

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Драганае Тошић

Одлуком бр. 5053/10-3 од 28.04.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Драганае Тошић под насловом

„Синтеза и карактеризација графенских нанотрака“

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидаткињом, Комисија је сачинила следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Драгана Тошић је уписала докторске студије 2010. године, а студијски програм је започела у пролећном семестру школске 2010/11 године. Кандидаткиња је 28.05.2015. године пријавила тему за израду докторске дисертације и Комисија за студије трећег степена разматрала је 04.06.2015. године предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије о оцени подобности теме и кандидата упутила Наставно-научном већу на усвајање, које је потом именovalo Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5053/10-1 од 16.07.2015. године). Наставно-научно веће Електротехничког факултета је 15.09.2015. године усвојило Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5053/10-2), а Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је дало 19.10.2015. године сагласност на предлог теме докторске дисертације (Одлука 61206-4477/2-15).

Кандидатиња је 07.04.2016. године предала докторску дисертацију на преглед и оцену. Комисија за студије трећег степена је 12.04.2016. године потврдила испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације, па је Наставно-научно веће Електротехничког факултета именovalo Комисију за преглед и оцену докторске дисертације (број одлуке 5053/10-3 од 28.04.2016. године).

1.2. Научна област дисертације

Истраживања која су обухваћена докторском дисертацијом припадају научној области Техничких наука – Електротехника, односно Електротехнички материјали и технологије. Ужа научна област ове дисертације су угљенични наноматеријали, који као и гама зрачење припадају областима које се изучавају на Електротехничком факултету у Београду у оквиру модула докторских студија Нуклеарна, медицинска и еколошка техника.

Ментори, проф. др Дејан Раковић и др Зоран Марковић, ангажовани су на предмету „Биофизичке методе у наномедицини“ у оквиру модула Нуклеарна, медицинска и еколошка техника, а проф. др Дејан Раковић је ангажован и на предмету „Физика, технологија и карактеризација биоматеријала“, уско везаним за истраживања на докторској дисертацији. Др. Зоран Марковић, научни саветник, запослен је у Институту за нуклеарне науке „Винча“ у оквиру групе за физику и хемију угљеничних наноматеријала, у оквиру које је урађено експериментално истраживање приказано у докторској дисертацији.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Драгана Тошић је рођена у Београду 17.04.1983. године. Дипломирала је на Електротехничком факултету у Београду 2009. године на смеру за Биомедицински и еколошки инжењеринг, са темом дипломског рада „Елементарне честице у класичној теорији Великог Праска“ под руководством проф. др Предрага Осмокровића. Дипломске академске (мастер) студије је завршила 2010. године на Електротехничком факултету у Београду на смеру за Биомедицинско и еколошко инжењерство. Октобра 2010. године је одбранила мастер рад на тему „Испитивање структуре угљеничних нанотуба и графена микроскопијом атомских сила“ код проф. др Дејана Раковића. Експериментални део мастер рада је урађен у Лабораторији за радијациону хемију и физику 030 у Институту за нуклеарне науке „Винча“. Доктоске студије је уписала 2010. године на Електротехничком факултету у Београду на модулу Нуклеарна, медицинска и еколошка техника, где је са одличним успехом положила све испите и завршила све обавезе.

Запослена је у Институту за нуклеарне науке „Винча“ од 2010. године. У периоду од 2010. до 2011. године је била ангажована на пројекту „Електронска и ласерска спектроскопија молекула“. Од 2011. године ради на пројекту „Танки слојеви једнослојних угљеничних нанотуба и графена за примену у електроници“. У свом досадашњем научном раду има 9 објављених радова у међународним часописима, од чега је 3 рада у часописима категорије M21, 2 рада у категорији M22, 5 радова у категорији M23. Такође има и један рад на међународној конференцији штампан у изводу. У оквиру теме којом се бави докторска дисертација до сада су урађена три рада која су објављена у међународним часописима, на којима је први аутор. Научноистраживачки рад Драгане Тошић био је усмерен на испитивање нових начина синтезе графенских нанотуба и испитивање њихових структурних особина, коришћењем различитих техника карактеризације (микроскопија атомских сила, трансмисиона електронска микроскопија, скенирајућа електронска микроскопија, енерго-дисперзивна спектроскопија х-зрацима, Раманска спектроскопија, инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом, дифракција х-зрацима, термо-гравиметријска анализа и фотолуминисценца).

