

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Уроша Ралевића за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета Универзитета у Београду бр. 5007/10-1 од 29. марта 2016. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Уроша Ралевића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под радним насловом **"Наноскопија и примене дводимензионалних и квази дводимензионалних система"** (енг. **"Nanoscopy and applications of two-dimensional and quasi-two-dimensional systems"**¹).

Комисија предлаже промену наслова теме у:

"Наноскопија и примене дводимензионалних система на бази слојевитих материјала" (енг. **"Nanoscopy and applications of two-dimensional systems based on layered materials"**).

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Кандидат Урош Ралевић рођен је у Мајданпеку 26. маја 1986. године. Гимназију је завршио 2005. године, такође, у Мајданпеку. Електротехнички факултет у Београду уписао је 2005. године и дипломирао на смеру за Наноелектронику, оптоелектронику и ласерску технику 2009. године са просеком 8,24. Мастер студије уписао је 2009. године, такође, на Електротехничком факултету у Београду на смеру за Наноелектронику, оптоелектронику и ласерску технику и успешно их завршио 2010. године са просечном оценом 10,00. Након завршетка мастер студија, 2010. године уписао је докторске студије на Електротехничком факултету на модулу за Наноелектронику и фотонику. Од 1. јануара 2011. запослен је на Институту за физику у Београду у оквиру националног пројекта основних истраживања „Физика уређених наноструктура и нових материјала“, бр. ОИ171005, који финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја.

¹ Дисертација ће бити писана на енглеском језику

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат Урош Ралевић је научно-истраживачко искуство стекао кроз:

- Петогодишњи рад на Институту за физику у Центру за физику чврстог стања и нове материјале у оквиру националног пројекта основних истраживања „Физика уређених наноструктура и нових материјала“, бр. ОИ171005, који финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја. У оквиру овог пројекта кандидат је задужен за: (1) фабрикацију узорака графена, молибден дисулфида, борон нитрида и других дводимензионалних материјала, (2) карактеризацију електронских и оптичких особина добијених узорака методама скенирајуће микроскопије (скенирајућа тунелска микроскопија, микроскопија на бази атомских сила, микроскопија на бази електричних сила, Келвинова микроскопија) и методама оптичке спектроскопије (Раманова спектроскопија и елипсометрија), (3) испитивање електронских особина телурида ретких земаља скенирајућом тунелском микроскопијом, и (4) испитивање оптичких особина нискодимензионалних металних нанообјеката (златних и сребрних наночестица) у раствору и на различитим супстратима спектрофотометријом и Рамановом спектроскопијом. Поред наведених задужења, кандидат се бавио и теоријским моделовањем оптичких особина вишеслојних структура које укључују присуство дводимензионалних материјала, моделовањем оптичких направа на бази графена и моделовањем расејања монохроматске светлости на металним наночестицама у раствору и на различитим супстратима.
- Успешно завршене обавезе на докторским студијама на Електротехничком факултету у Београду, на модулу Наноелектроника и оптоелектроника.
- Учешће на Европском FP7 пројекту под називом "Large area fabrication of 3D negative index materials by nanoimprint lithography-NIM_NIL" (2009.-2012.), у оквиру кога је кандидат био задужен за фабрикацију графена, карактеризацију истог елипсометријским мерењима, и за прорачун Френелових коефицијената рефлексије видљиве светлости на графену који се налази на вишеслојним супстратима ради описа елипсометарских спектра и одређивања комплексне оптичке проводности графена.
- Учешће на пројекту билатералне сарадње са Краљевином Шпанијом за период 2012-2013 под називом "Инфрацрвена спектроскопија графенских наноструктура". У оквиру ове билатералне сарадње кандидат Урош Ралевић провео је период од 03. маја 2012. до 31. маја 2012. у Институту за фотонске науке у Барселони у групи проф. др Френка Копенса, где је радио на сувом трансферу атомски танких слојева графена на танке слојеве борон нитрида, а у циљу побољшања електронских особина графена.
- Учешће на COST акцији TD 1002 под називом "AFM4NanoMed&Bio". У оквиру ове COST акције кандидат је провео период од 14. септембра 2012. до 19. септембра 2012. у Кракову, Пољска, где је похађао курс о примени атомске микроскопије на биолошке системе. Такође, у оквиру ове COST акције и у сарадњи са групом проф. Павла Анђуса са Биолошког факултета Универзитета у Београду, кандидат се бавио проучавањем топографије мембрана ћелија астроцита оболелих од амитрофичне латералне склерозе.
- Учешће (заменик у Управном одбору - енг. Management Committee) на COST акцији MP 1302 (2013-2017) под називом "NanoSpectroscopy", у оквиру које је задужен за проучавање расејања монохроматске светлости на сребрним наночестицама на чијој су површини адсорбовани молекули органске, тијацијанинске боје, и проучавањем расејања монохроматске светлости на сребрним наночестицама депонованим на дводимензионалне материјале, помоћу површином подстакнуте Раманове спектроскопије у комбинацији са микроскопијом на бази атомских сила.

- Учешће на COST акцији IC 1208 (2013-2017) под називом "Integrating devices and materials: a challenge for new instrumentation", у оквиру које је задужен за моделовање плазмонских/металних наноструктура у присуству графена и других дводимензионалних материјала.
- Учешће на Grande Rilevanza пројекту билатералне сарадње са Републиком Италијом за период 2014-2015 под називом "Liquid-crystal-tunable nanoplasmonic structures based on periodically patterned metallic films", у оквиру кога је, такође, задужен за моделовање металних плазмонских/металних наноструктура у присуству дводимензионалних материјала.
- Учешће на пројекту билатералне сарадње са Савезном Републиком Немачком за период 2015-2016 број 451-03-01766/2014-09/10 под називом "Femtosecond surface plasmon dynamics at the nanoscale". У оквиру ове билатералне сарадње кандидат Урош Ралевић провео је период од 15. октобра 2015. до 21. октобра 2015. у Институту за примењену физику у Јени у групи проф. Томаса Пертча, где је радио на сувом трансферу атомски танких слојева молибден дисулфида на различите супstrate, са циљем да се овај материјал пренесе преко супстрата на којима се налазе плазмонски нанообјекти.
- Учешће на пројекту билатералне сарадње са Републиком Аустријом за период 2016-2017 број 451-03-01039/2015-09/40 под називом "Дводимензионални материјали као подлога за раст органских полупроводника" (енг. "Two-dimensional materials as templates for the growth of organic semiconductors"), у оквиру кога је задужен за примену скенирајуће микроскопије и Раманове спектроскопије у испитивању раста органских молекула на графену, молибден дисулфиду и борон нитриду.
- Учешће на пројекту билатералне сарадње са Републиком Белорусијом за период 2016-2017 број 451-03-00293/02 под називом "Silver nanostructures covered by graphene as improved SERS substrates", у оквиру кога је задужен за трансфер графена на супstrate на бази посребреног порозног силицијума, карактеризацију добијених структура методама микроскопије на бази атомских сила и површином подстакнуте Раманове спектроскопије, и моделовање расејања монохроматске светлости на површини посребреног порозног силицијума у циљу процене електромагнетног појачања Рамановог расејања.
- Учешће на пројекту билатералне сарадње са Републиком Хрватском за период 2016-2017 под називом "Large area plasmonic structures for chemical and biosensing", у оквиру кога је кандидат задужен за депозицију/трансфер танких слојева метала, металних наночестица и дводимензионалних материјала на холографске решетке, и карактеризацију добијених система микроскопијом на бази атомских сила.

