRESSO и MORAC2016.

У четвртном поглављу под називом **Резултати и дискусија**, приказани су експериментални и теоријски резултати добијени у оквиру ове докторске дисертације. Описан је начин синтезе дисперзија, као и графенског филма, уз дискусију о техничким недостацима као и предностима и недостацима свих коришћених метода. Формирани филмови су карактерисани UV-VIS спектрометријом чиме се утврђује дебљина графенских филмова. Даља AFM и SEM карактеризација пружила је увид у топографију филмова коју су састављени од љуспица (графенских блокова), као и њихове латералне димензије. Коришћена је и техника микро-Раманске спектроскопије, док су за квантитативно одређивање елемената коришћене EDXS и XPS методе. Треће потпоглавље се односи на карактеризацију оформљених сензора. Објашњена је експериментална поставка, уз детаљан опис изведбе експеримената. Испитивани графенски сензори подвргнути су цикличним мерењима. Мерењем промене

отпорности сензора добија се одзив. За сва три испитивана графенска сензора анализирана је могућност различитих примена, као што је одређивање релативне влажности ваздуха, одређивање и праћење дусања (мониторинг дусања), и квалитативно и квантитативно одређивање удаљености прста. Површинска отпорност као својство материјала је такође одређена користећи дигитални мултиметар, мерењем отпорности у четири тачке. У четвртом потпоглављу су упоређиване генералне перформансе три начина синтезе као и добијени експериментални резултати. У последњем, петом потпоглављу, приказани су резултати теоријских прорачуна, који објашњавају тренд промене отпорности услед интеракције са воденом паром.

Закључак представља пето поглавље докторске дисертације, у коме су сумирани сви закључци изведени на основу резултата приказаних у докторској дисертацији.

У последњем, шестом поглављу, **Литература**, побројани су навођени научни радови, књиге и интернет странице, према редоследу појављивања у тексту.

2. Кратак преглед остварених резултата

Представљена докторска дисертација пореди три начина синтезе графенских филмова у циљу квалитативне и квантитативне детекције молекула воде. Прве две дисперзије са графенским љуспицама су добијене коришћењем ултразвучне кадице и ултразвучне сонде, док је трећа дисперзија добијена електрохемијским раслојавањем. Коришћена опрема за раслојавање графита, када је у питању ултразвучна кадица, састоји се од ултразвучне кадице ниске снаге (≈ 50 W), напуњене водом, у којој се поставља суд са графитном дисперзијом. Процес ексфолијације траје до 14 h и извршен је у растварачу N-метил-2-пиролидон (енгл. *N-Methyl-2-pyrrolidone*, NMP). Опрема за раслојавање графита ултразвучном сондом је сложенија. Користи се специфично направљена расхладна ћелија, кроз чије унутрашње зидове протиче вода, док се у горњи спољни суд поставља графитна дисперзија. Ултразвучна сонда се ураћа у графитну дисперзију чиме се добија директни контакт ултразвука и материјала. Максимална радна снага сонде иде до ≈ 200 W, у пулсном режиму рада, уз време рада од 6 h. За потребе сонирања ултразвучном сондом користи се раствор натријум-додecilбензенсулфоната (енгл. *Sodium-Dodecylbenzenesulfonate*, SDBS). Након сонирања, настале графенске љуспице се преносе у NMP, који је погодан растварач за даљу примену. Трећа врста графена је комерцијално добијена дисперзија графена у NMP-у, произвођача *Sixonia Tech GmbH* (G – DIPS - NMP - CSO - 2) која је произведена уобичајеним електрохемијским поступком.

Лангмир-Блоцетовом (енгл. *Langmuir-Blodgett*, LB) методом је извршен процес формирања филмова из дисперзије. LB метода спроведена је накапавањем дисперзије низ зидове стаклене чаше, користећи одговарајућу пипету за сваку врсту графена. Љуспице се спајају спонтаном организацијом, тражећи локални минимум потенцијалне енергије, и на тај начин се формира филм.

Дебљина графенских филмова одређена је применом UV-VIS спектрометрије, мерењем оптичке пропустљивости. Највећу дебљину имао је електрохемијски добијен графен (Г-ЕХ), затим графен добијен коришћењем ултразвучне кадице (Г-УК) и на крају графен добијен

коришћењем ултразвучне сонде (Г-УС). Вредности су 10 nm, 3,45 nm, 2,55 nm, редом за Г-ЕХ, Г-УК и Г-УС. Након тога је анализирана топографија графенских филмова и одређена је просечна латерална димензија љуспица. Топографија је анализирана применом AFM и SEM микроскопија, док су латералне димензије одређене коришћењем *Gwyddion* програма, за анализу резултата AFM карактеризације. Највећу средњу вредност латералних димензија љуспица имао је Г-ЕХ (334 nm), затим Г-УС (225 nm), и на крају, са најмањом латералном димензијом Г-УК (58 nm).