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под називом „Синтеза и карактеризација графенских нанотрака“ написана је на 117 страна, састављена је од 9 поглавља, са 88 слика, 5 табела и 157 библиографских референци. Након поглавља обухваћених дисертацијом и референци у текст су укључени и научна биографија и прилози са изјавама по захтеву Универзитета (укупно 133 стране). Основна тема изучавања дисертације је развијање две потпуно нове метода синтезе графенских нанотрака и њихова карактеризација.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Прво поглавље „Увод“ описује значај изучавања нанотехнологије и графенских нанотрака као угљеничног наноматеријала са многим потенцијалним применама. У овом поглављу је дат преглед испитиване проблематике у дисертацији.

Друго поглавље „Угљенични наноматеријали“ описује основне карактеристике угљеничних наноматеријала коришћених у истраживању. Приказани су структура, особине, примене и методе синтезе графена, графенских нанотрака и графенских квантних тачака.

Треће поглавље „Гама зрачење“ описује основне особине гама зрачења, као и врсте његове интеракције са графеном и утицај зрачења на модификацију структуре графена.

Четврто поглавље „Електродепозиција никла“ описује поступак галванизације никла који је у експерименту примењен за добијање никл-угљеник наножица.

Пето поглавље „Методе за карактеризацију графенских нанотрака“ даје преглед коришћених метода карактеризације угљеничних наноматеријала. Приказан је принцип рада следећих техника: микроскопија атомских сила, трансмисиона електронска микроскопија, скенирајућа електронска микроскопија, енергодисперзивна спектроскопија х-зрацима, Раманска спектроскопија, инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом, дифракција х-зрацима, термогравиметријска анализа и фотолуминисценца.

Шесто поглавље „Циљ истраживања“ описује постављене циљеве истраживања у докторској дисертацији. Приказане су две развијене методе синтезе графенских нанотрака: гама озрачивање колоида графена и синтеза никл-угљеник наножица.

Седмо поглавље „Експериментални поступци“ детаљно описује две експерименталне процедуре које су коришћене у методама синтезе графенских нанотрака. Такође је дат преглед метода и приказ уређаја који су коришћени за карактеризацију наноматеријала.

Осмо поглавље „Резултати и дискусија“ описује експерименталне резултате. У првом делу су приказани резултати методе синтезе графенских нанотрака гама зрачењем графена. Приказани су резултати анализе морфолошких особина наноматеријала микроскопијом атомских сила, као и преглед резултата спектроскопским техникама. У другом делу су приказани резултати синтезе графенских нанотрака из никл-угљеник наножица. Описане су карактеристике графенских квантних тачака као материјала који је коришћен као прекурсор за касније добијање графенских нанотрака. Потом су микроскопским и спектроскопским техникама карактерисане никл-угљеник наножице и графенске нанотаке.

Девето поглавље „Закључак“ обухвата преглед свих добијених резултата и даје приказ најважнијих закључака. Описане су две методе добијања графенских нанотрака, изложени су

најрелевантнији резултати, предности и мане и потенцијане примене развијених метода синтезе.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Графенске нанотраке су једнодимензионалне наноструктуре које су због својих јединствених структурних, електричних, оптичких, магнетних особина привукле пажњу великог броја истраживача у последњих неколико година. Иако је развијено више начина за синтезу графенских нанотрака, још увек није пронађена поуздана метода добијања нанотрака ширина мањих од 10 nm. Због тога је било неопходно развити методе синтезе графенских нанотрака којима је могуће лако контролисати и предвидети њихове димензије, а да се уједно добију траке оптималних димензија које је могуће касније применити у индустрији. Због тога се закључује да је докторска дисертација под називом „Синтеза и карактеризација графенских нанотрака“ обухватила савремену и актуелну тематику, и успела да унапреди истраживања те научне области.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У дисертацији се позива на велики број актуелних научних радова објављених у областима проучавања угљеничних наноматеријала. Цитирани су многи радови Геима и Новосјолова који су за истраживања о графену добили Нобелову награду за физику 2008. године. Укључени су многи радови из области истраживања графенских нанотрака различитих истраживачких група. Истраживање обухваћено докторском дисертацијом је урађено у Групи за физику и хемију угљеничних наноматеријала у Институту за нуклеарне науке „Винча“. Цитиран је и велики број ранијих радова ове групе, међу којима су и радови Драгане Тошић.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У циљу карактеризације изучаваних наноматеријала, коришћене су следеће методе карактеризације: микроскопија атомских сила, трансмисиона електронска микроскопија, скенирајућа електронска микроскопија, енергодисперзивна спектроскопија x-зрацима, Раманска спектроскопија, инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом, дифракција x-зрацима, термогравиметријска анализа и фотолуминисценца.