Као резултат ангажовања на поменути пројектима, а првенствено на пројекту бр. ОИ171005 у оквиру кога се бави претежно нискодимензионим системима попут графена, кандидат Урош Ралевић као аутор/коаутор има седам радова објављених у врхунским међународним часописима (M21), два рада објављена у истакнутим међународним часописима (M22), три рада објављена у међународним часописима (M23), деветнаест саопштења са међународних скупова штампаних у изводу (M34) и два саопштења са скупова националног значаја штампаних у изводу (M64).

Радови у врхунским међународним часописима (M21)

1. Ralević U., Isiћ G., Vasić B., Gvozdić D., Gajić R.: *Role of waveguide geometry in graphene-based electro-absorptive optical modulators*, J. Phys. D: Appl. Phys., Vol 48, No

35, 2015, pp. 355102-1 - 355102-9 (DOI: 10.1088/0022-3727/48/35/355102, IF: 2.721, ISSN: 1361-6463).

2. Matković A., Chhikara M., Milićević M., Ralević U., Vasić B., Jovanović Dj., Belić M. R., Bratina G., Gajić R.: *Influence of a gold substrate on the optical properties of graphene*, J. Appl. Phys., Vol 117, No 1, 2015, pp. 015305-1 - 015305-9 (DOI: 10.1063/1.4905242, IF: 2.183, ISSN: 1089-7550).
3. Ralević U., Isić G., Vasić B., Gajić R.: *Modulating light with graphene embedded into an optical waveguide*, J. Phys. D: Appl. Phys., Vol 47, No 33, 2014, pp. 335101-1 – 335101-9 (DOI: 10.1088/0022-3727/47/33/335101, IF: 2.721, ISSN: 1361-6463).
4. Beltaos A., Kovačević A. G., Matković A., Ralević U., Savić-Šević S., Jovanović Dj., Jelenković B. M., Gajić R.: *Femtosecond laser induced periodic surface structures on multi-layer graphene*, J. Appl. Phys., Vol 116, No 20, 2014, pp. 204306-1 – 204306-6 (DOI: 10.1063/1.4902950, IF: 2.183, ISSN: 1089-7550).
5. Vasić B., Kratzer M., Matković A., Nevesad A., Ralević U., Jovanović Dj., Ganser C., Teichert C., Gajić R.: *Atomic force microscopy based manipulation of graphene using dynamic plowing lithography*, Nanotechnology, Vol 24, No 1, 2013, pp. 015303-1 – 015303-9 (DOI: 10.1088/0957-4484/24/1/015303, IF: 3.672, ISSN: 1361-6528).
6. Matković A., Ralević U., Chhikara M., Jakovljević M. M., Jovanović Dj., Bratina G., Gajić R.: *Influence of transfer residue on the optical properties of chemical vapor deposited graphene investigated through spectroscopic ellipsometry*, J. Appl. Phys., Vol 114, No 9, 2013, pp. 093505-1 – 093505-5 (DOI: 10.1063/1.4819967, IF: 2.185, ISSN: 1089-7550).
7. Matković A., Beltaos A., Milićević M., Ralević U., Vasić B., Jovanović Dj., Gajić R., *Spectroscopic imaging ellipsometry and Fano resonance modeling of graphene*, J. Appl. Phys., Vol 112, No 12, 2012, pp. 123523-1 – 123523-6 (DOI: 10.1063/1.4771875, IF: 2.21, ISSN: 1089-7550).

Радови у истакнутим међународним часописима (M22)

1. Gilić M., Petrović M., Kostić R., Stojanović D., Barudžija T., Mitrić M., Romčević N., Ralević U., Trajić J., Romčević M., Yahia I. S.: *Structural and optical properties of CuSe₂ nanocrystals formed in thin solid Cu-Se film*, Infrared Phys. Technol., Vol 76, No-, 2016, 276–284 (DOI: 10.1016/j.infrared.2016.03.008, IF: 1.55, ISSN: 1350-4495).
2. Kratzer M., Klima S., Teichert C., Vasić B., Matković A., Ralević U., Gajić R.: *Temperature dependent growth morphologies of parahexaphenyl on SiO₂ supported exfoliated graphene*, J. Vac. Sci. Technol. B, Vol 31, No 4, 2013, pp. 04D114-1 – 04D114-7 (DOI: 10.1116/1.4813895, IF: 1.358, ISSN: 2166-2754).

Радови у међународним часописима (M23)

1. Beltaos A., Kovačević A. G., Matković A., Ralević U., Jovanović Dj., Jelenković B., Gajić R.: *Damage effects on multi-layer graphene from femtosecond laser interaction*, Phys. Scr., Vol 2014, No T162, 2014, pp. 014015-1 – 014015-5 (DOI: 10.1088/0031-8949/2014/T162/014015, IF: 1.126, ISSN: 1402-4896).

2. Stojanović D., Matković A., Aškrabić S., Beltaos A., Ralević U., Jovanović Dj., Bajuk-Bogdanović D., Holclajtner-Antunović I., Gajić R.: *Raman spectroscopy of graphene: doping and mapping*, Phys. Scr., Vol 2013, No T157, 2013, pp. 014010-1 – 014010-4 (DOI: 10.1088/0031-8949/2013/T157/014010, IF: 1.296, ISSN: 1402-4896).
3. Matković A., Ralević U., Isić G., Jakovljević M. M., Vasić B., Milošević I., Marković D., Gajić R., *Spectroscopic ellipsometry and the Fano resonance modeling of graphene optical parameters*, Phys. Scr., Vol 2012, No T149, 2012, pp. 014069-1 – 014069-3 (DOI: 10.1088/0031-8949/2012/T149/014069, IF: 1.032, ISSN: 1402-4896).

Саопштења са међународних скупова штампаних у изводу (M34)

1. Ralević U., Isić G., Musić M., Bogdanović U., Vodnik V., Gajić R., *Influence of silver nanoparticle clusters on photoluminescence of single and few layer MoS₂*, Optical Nanospectroscopy III, Rome, Italy, 22-25 March 2016, Conference book, pp. 141-142 (ISBN:-)
2. Isic G., Ralevic U., Laban B. B., Vodnik V., Vasic V., Askrabic S., Gajic R, *Study of thiocyanine dye J-aggregates on single silver nanoparticle assemblies by surface enhanced Raman scattering and atomic force microscopy*, Optical Nanospectroscopy II, Dublin, Ireland 18-20 March 2015, Conference Book, pp. 37 (ISBN:-).
3. Ralević U., Isić G, Laban B. B., Vodnik V., Vasić V., Gajić R.,: *Surface enhanced Raman spectroscopy of thiocyanine dye J aggregates on single silver nanoaggregates*, Photonica 2015, Belgrade, Serbia, 24-28 August 2015, Book of Abstracts, pp. 97-98 (ISBN: 978-86-7306-131-3, M34).
4. Ralević U., Lazarević N., Hu R., Petrović Č., Gajić R., Popović Z., *Charge density wave in CeTe₃ - A scanning microscopy study*, The 19th Symposium on Condensed Matter Physics, Belgrade, Serbia, 7-11 september 2015, Book of Abstracts, pp. 102 (ISBN:-).
5. Teichert C., Kratzer M., Hlawacek G., Khokhar F., van Gastl R., Vasić B., Ralević U., Gajić R., Bayer B. C., Hofmann S., *Organic thin film growth on various graphene substrates*, The 19th Symposium on Condensed Matter Physics, Belgrade, Serbia, 7-11 September 2015, Book of Abstracts, pp. 57 (ISBN:-).
6. Kovacević A. G., Petrović S., Matković A., Ralević U., Beltaos A., Perusko D., Vasić B., Gajić R., Jelenković B. M., *Surface nanostructures on surface of multilayered thin films induced by femtosecond laser beam*, Photonica 2015, Belgrade, Serbia, 24-28 August 2015, Book of Abstracts, pp. 206 (ISBN: 978-86-7306-131-3).
7. Ralević U., Isić G., Laban B., Vodnik V., Vasić V., Gajić R., *Study of thiocyanine dye J-aggregates on single silver nanoparticle assemblies by surface enhanced Raman scattering and atomic force microscopy*, DokDok 2015, Eisenach, Germany, 11-15 October 2015 (ISBN:-).
8. Ralević U., Vasić B., Matković A., Milićević M., Chhikara M., Bratina G., Gajić R., *Investigation of doping and strain in graphene using scanning probe microscopy and Raman imaging*, 73 Iuvsta Workshop In Eisenerz: Nanostructures on two-dimensional solids, Eisenerz, Austria, 22-26 September 2014 (ISBN:-).

9. Kovačević A. G., Beltaos A., Matković A., Ralević U., Krmpot A., Savić-Šević S., Pantelić D. V., Gajić R., Jelenković B. M., *Nanoparticles generation and regrouping through the interaction of femtosecond laser beam with few-layer graphene*, Photonica 2013, Belgrade, Serbia, 26-30 August 2013, Book of Abstracts, pp. 93 (ISBN: 978-86-82441-36-6).
10. Matković A., Ralević U., Chhikara M., Jakovljević M. M., Jovanović Dj., Bratina G., Gajić R., *Spectroscopic ellipsometry of chemical vapor deposited graphene transferred onto a dielectric substrate*, Photonica 2013, Belgrade, Serbia, 26-30 August 2013, Book of Abstracts, pp.103 (ISBN: 978-86-82441-36-6).
11. Beltaos A., Kovačević A. G., Matković A., Ralević U., Jovanović Dj., Jelenković B. M., Gajić R., *Damage effects on few-layer graphene from femtosecond laser interaction*, Photonica 2013, Belgrade, Serbia, 26-30 August 2013, Book of Abstracts, pp. 85 (ISBN: 978-86-82441-36-6).
12. Isić G., Vasić B., Matković A., Ralević U., Beltaos A., Spasenović M., Gajić R., *Plasmonic resonances in the infrared spectra of nanostructured graphene*, Graphene 2012, Belgium, 10-13 April 2012, Book of Abstracts, pp. 206 (ISBN: BI-665/2012).
13. Matković A., Beltaos A., Ralević U., Jakovljević M.M., Isić G., Vasić B., Jovanović Dj., Lazić Z., Smiljanić M.M., Vasiljević-Radović D., Gajić R., Graphene 2012, *Spectroscopic ellipsometry measurements of doped graphene*, Belgium, 10-13 April 2012, Book of Abstracts, pp. 208 (ISBN:-).
14. Isić G., Ralević U., Vasić B., Jakovljević M., Gajić R., *Plasmons in arrays of graphene ribbons*, International Conference on Metamaterials and Dissemination Workshop 2012, Germany, 3-4 July 2012, Book of Abstracts, pp.32 (ISBN:-).
15. Ralević U., Milošević M., Vasić B., Andjus P., Gajić R., *Visual Analysis of Astrocytes in Vitro using Atomic Force Microscopy*, Regional Biophysics Conference, Kladovo, Serbia, 3-7 September 2012 (ISBN:-).
16. Vasić B., Kratzer M., Matković A., Nevošad A., Ralević U., Jovanović Dj., Ganser C., Teichert C., Gajić R., *AFM lithography of graphene using dynamic plowing*, International Conference on Nanoscience + Technology ICN+T 2012, France, 23-27 July 2012, Book of Abstracts, pp. 147 (ISBN: 2-914771-77-0).
17. Matković A., Ralević U., Isić G., Jakovljević M., Gajić R., *Optical Characterization of Single Layer and Few Layer Graphene*, Imaginenano 2011, Bilbao, Spain, 11-14 April 2011 (ISBN: BI-943/2011).
18. Vasić B., Matković A., Ralević U., Gajić R., *Scanning Probe Microscopy of Graphene*, XVIII Symposium on Condensed Matter Physics, Belgrade, Serbia, 18-22 April 2011, Book of Abstracts, pp. 74 (ISBN:-).
19. Matković A., Ralević U., Isić G., Jakovljević M., Vasić B., Jovanović Dj., Milošević I., Marković D., Gajić R., *Spectroscopic Ellipsometry and Fano Resonance Modeling of Graphene Optical Parameters*, Photonica 2011, Belgrade, Serbia, 29 August – 2 September 2011 (ISBN: 978-86-7306-110-8).

Саопштења са скупова националног значаја штампаних у изводу (M64)

1. Ralević U., Vasić B., Matković A., Gorbachev R., Gajić R., *Atomic force microscopy and Kelvin probe force microscopy measurements of single and few layer graphene*, 13th Young Researchers Conference: Material Science and Engineering, Belgrade, Serbia, 10-12 December 2014, Book of Abstracts, pp. 46 (ISBN: 978-86-80321-30-1).
2. Ralević U., Milosević M., Vasić B., Andus P., Gajić R., *Skenirajuća Mikroskopija Atomskih Sila – Proučavanje Morfologije Membrana Astrocita Amiotrofične Lateralne Skleroze*, Šesta Radionica Fotonike 2013, Serbia, 4-8 March 2013, Book of Abstracts, pp. 25 (ISBN: 978-86-82441-35-9).

У оквиру докторских студија кандидат Урош Ралевић положио је све испите и успешно завршио све обавезе предвиђене планом и програмом докторских студија. Испити које је кандидат положио су:

1. Електронске и оптичке карактеристике материјала у наноелектроници и фотоници (оцена: 10, ЕСПБ: 9)
2. Простирање оптичких таласа у комплексим срединама (оцена: 10, ЕСПБ: 9)
3. Моделовање полупроводничких ласера (оцена: 10, ЕСПБ: 9)
4. Квантна оптика (оцена: 10, ЕСПБ: 9)
5. Скенирајућа микроскопија у наноуци и нанотехнологији (оцена: 10, ЕСПБ: 9)
6. Спектроскопија чврстих материјала (оцена: 10, ЕСПБ: 9)
7. Увод у научни рад (оцена: 10, ЕСПБ: 6)
8. Моделовање наноструктура (оцена: 10, ЕСПБ: 9)
9. Фотонски кристали и метаматеријали (оцена: 10, ЕСПБ: 9)
10. Фотонске комуникације (оцена: 10, ЕСПБ: 9).

Обавезе предвиђене планом и програмом докторских студија које је кандидат успешно завршио су: Студијски истраживачки рад у вези тезе I (ЕСПБ: 15), Научно стручни рад (приступни рад за израду докторске дисертације, ЕСПБ: 3) и Студијско истраживачки рад у вези тезе II (ЕСПБ: 15).

Поред наведеног, кандидат Урош Ралевић је, 1. априла 2016. године, одбранио тему своје докторске дисертације са предложеним насловом "Наноскопија и примене дводимензионалних и квази дводимензионалних система", с тим да је ова одлука подржана од четири члана Комисије, проф. Витомира Милановића, научног сарадника Горана Исића, проф. Милке Потребих и проф. Милана Тадића, док је проф. Дејан Гвоздић био против ове одлуке.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат је предложио веома актуелну тему која обухвата испитивање дводимензионалних система применом наноскопских метода попут скенирајуће микроскопије и површином-подстакнуте Раманове спектроскопије, као и развој теоријско-нумеричких модела за изучавање њихових нанооптичких својстава и евентуалне примене у фотоници. Ради се о врло амбициозном предлогу који захтева да кандидат овлада како напредним експерименталним, тако и теоријско-нумеричким методама чије би и појединачно савладавање задовољило академске стандарде предвиђене докторским студијама.

На основу успеха постигнутог на основним и докторским студијама, на основу већег броја научних радова и саопштења на научним скуповима на којима је учествовао као коаутор, од

којих је на неколико првопотписан, на основу ангажмана на више од десет домаћих и међународних научних пројеката и, коначно, на основу вишегодишњег континуираног рада на научним проблемима који улазе у оквир предложене теме, Комисија сматра да је кандидат убедљиво доказао своју подобност за рад на предложеној теми.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања предложене теме докторске дисертације су дводимензионални системи на бази слојевитих материјала. Конкретно, кандидат ће се бавити проучавањем графена и монослоја молибден дисулфида који представљају дводимензионалне материјале. Поред тога, проучавање и површинска електронска стања која се јављају на атомски равнот површини церијум трителурида.

Церијум трителурид је метал који припада телуридима ретких земаља. Ова класа слојевитих материјала специфична је по томе што поседује таласе густине наелектрисања, који се формирају само у планарним монослојевима телурових атома. У овом случају, дводимензионални систем представља електронски гас локализован на планарним монослојевима телурових атома, док је талас густине наелектрисања једно од његових могућих стања.

Циљ истраживања је квантитативни опис таласа густине наелектрисања у церијум трителуриду на собној температури и ултрависоком вакууму применом скенирајуће тунелске микроскопије.

Таласи густине наелектрисања представљају основно стање система у коме се јавља периодична модулација електронске густине која је праћена одговарајућим преуређењем атома у кристалној решетки материјала. Ови системи су предмет проучавања већ неколико деценија, а тачан механизам њиховог настајања и њихове особине у појединим системима још увек су веома актуелне теме у области физике чврстог стања. Са друге стране, због релативно једноставне електронске структуре која је доминантно одређена планарним монослојевима телурових атома али и због могућности подешавања размака између атома у планарним слојевима променом елемента ретке земље, телуриди ретких земаља представљају идеалне материјале за проучавање таласа густине наелектрисања. Постојеће студије базиране на употреби скенирајуће тунелске микроскопије баве се детаљним проучавањем таласа густине наелектрисања у тербијум трителуриду на температури од 6 K и церијум трителуриду на 77 K. С обзиром, да је талас густине наелектрисања у церијум трителуриду робустно стање које постоји у опсегу температура од 77 K до 500 K, и да не постоје детаљне студије скенирајућом тунелском микроскопијом истог на собној температури, очекује се да реализација предложеног истраживања пружи значајан допринос у разумевању начина на који се талас густине наелектрисања у телуридима ретких земаља манифестује на собној температури а тиме и значајан помак у разумевању механизма њиховог настанка.

Литература:

1. Johannes M. D., Mazin I. I.: *Fermi surface nesting and the origin of charge density waves in metals*, Phys.Rev. B, Vol 77, No 16, 2008, pp. 165135-1 - 165135-8.
2. Fang A., Ru N., Fisher I. R., Kapitulnik A.: *STM studies of TbTe₃: Evidence for a fully incommensurate charge density wave*, Phys. Rev. Lett., Vol 99, No 4, 2007, pp. 046401-1 - 046401-4.
3. Tomic A., Rak Z., Veazey J. P., Malliakas C. D., Mahanti S. D., Kanatzidis M. G., Tessmer S. H.: *Scanning tunneling microscopy study of the CeTe₃ charge density wave*, Phys. Rev. B, Vol 79, 2009, pp. 085422-1 - 085422-7.

4. Eiter H. -M., Lavagnini M., Hackl R., Nowadnick E. A., Kemper A. F., Devereaux T. P., Chu J. -H., Analytis J. G., Fisher I. R., L. Degiorgi, *Alternative route to charge density wave formation in multiband systems*, Proc. Nat. Acad. Sci. USA Vol 110, 2013, pp. 64-69.
5. Zhu X., Cao Y., Zhang J., Plummer E. W. , Guo J.,: *Classification of charge density waves based on their nature*, PNAS, Vol 112, No 8, 2015, pp. 2367-2371.
6. Tsen A. W., Hovden R., Wang D., Kim Y. D., Okamoto J., Spoth K. A., Liu Y., Lu W., Sun Y., Hone J. C., Kourkoutis L. F., Kim P., Pasupathy A. N.,: *Structure and control of charge density waves in two-dimensional 1T-TaS₂*, PNAS, Vol 112, No 49, 2015, pp. 15054-15059.
7. Banerjee A., Feng Y., Silevitch D. M., Wang J., Lang J. C., Kuo H.-H., Fisher I. R., Rosenbaum T. F.: *Charge transfer and multiple density waves in the rare earth tellurides*, Phys. Rev B, Vol 87, No 15, 2013, pp. 155131-1 - 155131-6.

Графеном се назива монослој угљеникових атома поређаних у хексагоналну решетку. Чист (недопиран) графен је полуметал а његови електрони имају линеарну дисперзију у околини К тачака у којима се дно проводне и врх валентне зоне додирују и кроз које пролази Фермијев ниво. С обзиром се ради о само једном атомском слоју, графен је прави дводимензионални материјал чије су све екситације планарне па и сваки њихов подскуп (попут електрона или фонона) представља дводимензионални систем.

Циљ истраживања предвиђеног у склопу теме је одређивање утицаја нанометарски танког слоја изолатора нанетог преко графена на његов површински потенцијал, који је пропорционалан излазном раду применом Келвинове микроскопије. Овај циљ обухвата и испитивање стабилности површинског потенцијала графена контролисаног применом електричног поља у конфигурацији задњег гејта. Имајући у виду да се овим постиже и промена оптичке проводности графена, у оквиру теме ће се разматрати и могућност примене исте на модулацију оптичких модова у силицијумским таласоводима покривених графеном.

Интерес према фундаменталним истраживањима графена у различитим областима савремене физике се заснива на његовим специфичним електронским и оптичким особинама, у великој мери условљених његовим π електронима. Модификација електронских и оптичких особина графена применом напона гејта омогућава велики број примена у областима електронике, плазмонице, нанооптике и оптоелектронике. У основи ефекта се налази промена Фермијевог нивоа у графену, најчешће у конфигурацијама задњег и горњег гејта. Међутим, у литератури је показано да природа графена доводи и до велике осетљивости на непосредно окружење што често доводи до нежељених модификација електронских и оптичких особина. Према томе, истраживање утицаја нанометарски танког слоја изолатора (сафир) депонованог на графен, предвиђено у оквиру предложене теме, може дати значајан допринос у конструкцији квалитетнијих направа на бази графена, пошто се очекује да ће заштитни слој повећати стабилност површинског потенцијала. Поред тога, очекује се да ће анализа оптичких ефеката до које оваква промена Фермијевог нивоа доводи, дати резултате од значаја у применама графена као што су електрооптички модулатори.

Литература:

1. Novoselov K. S., Geim A. K., Morozov S. V., Jiang D., Zhang Y., Dubonos S. V., Grigorieva I. V., Firsov A. A.,: *Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films*, Science, Vol 306, No 5696, 2004, pp. 666-669.
2. Li Z. Q., Henriksen E. A., Jiang Z., Hao Z., Martin M. C., Kim P., Stormer H. L., Basov D. N.,: *Dirac charge dynamics in graphene by infrared spectroscopy*, Nat. Phys., Vol 4, No 7, 2008, pp. 532-535.

3. Bonaccorso F., Sun Z., Hasan T., Ferrari A. C.: *Graphene photonics and optoelectronics*, Nat. Photon., Vol 4, No 9, 2010, pp. 611-622.
4. Rathi, S., Lee, I., Lim, D., Wang, J., Ochiai, Y., Aoki, N., Watanabe, K., Taniguchi, T., Lee, G.-H., Yu, Y.-J., Kim, P., Kim, G.-H.: *Tunable electrical and optical characteristics in monolayer graphene and few-layer MoS₂ heterostructure devices*, Nano lett., Vol 15, No 8, 2015, pp. 5017-5024.
5. Wang, X., Jiang, X., Wang, T., Shi, J., Liu, M., Zeng, Q., Cheng, Z., Qiu, X.: *Electrically configurable graphene field-effect transistors with a graded-potential gate*, Nano Lett., Vol 15, No 5, 2015, pp. 3212-3216.
6. Wu, F., Lee, J. T., Zhao, E., Zhang, B., Yushin, G.: *Graphene-Li₂S-carbon nanocomposite for lithium-sulfur batteries*, ACS Nano, Vol 10, No 1, 2016, pp. 1333-1340.
7. Goykhman, I., Sassi, U., Desiatov, B., Mazurski, N., Milana, S., de Fazio, D., Eiden, A., Khurgin, J., Shappir, J., Levy, U., Ferrari, A. C.: *On-chip integrated, silicon-graphene plasmonic schottky photodetector with high responsivity and avalanche photogain*, Nano Lett., 2016, DOI:10.1021/acs.nanolett.5b05216.

Молибден дисулфид је полупроводник који припада класи материјала који се називају дихалкогенидима прелазних метала и имају слојевиту структуру. Слично графену, монослојеви дихалкогенида прелазних метала су ангстремски танки и представљају дводимензионалне материјале што произвољан подкуп њихових екситација чини дводимензионалним системом.

Циљ истраживања је одређивање утицаја металних нанообјеката на фотолуминисценцију монослоја и танких слојева молибден дисулфида, и одређивање услова под којима се иста може појачати посредством јаких електромагнетних поља локализованих на површини металних нанообјеката.

Монослојеви полупроводних дихалкогенида прелазних метала су, за разлику од балка, директни полупроводници, што их чини веома добрим кандидатима за примене у нанофотоници. Са друге стране, монослојеви и танки слојеви ових материјала поседују интересантне оптичке особине, као што је јака екситонска луминисценција у видљивом делу спектра на собној температури, а која је директна последица дводимензионалности. Наиме, у литератури је познато да се интензитет луминисценције молибден дисулфида смањује са повећањем броја слојева, а да практично ишчезава у балку. Чињеница да луминисценција потиче од екситона указује да су ови системи веома погодни за фундаментална истраживања екситона, и начина на који се они могу спрезати са другим системима. Одатле, проучавање утицаја металних нанообјеката на фотолуминисценцију монослоја молибден дисулфида може имати значајан допринос у области физике чврстог стања и у другим областима где су овакве интеракције релевантне. Постојање значајног оптичког одзива у видљивом делу спектра, са друге стране, указује на потенцијалне примене ових материјала у нанооптици и оптоелектроници. На пример, ласери са нанорезонаторима на бази монослоја волфрам диселенида су већ демонстрирани у литератури. Дакле, очекује се да истраживање појачања луминисценције молибден дисулфида помоћу металних наночестица, као потенцијалних нанорезонатора, допринесе развоју наноласера.

Литература:

1. Radisavljevic B., Radenovic A., Brivio J., Giacometti V., Kis A.: *Single-layer MoS₂ transistors*, Nat. Nano., Vol 6, No 4, 2011, pp. 147-150.
2. Splendiani A., Sun L., Zhang Y., Li T., Kim J., Chim C.-Y., Galli G., Wang F.: *Emerging Photoluminescence in Monolayer MoS₂*, Nano Lett., Vol 10, No 4, 2010, pp. 1271-1275.
3. Li Y., Chernikov A., Zhang X., Rigosi A., Hill H. M., van der Zande A. M., Chenet D. A., Shih E.-M., Hone J., Heinz T. F.: *Measurement of the optical dielectric function of monolayer transition-metal dichalcogenides: MoS₂, MoSe₂, WS₂, WSe₂*, Phys. Rev. B, Vol 90, No 20, 2014, 205422-1 - 205422-6.
4. Gao W., Lee Y. H., Jiang R., Wang J., Liu T., Ling X. Y.: *Localized and Continuous Tuning of Monolayer MoS₂ Photoluminescence Using a Single Shape-Controlled Ag Nanoantenna*, Adv. Mater., Vol 28, No 4, 2015, pp. 701-706.
5. Xia F., Wang H., Xiao D., Dubey M., Ramasubramanian A.: *Two-dimensional material nanophotonics*, Nat. Photon., Vol 8, No 12, 2014, pp. 899-907.
6. Sanfeng W., Buckley S., Schaibley J. R., Feng L., Yan J., Mandrus D.G., Hatami F., Yao W., Vuckovic J., Majumdar A., Xu X.: *Monolayer semiconductor nanocavity laser with ultralow thresholds*, Nature, Vol 520, No 7545, 2015, pp. 69-72

3. Полазне хипотезе

По једном од модела усвојених у литератури, услов за формирање таласа густине наелектрисања у металима је постојање довољног броја електрона у околини Фермијевог нивоа који се могу екситовати искључиво променом њиховог таласног вектора (уз занемарљиво малу промену или без промене њихове енергије) за таласни вектор одређеног фононског мода, q . Одатле, таласи густине наелектрисања карактеристични су за нискодимензионалне метале код којих геометрија Фермијеве површи дозвољава овај тип екситације. Полазећи од поменутог модела уводе се следеће претпоставке:

- електронска структура у околини Фермијевог нивоа церијум трителурида се може описати хибридизацијом $5p_x$ и $5p_z$ орбитала планарних монослојева телурових атома, којима се придружује један електрон услед постојања церијум-телур слојева (Ce-Te) испод.

- церијум трителурид поседује талас густине наелектрисања на собној температури, који је последица геометрије Фермијеве површи електронских стања на планарном слоју телурових атома и јаких електрон-фонон интеракција.

Полазећи од чињенице да се скенирајућом тунелском микроскопијом мери струја тунеловања између проводног врха и проводног узорка, уводи се следећа претпоставка:

- талас густине наелектрисања могуће је директно измерити на собној температури применом скенирајуће тунелске микроскопије.

Полазећи од чињенице да се концентрација носилаца односно Фермијев ниво у графену може подешавати применом спољашњег електричног поља уводе се следеће претпоставке:

- површински потенцијал графена може се подешавати променом концентрације носилаца (Фермијевог нивоа) посредством електричног поља.

С обзиром да се очекују релативно мале промене површинског потецијала у могућем опсегу напона који се доводи на задњи гејт, уводи се следећа претпоставка:

- промену површинског потенцијала графена могуће је експериментално проценити помоћу Келвинове микроскопије.

Полазећи од чињенице да се оптичка проводност графена може се подешавати променом концентрације носилаца (Фермијевог нивоа) посредством електричног поља уводе се следеће претпоставке:

- промена Фермијевог нивоа у графену у околини 0.8 eV може се искористити за конструисање електро-апсорптивних и електро-рефрактивних оптичких модулатора на бази силицијумских таласовода спрегнутих са графеном.

Узимајући у обзир експерименталне резултате мерења луминисценције молибден дисулфида дате у литератури, и чињеницу да се на металним наночестицама могу побудити локализовани површински плазмони, постављају се следеће хипотезе:

- монослој молибден дисулфида поседује два карактеристична екситона у К тачки који се јасно могу видети у фотолуминисценцији јер не постоји довољан број носилаца наелектрисања да их екранује.

- Раман спектри монослоја молибден дисулфида се могу појачати посредством јаких електромагнетних поља локализованих на површини металних наночестица.

- фотолуминисценција која потиче од екситона молибден дисулфида се може модификовати/појачати посредством јаких електромагнетних поља локализованих на површини металних наночестица.

4. Научне методе истраживања

У циљу реализације истраживања предвиђених темом докторске дисертације, кандидат ће примењивати шири скуп научних метода које се могу поделити на експерименталне и теоријско-нумеричке.

У наставку се најпре наводе експерименталне методе, редоследом растуће специфичности и комплексности, тј. тако да предвиђена примена ниже наведених метода захтева не само савладавање основне технике, већ и значајније искуство односно адаптацију метода на конкретан задатак.

1. Спектрофотометрија

Темом се предвиђа да кандидат врши мерења апсорпције или трансмисије кроз узорак након осветљавања широкопојасним светлосним извором. Овом методом ће бити испитиване оптичке особине колоидних плазмонских наночестица добијених хемијским путем намењених СЕРС (видети испод за објашњење) мерењима графена и молибден дисулфида.

2. Раманова спектроскопија

Ова спектроскопска метода обухвата мерење нееластично расејање ласерске светлости на оптичким фононима (у случају кристала) односно вибрационим модовима (у случају молекула или аморфних материјала) на основу којих се често може установити хемијски састав испитиваног узорка. За разлику од комплементарне методе инфрацрвене спектроскопије у којој се светлост еластично расејава на вибрационим модовима, детекција сигнала у Рамановој спектроскопији подразумева оптику видљивих таласних дужина, што је чини посебно погодном за проучавање микро- и наноструктурираних узорака, имајући у виду да дифракциони лимит дозвољава резолуцију од око 300

нанометара у видљивом спектру, док је за инфрацрвене таласне дужине овај лимит реда величине 5 микрометара. Кандидат ће ову методу користити претежно за испитивање броја слојева дводимензионалних материјала, за испитивање њиховог квалитета и чистоће и, коначно, за микроскопска мерења луминисценције молибден дисулфида и испитивање њене модификације услед екситације локализованих површинских плазмона у металним наночестицама.

3. Микромеханичка ексфолијација слојевитих материјала

Припрему монослојева графена и молибден дисулфида ће вршити микромеханичком ексфолијацијом. Ова метода подразумева механичко одвајање монослојева поменутих материјала коришћењем одговарајуће лепљиве траке (за узорке високог квалитета чија се припрема предвиђа је неопходно користити специјалне траке) и њихову депозицију на силицијумске супstrate са танким слојем термално нарастаног силицијум-диоксида. Пре депозиције, површина супстрата мора бити адекватно припремљена, што подразумева да кандидат оптимизује више корака чишћења и хемијску активацију кисеоничном плазмом у циљу добијања што је могуће квалитетнијих узорка. Током припреме супстрата се мора водити рачуна да крајња дебљина термалног силицијум-диоксида буде 100 или 300 нанометара (дозвољена толеранција је неколико нанометара). За другачије дебљине оксида се монослојеви не могу видети на оптичком микроскопу, што значи да их је практично немогуће лоцирати на узорку.

4. Скенирајућа микроскопија

Скенирајућа микроскопија обухвата фамилију различитих метода чија је заједничка особина да се мерење заснива на праћењу интеракције једне нанометарски оштре пробе (енг. tip) постављене на конзолу микронских димензија која се креће по површини узорка а којом се управља преко одговарајућег електронског контролера. Термин "микроскопија" је општеприхваћен и користи се из историјских разлога, међутим пошто су латералне димензије структура које се овом методом испитују по правилу реда величине неколико нанометара, термин "наноскопија" би овде био прецизнији.

За потребе истраживања предвиђених овом темом, кандидат ће користити:

- Скенирајућу тунелску микроскопију (СТМ) у ултрависоком вакууму

У случају СТМ методе, кретање конзоле се контролише повратном спрегом везаном за струју тунеловања између пробе и узорка. Ово је најосетљивији тип скенирајуће микроскопије, примењив само на проводне узорке, којим се ангстремска латерална резолуција може постићи чак и у амбијенталним условима, што је последица експоненцијалне зависности интензитета струје тунеловања и удаљености пробе од узорка. Због ових карактеристика, СТМ је идеална техника за директну опсервацију таласа густине наелектрисања у церијум трителуриду. Због реактивности површине и ради постизања најбоље могуће просторне резолуције, мерења церијум трителурида се морају вршити у ултрависоком вакууму.

- Микроскопију на бази атомских сила (АФМ од енг. atomic force microscopy)

АФМ обухвата потфамилију неколико метода скенирајуће микроскопије који се називају АФМ модовима и у којима се контрола вертикалног положаја пробе ослања на "атомске силе" (термин који обухвата Ван дер Валсове силе, дипол-дипол интеракцију, електростатичке силе, итд.) што значи да је, за разлику од СТМа, АФМ примењив и на непроводне узорке. Од расположивих АФМ модова, кандидат ће за испитивање дводимензионалних система (пре свега графена и молибден дисулфида) користити контактни и полуконтактни (енг. tapping) мод.

- Келвинову микроскопију

Овај тип скенирајуће микроскопије представља варијанту АФМ методе у којој се детектује дугодометна електрична интеракција између пробе и узорка, а прилагођена је за мерење локалног површинског потенцијала узорка. Кандидат ће користити Келвинову микроскопију ради испитивања варијације површинског потенцијала графена у присуству различитих нанообјеката и слојева, као и ефекте који се јављају услед промене гејт напона на графену.

5. Површином подстакнута Раманова спектроскопија (СЕРС од енг. surface-enhanced Raman spectroscopy)

СЕРС представља посебан вид Раманове спектроскопије засноване на великом појачању електричног поља на површини металних наночестица, изазваног екситацијом површинских плазмона односно оштрим ивицама металних наноструктура. СЕРС је погодан за мерење фонона и вибрационих модова веома малих количина материјала који се налазе у близини плазмонске наночестице због тога што је појачање Раман сигнала молекула сразмерно четвртој степену појачања локалног електричног поља, чиме се постиже укупно појачање од око десет редова величине. СЕРС се најчешће користи за ултраосетљиву детекцију молекула адсорбованих на металне наночестице, али се у овој теми предвиђа његова примена у Рамановој наноспектроскопији графена и молибден дисулфида.

У оквиру теоријско-нумеричких метода се предвиђа развој неколико специфичних теоријских модела и њихова имплементација у програмском језику MATLAB, софтверском пакету COMSOL Multiphysics намењеног за решавање парцијалних диференцијалних једначина методом коначних елемената као и повезивање MATLAB развојног окружења са COMSOL сервером ради аутоматизације процеса израде модела и управљања COMSOL моделима преко MATLAB програмског језика. Конкретно, рад кандидата ће обухватити (наведено по растућем степену комплексности):

1. Метод полова рефлексije

Овај метод се користи за прорачун својствених модова у таласоводима са губицима и подразумева израчунавање коефицијента рефлексije за равански талас који пада на слојевити (планарни) систем формулисан тако да даје математички исправне резултате за произвољну комплексну вредност компоненте таласног вектора у равни. Својствени таласни вектор и одговарајући мод се одређују као полови у одзиву система (рефлексije) тј. оне вредности таласног броја за које коефицијент рефлексije дивергира. Прорачун коефицијента рефлексije се предвиђа коришћењем методе трансфер матрица.

2. Модална анализа система са губицима коришћењем COMSOL Multiphysics пакета

За потребе нумеричког прорачуна вођених модова у тракастим силицијумским таласоводима са губицима се предвиђа употреба COMSOL Multiphysics пакета у коме се предвиђа формулација у форми својственог проблема. Поред имплементације одговарајуће таласне једначине и граничних услова, кандидат ће имати задатак да нађе ону формулацију која омогућава добијање исправних резултата за својствене модове у таласоводу са губицима (где својствене константе пропагације постају комплексне а својствени модови нису узајамно ортогонални). Исправност модела имплементiranог у COMSOL Multiphysics пакету, кандидат ће проверити његовом применом на планарни таласовод за који је претходно развио метод анализе полова рефлексije.

3. Решавање проблема расејавања коришћењем COMSOL Multiphysics пакета

Кандидат ће тродимензионални проблем расејавања раванског таласа на металним наночестицама покривених нанометарски танким слојем цитратних јона и депонованих на графен или молибден дисулфид на силицијумском супстрату са танким слојем силицијум

диоксида изучавати решавањем Максвелових једначина имплементираних у COMSOL Multiphysics пакету и граничних услова који адекватно описују инцидентни талас и уз дефинисање одговарајућих апсорпционих слојева (ПМЛ од енг. perfectly matched layer) тако да је добијено решење егзактно, тј. не захтева увођење било каквих апроксимација.

4. Расејавање светлости на ансамблима случајно распоређених наночестица коришћењем MATLABa и COMSOL сервера

Кандидат ће имати задатак да одреди типичне карактеристике (попут фактора појачања електричног поља) светлости расејане на различитим ансамблима наночестица, да би направио теоријску процену фактора појачања Раман сигнала у СЕРСУ графена и молибден дисулфида. Да би ово постигао, тражиће начин да повеже MATLAB развојно окружење са COMSOL сервером на коме ће програмски генерисати стотине елемената сваког ансамбла (елемент ансамбла је један конкретан распоред десетак наночестица) из чега ће извучити статистику карактеристичну за дати ансамбл на основу спектра расејања светлости нумерички израчунате за сваки елемент ансамбла. Под ансамблом се овде подразумева скуп свих могућих распореда одређеног броја наночестица (разматраће се случајеви до пар десетина) одређених геометријских карактеристика (величина и облик) и дозвољеног минималног растојања између честица, за које се претпоставља да значајно утиче на максимални фактор СЕРС појачања.

5. Очекивани научни допринос

- Утврђивање параметара који одређују талас густине наелектрисања у церијум трителуриду, као што су енергетски процеп и његова таласна дужина.
- Утврђивање да ли је талас густине наелектрисања у церијум трителуриду на собној температури праћен периодичном реорганизацијом атома.
- Утврђивање утицаја процеса фабрикации и процеса трансфера на мерење дебљине графена и на његову оптичку проводност у видљивом делу спектра.
- Утврђивање утицаја броја слојева на површински потенцијал графена.
- Утврђивање стабилности промене површинског потенцијала изолованог графена
- Утврђивање утицаја напона гејта на површински потенцијал графена, његове просторне варијације са и без присуства нанометарски танког заштитног оксидног слоја
- Утврђивање утицаја графена на вођене модове планарних и силицијумских тракастих таласовода и примене у електрооптичким модулатора.
- Утврђивање услова неопходних за електромагнетно појачање Рамановог расејања у присуству сребрних наночестица и процена фактора појачања Раман сигнала молекула цитрата и тијацијанинске боје.
- Утврђивање утицаја сребрних наночестица на Раманово расејање у молибден дисулфиду.
- Утврђивање услова под којима је могуће постићи електромагнетно појачање екситонских пикова у фотолуминисценцији молибден дисулфида у присуству сребрних наночестица.

6. План истраживања и структура рада

Након упознавања са неопходном литературом и упознавања са експерименталним техникама скенирајуће микроскопије и оптичке спектроскопије план истраживања ће бити спроведен у неколико фаза:

Прва фаза обухвата фабрикацију монослојних и вишеслојних узорака графена и молибден дисулфида помоћу микромеханичке ексфолијације на силицијумским супстратима са 90 nm или 300 nm танким силицијум диоксидом. Ови супстрати обезбеђују видљивост веома танких слојева поменутих материјала. Такође, у овој фази врши се припрема површине церијум трителурида микромеханичком ексфолијацијом.

Друга фаза обухвата карактеризацију претходно припремљених узорака графена, молибден дисулфида и церијум трителурида, техникама скенирајуће микроскопије и Рамановом спектроскопијом.

Трећа фаза обухвата испитивање електричне стабилности графена техникама Келвинове микроскопије и микроскопије на бази електричних сила у конфигурацији задњег гејта.

Четврта фаза обухвата испитивање ефекта Рамановог појачања у присуству металних наночестица уз помоћ молекула тијацијанинске боје.

Пета фаза обухвата испитивање интеракције металних наночестица, графена и молибден-дисулфида помоћу површином подстакнуте Раманове спектроскопије и микроскопије на бази атомских сила.

Шеста фаза обухвата опис постигнутих експерименталних резултата одговарајућим нумеричким методама и моделовање направа на бази поменутих материјала на основу карактеристика утврђених из претходно добијених експерименталних резултата.

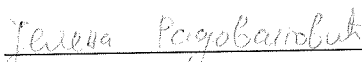
7. Закључак и предлог

Комисија сматра да је кандидат Урош Ралевић, мастер инжењер електротехнике и рачунарства, убедљиво показао подобност за реализацију циљева истраживања предвиђених описаном темом која носи наслов **"Наноскопија и примене дводимензионалних система на бази слојевитих материјала"** и обухвата истраживања која спадају у ужу научну област физичке електронике за коју је Електротехнички факултет Универзитета у Београду матичан. Наведени наслов је измењен у односу на радни наслов који је кандидат предложио, са чиме су сагласни сви чланови Комисије. Комисија за оцену подобности теме и кандидата предлаже Комисији за студије трећег степена и Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да кандидату одобри израду дисертације на енглеском језику и предлаже наслов **"Nanoscopy and applications of two-dimensional systems based on layered materials"**.

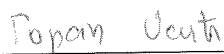
С обзиром на предмет истраживања кандидата, за ментора предлажемо др Јелену Радовановић, редовног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Београд,
24. маја 2016. године

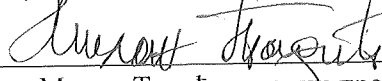
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

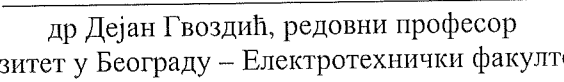

др Јелена Радовановић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Витомир Милановић, професор емеритус
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Горан Исић, научни сарадник
Универзитет у Београду – Институт за физику


др Мидка Потребић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


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


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

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Уроша Ралевића за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа бр. 5007/10-1 од 29.03.2016. године, именован сам за члана Комисије за оцену подобности теме и кандидата Уроша Ралевића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под радним називом: „Наноскопија и примене дводимензионалних и квази-дводимензионалних система.“

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата и одржане јавне одбране пријаве теме докторске дисертације, четири члана Комисије су мишљења да предложена тема и кандидат испуњавају услове за прихватање теме докторске дисертације на Универзитету у Београду и предлажу Наставно-научном већу Електротехничког факултета да извештај усвоји и проследи на даље разматрање Већу техничких наука Универзитета у Београду. У односу на наведени предлог Комисије

ИЗДАЈАМ МИШЉЕЊЕ

и предлажем да се пријава теме кандидата Уроша Ралевића поново размотри на Комисији за студије трећег степена и на Наставно-научном већу Електротехничког факултета.

Након пажљиве анализе материјала за пријаву теме који је потписан од стране кандидата Уроша Ралевића и предложеног ментора др Јелене Радовановић, редовног професора Електротехничког факултета у Београду, те на основу јавне усмене одбране пријављене теме, дошао сам до следећих закључака:

- Предложени наслов докторске дисертације не обухвата један значајан теоријски научни допринос, који одговара радовима на којима је кандидат првопотписани аутор, а који је у основи оријентисан ка фотонским комуникационим компонентама, конкретно, електрооптичким модулаторима на бази графена, већ фаворизује експерименталне доприносе наноскопије, који су у овом тренутку верификовани кроз научне радове првопотписане од стране других аутора.

На основу материјала образложења пријаве теме докторске дисертације где је као циљ истраживања наведено:

„Такође, циљ је и утврђивање примена ових система са фокусом на примене у конструкцији оптичких направа, као што су оптички модулатори и ласери са нано-резонаторима.“

и на основу таксативно наведених доприноса, где се од укупно пет доприноса два односе на истраживање везано за оптичке модулаторе:

- *Утврђивање карактеристика (модулационе дубине, губитака) електро-апсорптивних и електро-рефрактивних оптичких модулатора на бази графена спрегнутог са планарним силицијумским таласоводима.*

- *Утврђивање утицаја геометрије на карактеристике електро-апсорптивних оптичких модулатора на бази графена спрегнутог са силицијумским тракастим таласоводима“*

може се закључити да је један значајан део истраживања у оквиру дисертације усмерен ка могућим применама у реализацији фотонских компоненти, те сматрам да би то требало да буде прецизирано у наслову.

- У оквиру предложене теме није јасно на који начин су повезани постојећи експериментални резултати са теоријским резултатима. На више пута постављено питање о вези између теоријских и експерименталних резултата кандидат је приликом одбране теме одговарао неодређено, а на позив да на слајдовима на којима су приказани теоријски резултати покаже барем један резултат теоријског разматрања који је у вези са експерименталним резултатима, кандидат није био у стању да одговори. У том погледу, остало је нејасно шта ће бити основни допринос тезе и који је смисао експерименталних и теоријских резултата.
- У току усмене одбране пријаве теме, кандидату сам поставио три фундаментална питања, која су била у вези са последњим кандидатовим радом са СЦИ листе на коме је првопотписани аутор, а који се бави електрооптичким модулаторима на бази графена са силицијумским таласоводом:

1. Објаснити принцип рада класичног силицијумског електрооптичког модулатора и навести и објаснити физички ефекат који стоји у позадини овог принципа.

Кандидат је након веома дугог временског интервала (дуже од 15 минута) дао одговор из кога се могло закључити да има врло магловиту слику о томе како функционишу силицијумски електрооптички модулатори и колико је слабљење потребно да оствари силицијумски модулатор да би електроапсорпциони ефекат био искоришћен у реализацији прекидачке функције. Кандидат је имао великих потешкоћа приликом конверзије слабљења од 3дБ у процентуални однос снага. Кандидат није знао који физички ефекти стоје у позадини рада ових модулатора.

2. Објаснити принцип рада електрооптичког модулатора на бази III-V полупроводничких материјала и уз објашњење навести физички ефекат на коме се модулација заснива.

На питање да објасни принцип рада кандидат је дао погрешан одговор, а везано за објашњење физичког ефекта на коме се модулација заснива рекао је да не зна одговор.

3. Који су потребни и довољни услови вођења оптичких сигнала у полупроводничким таласоводима?

Кандидат је знао који су потребни, али не и који су довољни услови вођења оптичких сигнала у оптичким таласоводима.

Материја чије је познавање било потребно да би се дали тачни одговори на ова питања, покривена је већим бројем курсева на основним студијама, али и курсевима на мастер и докторским студијама.

У одговорима на питања кандидат је показао значајну неспремност и велики степен конфузије, што указује на чињеницу да се област у којој је кандидат до сада имао највећи допринос (верификован објављивањем научног рада) запоставља од стране кандидата и

ментора, што је крајње контрадикторна ситуација.

Закључак и предлог

Имајући у виду наведене закључке, а сходно члану 36 Правилника о докторским студијама Електротехничког факултета који дефинише задатак Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације *"да размотри пријаву кандидата, процени могућност постизања научног доприноса у оквиру теме и сачини предлог за ментора докторске дисертације"*, предлажем Комисији трећег степена и Наставно-научном већу Електротехничког факултета да поново размотре пријаву теме докторске дисертације кандидата Уроша Ралевића уз предлоге да се:

- 1. Именује још један ментор са Електротехничког факултета који се превасходно бави фотонским комуникацијама и/или компонентама**

Сматрам да би ангажовање још једног ментора са ужом научном области истраживања која се односи на фотонику могло да помогне кандидату да прошири знања из области електрооптичких модулатора и стога адекватно презентује и расветли доприносе радова на којима је првопотписан, а у којима се разматрају електрооптички модулатори на бази графена. Овај предлог ни по једном основу није штетан за кандидата. Такође, именовање још једног ментора не угрожава већ предложеног ментора проф. др Јелену Радовановић, будући да она до тренутка именовања за ментора није имала сарадњу са кандидатом, нити у оквиру докторских студија нити на истраживању везаном за докторску дисертацију. Са друге стране, имајући у виду да је ужа научна област истраживања проф. Радовановић наноелектроника, сматрам да њено ангажовање као једног од ментора такође може допринети квалитету дисертације будући да су одређени циљеви и доприноси уско везани за ову област.

- 2. Модификује наслов дисертације тако да се у обзир узме оригинални и фундаментални допринос кандидата који се односи на електрооптичке модулаторе на бази графена, на пример: "Наноскопија слојевитих дводимензионалних материјала и њихова примена у реализацији електрооптичких модулатора."**

Уверен сам да би прихватање ових предлога унапредило квалитет предложене докторске дисертације што је у интересу и кандидата, али и Електротехничког факултета Универзитета у Београду као институције на којој ће дисертација бити реализована.

У Београду,
13.06.2016.


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