Структура графена анализирана је применом Раманске спектроскопије. Утврђено је присуство кисеоничних група у свим испитиваним врстама графена. Идентичан изглед раманског спектра уочава се код графена добијеног помоћу ултразвучне кадице и ултразвучне сонде, уз нижи интензитет D траке код Г-УС, што указује на мањи степен ексфолијације. Карактеристичне траке (D, G, 2D и D') у спектрима Г-УК и Г-УС потврђују класичан изглед графена добијеног поступком течне ексфолијације. Код Г-ЕХ се уочава другачији облик и интензитет трака. Траке D и G су истог интензитета, 2D трака је слабијег, док се D' трака не уочава. Овакав облик спектра је аналоган спектрима графен-оксида. У циљу детаљнијег увида у елементну анализу, извршена је XPS и EDXS карактеризација. XPS анализа је дала потврду о процентуалном саставу кисеоника у графенским филмовима, и та вредност за Г-УК износи $\approx 17\%$, док је за Г-УС и Г-ЕХ $\approx 26\%$, при томе остатак припада угљенику. EDXS резултати су у сагласности са XPS анализом. Деконволуцијом C 1s спектра примећује се оксидација графена у облику C–O везе код Г-УК и Г-ЕХ, и O–C=O везе код Г-УК.

Даља мерења се односе на карактеризацију електричног сигнала добијених графенских сензора. Експериментална поставка се састоји од посебно конструисане тефлонске коморе за ову намену у којој су постављени испитивани графенски сензори и комерцијални референтни сензор у односу на који се мери одзив. Тефлонска комора је повезана са наменски направљеним овлаживачем ваздуха и азотном боцом, помоћу које се врши испирање. Сензори су повезани на дигиталне мултиметре, који су даље повезани са рачунаром. У првом мерењу су приказани временски одзиви сензора на ригидној структури у цикличном режиму, у распону влажности ваздуха од $\approx 10\%$ до $\approx 90\%$. Потом је вршено мерење при степенастој промени релативне влажности ваздуха, на основу којег се добија вредност *Pearson*-овог коефицијента, који за сва три графенска сензора има вредност изнад 0,9 чиме сензори показују висок степен линеарности. Одзив испитиваних сензора зависи од флукуације унутар коморе, тако да на тај начин није могуће одредити минимално време одзива. За одређивање реалне брзине одзива сензора, као и брзине опоравка сигнала, урађен је експеримент у лабораторијским условима, у којем се испитивани сензор поставља на радну површину, са бочне стране се усмерава проток азота чиме се чисти атмосфера непосредно изнад површине сензора, спуштајући тиме вредност влажности ваздуха. Брзина одзива и опоравка Г-УК и Г-УС је реда величине десетина милисекунди, док Г-ЕХ спорије реагује и вредност се изражава у стотинама милисекунди. Како је могућ утицај и других молекула из ваздуха на сигнал сензора, урађен је тест селективности, у којем је испитиван утицај азота, кисеоника и водене паре. Јасна промена сигнала се види при увођењу водене паре. Секундарна примена графенских сензора, која проистиче из брзине одзива/опоравка сензора, је у праћењу дисања волонтера. Урађена су по три циклуса и праћен је одзив графенских сензора за три режима дисања: брзо, нормално и споро. Сва три графенска сензора показују исти тренд, у којем се

јасно разазнају споменута три режима дисања. Код брзог, одзив сензора је у облику оштрог максимума у трајању од ≈ 1 s. Нормалан ритам дисања производи плато од ≈ 2 s до ≈ 8 s, зависно од циклуса и врсте сензора. Код спорог начина, добија се плато који траје дуже од 8 s, за све врсте графена. Добијени резултати показују поуздану поновљивост на ригидном супстрату. Следећи корак се огледао у испитивању одзива на флексибилном супстрату, при механичком стресу. Мерења су извршена на ПЕТ подлози у два положаја. Прво су поновљена мерења извршена на ригидној структури, затим је ПЕТ подлога савијена за 10 степени. У оба положаја сензор показује поновљива мерења, са резултатима који су идентични онима добијеним на ригидној структури. Трећа примена ових сензора који детектују влажност ваздуха представља детекцију удаљености прста. Слој водене паре које се испушта из тела (прста), користи се за бесконтактно одређивања присуства и удаљености прста или целе руке. Максимална удаљеност прста је износила ≈ 10 mm, док је минимална ≈ 3 mm, за коју се добија максималан одзив сензора од 1,8%. Извршен је и експеримент селективности, у којем је тестиран одзив на пинцету, руке са рукавицом (прст са рукавицом) и незаштићени прст. Уочава се благи одзив при приближавању пинцете, нема одзива за руку са рукавицом, но значајно већи одзив при приближавању незаштићеног прста, па је закључак да је крајњи одзив резултат комбинације капацитивног ефекта и присуства водене паре (молекула воде). Површинска отпорност сва три графенска филма утврђена је мерењем на Si/SiO₂ и добијене су вредности од ≈ 5 k Ω /sq, ≈ 2 k Ω /sq, ≈ 200 Ω /sq за Г-УК, Г-УС и Г-ЕХ, редом.

Објашњење уочених експерименталних трендова понуђено је кроз теоријска разматрања, односно квантнохемијске прорачуне у којима је испитана интеракција молекула воде и графена функционализованог различитим кисеоничним групама. За прорачуне на бази теорије функционала густине коришћен је Quantum ESPRESSO програмски пакет, док су семиемпиријски прорачуни вршени помоћу пакета MORAC2016.

3. Упоредна анализа резултата кандидата са резултатима из литературе

Графен представља дводимензионални (2D) материјал који се одликује високом оптичком пропустљивошћу, електричном проводљивошћу као и механичком и термичком стабилношћу. Уз доступност и економичност у односу на друге 2D материјале, графен налази примену у многим гранама индустрије [1, 2].

Синтеза чистог, идеалног графенског филма представља скуп процес, те су пронађене алтернативне, економичније методе, попут методе течне ексфолијације (енгл. *Liquid Phase Exfoliation*, LPE), чиме се добија графен у облику љуспица (графенских блокова) у дисперзији [2]. Коришћени поступак праћен је Лангмир-Боџетовом методом којом се формира 2D филм на чврстој подлози [3]. Добијени графен се састоји из љуспица са реактивним ивицама, на којима се вежу водоник и кисеоник, нарушавајући идеалну, чисту графенску структуру, чинећи га интересантним за потребе као што су гасни сензори [1,3–7].

У представљеној докторској дисертацији направљено је поређење три технике течне ексфолијације у циљу добијања квалитетних графенских филмова за израду сензора за одређивање релативне влажности ваздуха. Досадашња литература показује ултразвук као ефикасну методу за процес раслојавања графита на графенске љуспице [4], те су у докторској

дисертацији коришћене две технике ултразвука - ултразвучна кадица и ултразвучна сонда. Трећа техника којом се добија дисперзија је електрохемијско раслојавање. Карактеризацијом добијених графенских филмова уочава се одређени степен њихове оксидације, чиме су добијени филмови сличнији редукованом графен-оксиду, него чистом графену или графен-оксиду, иако нису коришћени додатни процеси оксидације, односно редукције.

Доступна литература приказује графенске сензоре који су добијени методом хемијског напаравања (енгл. *Chemical Vapor Deposition, CVD*) за цикличну промену релативне влажности ваздуха. Пријављен је једнослојни [8], двослојни [9], као и вишеслојни (≈ 10 nm) графен [10]. Једнослојни графен показује осетљивост од 0,3% за промену релативне влажности од 15% [8], двослојни графен показује промену од 0,2% за промену релативне влажности ваздуха од 80% [9], док вишеслојни показује промену од 0,005% за јединичну вредност промене релативне влажности ваздуха [10]. Чист графен слабије реагује са молекулима воде, из тих разлога је тестиран графен-оксид, чији се филм, након течне ексфолијације добија једноставним накапавањем на подлогу [5] или електроспрејним премазом ГО дисперзије [6]. Филм графен-оксида добијен електроспрејним премазом показује осетљивост од $\approx 20\%$ за промену релативне влажности ваздуха од $\approx 30\%$ [6], док филм графен-оксида који се добија једноставним наношењем на подлогу показује осетљивост и до $\approx 4000\%$ [5]. Иако имају високу осетљивост, недостатак ГО филмова је велика дебљина, која иде и до 600 nm, док се техником електроспрејног премаза добија испрекидан филм, што као резултат има високу отпорност ≈ 200 k Ω . Сензор, код којег је графен-оксид редукован, показује одзив од $\approx 300\%$ за промену релативне влажности ваздуха од $\approx 97\%$, али је недостатак оваквих сензора дебљина од ≈ 6 μ m [7].

Резултати проистекли из ове докторске дисертације приказују одзив графенских сензора од 1% за Г-УС, преко 2,6% за Г-УК и на крају 13,4% за Г-ЕХ у интервалу релативне влажности ваздуха од 30% до 80%. Са стабилним циклусним понављањем, најмања хистерезисна петља добијена је за електрохемијски добијен графен. Иако коришћени филмови поседују кисеоничне групе, имају мању дебљину од оне приказане у радовима, и те дебљине износе 3,45 nm, 2,55 nm и 10 nm, за Г-УК, Г-УС и Г-ЕХ редом. На брзину одзива и опоравка графенских сензора утичу фактори попут дебљине, дужине и ширине филма, хемијске структуре, односно присуства и одсуства кисеоничних група. Тако је у литератури пријављено време одзива за монослојни CVD графен ≈ 600 ms са временом опоравка од ≈ 400 ms [8], док је за двослојни CVD ≈ 600 ms време одзива и ≈ 350 ms време опоравка сигнала [9]. Графен-оксид пријављен у литератури, чија осетљивост износи и 4000% показује време одзива од ≈ 200 ms односно ≈ 700 ms за опоравак [5]. Брзина одзива графенских сензора приказаних у докторској дисертацији је значајно нижа уз високу оптичку пропустљивост (малу дебљину). Брзина одзива за графен добијен помоћу ултразвучне кадице и сонде износи ≈ 30 ms, односно ≈ 20 ms, док је код најдебљег филма, графена добијеног електрохемијском ексфолијацијом, та вредност ≈ 400 ms. Идентичне вредности се добијају и за време опоравка сигнала. Кратко време одзива сензора указује на њихов потенцијал за примену за мерења у реалном времену, као што је случај код праћења дисања и код одређивања удаљености прста.

Представљена докторска дисертација приказује графенске сензоре добијене на економичан начин, чије су перформансе попут осетљивости, поновљивости и

транспарентности погодније него у пријављеној литератури. Кратко време реакције сензора, уз високу оптичку пропустљивост, чине га интересантним за три различите примене: одређивање релативне влажности ваздуха, праћење дисања и удаљености прста у реалном времену.

Референце:

- [1] M.G. Stanford, K. Yang, Y. Chyan, C. Kittrell, J.M. Tour, Laser-Induced Graphene for Flexible and Embeddable Gas Sensors, *ACS Nano*. 13 (2019) 3474–3482. <https://doi.org/10.1021/acsnano.8b09622>.
- [2] S. Witomska, T. Leydecker, A. Ciesielski, P. Samorì, Production and Patterning of Liquid Phase-Exfoliated 2D Sheets for Applications in Optoelectronics, *Adv. Funct. Mater.* 1901126 (2019) 1901126. <https://doi.org/10.1002/adfm.201901126>.
- [3] A. Matković, I. Milošević, M. Milićević, T. Tomašević-Ilić, J. Pešić, M. Musić, M. Spasenović, D. Jovanović, B. Vasić, C. Deeks, R. Panajotović, M.R. Belić, R. Gajić, Enhanced sheet conductivity of Langmuir-Blodgett assembled graphene thin films by chemical doping, *2D Mater.* 3 (2016). <https://doi.org/10.1088/2053-1583/3/1/015002>.
- [4] Y. Hernandez, V. Nicolosi, M. Lotya, F.M. Blighe, Z. Sun, S. De, I.T. McGovern, B. Holland, M. Byrne, Y.K. Gun'ko, J.J. Boland, P. Niraj, G. Duesberg, S. Krishnamurthy, R. Goodhue, J. Hutchison, V. Scardaci, A.C. Ferrari, J.N. Coleman, High-yield production of graphene by liquid-phase exfoliation of graphite, *Nat. Nanotechnol.* 3 (2008) 563–568. <https://doi.org/10.1038/nnano.2008.215>.
- [5] B.H. Wee, W.H. Khoh, A.K. Sarker, C.H. Lee, J.D. Hong, A high-performance moisture sensor based on ultralarge graphene oxide, *Nanoscale*. 7 (2015) 17805–17811. <https://doi.org/10.1039/c5nr05726d>.
- [6] A.P. Taylor, L.F. Velásquez-García, Electrospray-printed nanostructured graphene oxide gas sensors, *Nanotechnology*. 26 (2015) 505301. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/26/50/505301>.
- [7] C. Chen, X. Wang, M. Li, Y. Fan, R. Sun, Humidity sensor based on reduced graphene oxide/lignosulfonate composite thin-film, *Sensors Actuators, B Chem.* 255 (2018) 1569–1576. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.08.168>.
- [8] A.D. Smith, K. Elgammal, F. Niklaus, A. Delin, A.C. Fischer, S. Vaziri, F. Forsberg, M. Råsander, H. Hugosson, L. Bergqvist, S. Schröder, S. Kataria, M. Östling, M.C. Lemme, Resistive graphene humidity sensors with rapid and direct electrical readout, *Nanoscale*. 7 (2015) 19099–19109. <https://doi.org/10.1039/c5nr06038a>.
- [9] X. Fan, K. Elgammal, A.D. Smith, M. Östling, A. Delin, M.C. Lemme, F. Niklaus, Humidity and CO₂ gas sensing properties of double-layer graphene, *Carbon N. Y.* 127 (2018) 576–587. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.11.038>.
- [10] F. Ricciardella, S. Vollebregt, T. Polichetti, P.M. Sarro, G.S. Duesberg, Low-humidity sensing properties of multi-layered graphene grown by chemical vapor deposition, *Sensors (Switzerland)*. 20 (2020) 1–12. <https://doi.org/10.3390/s20113174>.

4. Научни радови и саопштења публиковани из резултата дисертације

4.1. Рад у врхунском међународном часопису (M21):

S. Andrić, T. Tomašević-Ilić, M.V. Bošković, M. Sarajlić, D. Vasiljević-Radović, M.M. Smiljanić, M. Spasenović, *Ultrafast humidity sensor based on liquid phase exfoliated graphene*, Nanotechnology 32(2) (2020) 025505, [DOI: 10.1088/1361-6528/abb973](https://doi.org/10.1088/1361-6528/abb973).

4.2. Рад у међународном часопису (M23):

S. Andrić, T. Tomašević-Ilić, L. Rakočević, D. Vasiljević-Radović, M. Spasenović, *Three Types of Films from Liquid-phase-exfoliated Graphene for Use as Humidity Sensors and Respiration Monitors*, Sensors and Materials 34(11) (2022) 3933-3947, [DOI: 10.18494/SAM4092](https://doi.org/10.18494/SAM4092)

4.3. Саопштења са међународног скупа штампаног у изводу (M34):

S. Andrić, T. Tomašević-Ilić, M. Sarajlić, Ž. Lazić, K. Cvetanović-Zobenica, M. Rašljčić, M. Smiljanić, M. Spasenović, *Humidity sensing with Langmuir-Blodgett assembled graphene films from liquid phase*, European conference on chemistry of two-dimensional materials, CHEM2Dmat, 03-06. September 2019, Dresden, Germany, [p. 116](#)

5. Провера оригиналности докторске дисертације

Према процедуралној корекцији бр. 612-2380/1-23, од 28. јуна 2023. године, провера оригиналности ће се извршити након обнављања лиценце за софтвер *iThenticate*, а пре слања тезе и овог извештаја на коначно одобрење надлежној комисији Универзитета у Београду.

6. Закључак комисије

На основу изложеног може се закључити да резултати кандидата Стевана А. Андрића представљају оригиналан и значајан научни допринос у области физичке хемије, посебно у области физичке хемије материјала. Део резултата докторске дисертације кандидата публикован је у научним часописима: један рад у врхунском међународном часопису (категорија M21), један рад у међународном часопису (M23) и једно саопштење са међународног скупа штампаног у изводу (M34).

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 предлаже Наставно-научном већу Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду да рад Стевана А. Андрића, под насловом:

**„Синтеза и карактеризација течно екслолираног графена
за примену у детекцији влажности ваздуха“**

прихвати као дисертацију за стицање научног степена доктора физичкохемијских наука и одобри њену јавну одбрану.

У Београду, 19. 09. 2023. године

Чланови комисије:

др Немања Гаврилов, ванредни професор,
Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију

др Бојана Недић Васиљевић, ванредни професор,
Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију

др Зоран Јовановић, научни саветник,
Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“,
Институт од националног значаја за Републику Србију