Микроскопске методе су дале увид у морфолошке особине графенских нанотрака, графенских квантних тачака и никл-угљеник наножица. Микроскопијом атомских сила су праћене различите фазе промене графенских нанотрака услед промене дозе гама зрачења, као и утицај температуре одгревања на морфолошке особине никл-угљеничних наножица. Спектроскопским техникама су испитане промене структурних особина проучаваних наноматеријала услед различитих промена експерименталних услова.

3.4. Применљивост остварених резултата

Приказане методе синтезе графенских нанотрака представљају потпуно нове начине синтезе овог наноматеријала. Модификацијом услова извођења експеримената, могуће је контролисати димензије и карактеристике графенских нанотрака, и на тај начин их прилагодити жељеним будућим истраживањима и применама. Такође, појава фотолуминисценце отвара могућности коришћења ових наноматеријала у оптоелектроници и биолошком маркирању.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу анализе научне биографије, објављених радова као и увида у дисертацију, Комисија процењује да је кандидат способан за самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У докторској дисертацији Драгане Тошић су остварени следећи научни доприноси:

(1) Развијена је метода добијања графенских нанотрака применом гама зрачења на колоид графена. Подешавањем дозе гама зрачења, могуће је утицати на димензије добијених нанотрака. Овај резултат је значајан у потенцијалној примени нанотрака због тога што особине ових наноматеријала директно зависе од њихове димензионалности. Овако добијене нанотраке по први пут у литератури показују фотолуминисцентне особине са највећим одзивом на 394 nm.

(2) Развијена је друга метода добијања графенских нанотрака брзим термалним одгревањем никл-угљеник наножица и каснијим нагризањем никла да би се добила чисто угљенична наноструктура. У експерименталном делу је први пут коришћена модификација процеса електродепозиције никла, додавањем извора угљеника (графенских квантних тачака) директно у електролит. На овај начин су добијене графенске нанотраке ширина око 30 nm, које такође имају фотолуминисцентни одзив на 446 nm.

(3) Добијене графенске нанотраке из обе методе синтезе показују фотолуминисцентне особине што отвара велике могућности за њихове потенцијалне примене у оптоелектроници и биолошком маркирању.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем постављених циљева и добијених резултата, констатујемо да је кандидаткиња успешно одговорила на задате проблеме истраживања ове докторске дисертације. Графенске нанотраке су синтетисане на два потпуно различита начина, а њихове особине су карактерисане великим бројем микроскопских и спектроскопских техника.

4.3. Верификација научних доприноса

Резултат истраживања која су вршена у оквиру израде докторске дисертације представљају следећи радови:

Категорија M21:

1. **Tošić, D.**, Marković, Z., Dramićanin, M., Holclajtner Antunović, I., Jovanović, S., Milosavljević, M., Pantić, J., Todorović Marković, B.: Gamma ray assisted fabrication of fluorescent oligographene nanoribbons, - *Materials Research Bulletin*, vol. 47, no. 8, pp. 1996-2000, 2012. (IF=1.193) (DOI: 10.1016/j.materresbull.2012.04.012)

2. **Tošić, D.**, Marković, Z., Jovanović, S., Prekodravac, J., Budimir, M., Kepić, D., Holclajtner Antunović, I., Dramićanin, M., Todorović Marković, B.: Rapid thermal annealing of nickel-carbon nanowires for graphene nanoribbons formation, - *Synthetic Metals*, vol 218, pp.43-49, 2016. (IF=2.252) (DOI: 10.1016/j.synthmet.2016.04.016)

Категорија M23:

1. **Tošić, D.**, Marković, Z., Jovanović, S., Milosavljević, M., Todorović Marković, B.: Comparative analysis of different methods for graphene nanoribbon synthesis, - *Hemijska Industrija*, vol. 67, no. 1, pp. 147-156, 2013. (IF=0.562;) (DOI: 10.2298/HEMIND120403056T)

Остали радови проистекли из рада на докторату:

Категорија M21:

1. Kleut, D., Jovanović, S., Marković, Z., Kepić, D., **Tošić, D.**, Romčević, N., Marinović-Cincović, M., Dramićanin, M., Holclajtner-Antunović, I., Pavlović, V., Dražić, G., Milosavljević, M., Todorović Marković, B.: Comparison of structural properties pristine and gamma irradiated single-wall carbon nanotubes: Effects of medium and irradiation dose, - *Materials Characterization*, vol. 72, pp. 37-45, 2012. (IF=1.880) (DOI: 10.1016/j.matchar.2012.07.002)

Категорија M22:

1. Jovanović, S., Da Ross, T., Ostric, A., **Tošić, D.**, Prekodravac, J., Marković, Z., Todorović Marković, B.: Raman spectroscopy of graphene nanoribbons synthesized by longitudinal unzipping of multi wall carbon nanotubes, - *Physica Scripta*, vol. 2014, no. T162 pp. 14023-14026, 2014. (IF=1.126) (DOI: 10.1088/0031-8949/2014/T162/014023)

2. Prekodravac, J., Jovanović, S., Holclajtner-Antunović, I., Peruško, D., Pavlović, V., **Tošić, D.**, Todorović-Marković, B., Marković, Z.: Monolayer graphene films through nickel catalyzed transformation of fullerol and graphene quantum dots: a Raman spectroscopy study, - *Physica Scripta*, vol. 2014, no. T162, pp. 14030-14033, 2014. (IF=1.126) (DOI: 10.1088/0031-8949/2014/T162/014030)

3. Kepić, D., Marković, Z., **Tošić, D.**, Antunović, I.H., Adnadjević, B., Prekodravac, J., Kleut, D., Damićanin, M., Todorović Marković, B.: Surface modification of single-wall carbon nanotube thin films by microwaves: a Raman spectroscopy study, - *Physica Scripta*, vol. 2013, no. T157, pp. 014040, 2013. (**IF=1.296**) (DOI: 10.1088/0031-8949/2013/T157/014040)

Категорија M23:

1. Marković, Z., Peruško, D., **Tošić, D.**, Romčević, N., Damićanin, M., Nikolić, Z., Todorović Marković, B.: The effect of oxidation on structural and electrical properties of single wall carbon nanotubes, - *Hemijaska Industrija*, vol. 65, no. 4, pp. 363-370, 2011. (**IF=0.205**) (DOI: 10.2298/HEMIND110221024M)

2. Jovanović, S., Marković, Z., Kleut, D., **Tošić, D.**, Kepić, D., Marinović Cincović, M., Holclajtner Antunović, I., Todorović Marković, B.: Covalent modification of single wall carbon nanotubes upon gamma irradiation in aqueous media, - *Hemijaska Industrija*, vol. 65, no. 5, pp. 479-487, 2011. (**IF=0.205**) (DOI: 10.2298/HEMIND110531050J)

3. Marković, Z., Prekodravac, J., **Tošić, D.**, Holclajtner-Antunović, I., Milosavljević, M., Damićanin, M., Todorović Marković, B.: Facile synthesis of water soluble curcumin nanocrystals, - *Journal of the Serbian Chemical Society*, vol. 80, no. 1, pp. 63-72, 2015. (**IF=0.871**) (DOI: 10.2298/JSC140819117M)

Категорија M34:

1. **Tošić, D.**, Marković, Z., Jovanović, S., Milosavljević, M., Todorović Marković, B.: Comparative analysis of different methods for graphene nanoribbon synthesis, - *Tenth Young Researchers Conference – Materials Science and Engineering*, December 21-23, 2011, Belgrade, Serbia.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

У докторској дисертацији под називом „Синтеза и карактеризација графенских нанотрака“ кандидаткиње Драгане Тошић развијене су две нове методе за синтезу графенских нанотрака. Све фазе развијања процедура синтезе су праћене и карактерисане различитим техникама карактеризације наноматеријала. Добијене су графенске нанотраке оптималних структурних и јединствених фотолуминисцентних особина. Ова докторска дисертација представља оригинални научни допринос у области графенских наноматеријала и отвара широк спектар будућих истраживања и потенцијалних примена у електроници и биолошком мартирању. На основу приложених резултата, Комисија закључује да је тематика докторске дисертације од огромног практичног значаја и да кандидаткиња показује квалитете пресудне за бављење научно-истраживачким радом, што је доказано великим бројем радова у међународним часописима са SCI листе у којима је кандидаткиња била коаутор.

Комисија констатује да је кандидаткиња испунила све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

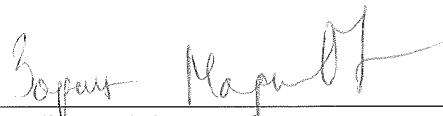
На основу наведеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу да се докторска дисертација под називом „Синтеза и карактеризација графенских нанотрака“ кандидаткиње Драгане Тошић прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Београд, 26.5.2016.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



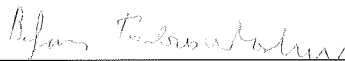
др Дејан Раковић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Зоран Марковић, научни саветник
Универзитет Београду – Институт за нуклеарне науке „Винча“



др Милан Тадић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Биљана Тодоровић Марковић, научни саветник
Универзитет Београду – Институт за нуклеарне науке „Винча“



др Милош Вујисић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет