

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидаткиње Ане Радосављевић за израду докторске дисертације

Одлуком 5001/12-1 бр. од 6.11.2014. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидаткиње Ане Радосављевић за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **"Простирање светлости кроз комплексне системе спрегнутих таласовода"**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидаткиње, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Ана Радосављевић је рођена 12.05.1988. године у Београду, где је завршила основну и средњу школу. Након завршене средње школе уписала је Електротехнички факултет Универзитета у Београду 2007. године, где је и дипломирала 2011. године са просечном оценом 9,36 на Одсеку за Физичку електронику, смер Наноелектроника, оптоелектроника и ласерска техника, на теми "Формирање и електронска структура квантних тачака". Исте године уписала је дипломске академске (мастер) студије на смеру Наноелектроника, оптоелектроника и ласерска техника, које је завршила одбраном мастер рада "Анализа апсорпционих особина полупроводничких наноструктура на бази кубног GaN/AlGaIn за примене у детекцији инфрацрвеног зрачења" 2012. године са просечном оценом 10. Од јануара 2013. године запослена је као истраживач приправник у Институту за нуклеарне науке "Винча", у Лабораторији за атомску физику, где је у новембру исте године унапређена у звање истраживача сарадника.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Преглед положених испита

1. Увод у нелинеарну динамику (оцена: 10, ЕПС: 9)
2. Оптимизација и инжењеринг наноструктурних параметара (оцена: 10, ЕПС: 9)
3. Моделовање наноструктура (оцена: 10, ЕПС: 9)
4. Простирање оптичких таласа у комплексним срединама (оцена: 10, ЕПС: 9)

5. Оптиелектронске мерне методе (оцена: 10, ЕПС: 9)
6. Оптичке особине полупроводничких наноструктура (оцена: 10, ЕПС: 9)
7. Квантна оптика (оцена: 10, ЕПС: 9)
8. Фотонски кристали и оптички метаматеријали (оцена: 10, ЕПС: 9)
9. Пројектовање интегрисаних кола (оцена: 10, ЕПС: 9)
10. Иновације, трансфер технологије и заштита интелектуалне својине (оцена: 10, ЕПС: 6)

Кандидаткиња је дана 07.11.2014. успешно положила испит о подобности кандидата и теме "Простирање светлости кроз комплексне системе спрегнутих таласовода" (докторски испит) пред комисијом коју су сачињавали:

др Јелена Радовановић, ванредни професор Електротехничког факултета у Београду,
 др Горан Глигорић, научни сарадник Института за нуклеарне науке Винча у Београду,
 др Милан Илић, ванредни професор Електротехничког факултета у Београду.

Учешће на пројектима

По завршетку мастер студија Ана Радосављевић се запослила у Институту за нуклеарне науке "Винча" у оквиру пројекта *Фотоника микро и напоструктурних материјала, Министарство просвете, науке и технологије Републике Србије, ИИИ 45010*. Поред овог пројекта налази се и на међународном трилатералном пројекту *Control of light and matter waves propagation and localization in photonic lattices, Sweden-Chile-Serbia, Swedish Research Council, grant 2013-6752*.

У оквиру ових пројеката кандидаткиња је, поред стеченог знања о проблемима простирања светлости кроз комплексне системе, овладава и аналитичким и нумеричким техникама потребним за решавање таквих и сличних проблема.

Списак радова

Радови у врхунским међународним часописима (M₂₁):

1. Radosavljević A., Gligorić G., Maluckov A., Stepić M., Milović D.: *Light propagation management by disorder and nonlinearity in one-dimensional photonic lattices*, Journal of Optical Society of America B, vol. 30, 2013, pp. 2340-2347 (DOI: 10.1364/JOSAB.30.002340, ISSN: 0740-3224, IF: 2.210)
2. Radosavljević A., Gligorić G., Maluckov A., Stepić M.: *Control of light propagation in one-dimensional quasi-periodic nonlinear photonic lattices*, Journal of Optics, vol. 16, 2014, pp. 025201-025209 (DOI: 10.1088/2040-8978/16/2/025201, ISSN: 2040-8978, IF: 2.010)

Радови у истакнутим међународним часописима (M₂₂):

1. Radosavljević A., Radovanović J., Milanović V.: *Optimization of cubic GaN/AlGaIn quantum well-based structures for intersubband absorption in the infrared spectral range*, Solid State Communications, vol. 182, 2014, pp. 38-42 (DOI: 10.1016/j.ssc.2013.12.006, ISSN: 0038-1098, IF: 1.649)
2. Radosavljević A., Gligorić G., Maluckov A., Stepić M.: *Manipulation of light beam propagation in one-dimensional photonic lattices with linear refractive index profile*, Optics Communications, vol. 335, 2015, pp. 194-198 (DOI: 10.1016/j.optcom.2014.09.035, ISSN: 0030-4018, IF: 1.542)

Радови са међународних конференција објављени у часописима (M₃₃):

1. Radosavljević A., Radovanović J., Milanović V.: *Optimization of planar nanostructures based on cubic GaN/AlGaIn for applications in the IR spectral range, by Genetic Algorithm* (Proceedings paper), 20th Telecommunications Forum (TELFOR), Belgrade, Serbia 2012, 1123-26 (DOI: 10.1109/TELFOR.2012.6419408, ISBN: 978-1-4673-2983-5)

2. Cvetić J., Radosavljević A., Heidler F., Đurić R., Ponjavić M., Šumarac D., Trifković Z., *The Influence of the Breakdown Electric Field in the Lightning Corona Sheath on the Dynamics of the Return Stroke*, 31st International Conference on Lightning Protection (ICLP), Vienna, Austria 2012 (DOI: 10.1109/ICLP.2012.6344351, ISBN: 978-1-4673-1898-3)
3. Radosavljević A., Radovanović J., Milanović V., Indjin D., *Cubic GaN/AlGaIn based quantum wells optimized for applications to tunable mid-infrared photodetectors*, Optical and Quantum Electronics, (DOI: 10.1007/s11082-014-0016-y, ISSN: 0306-8919, IF: 1.078)

Радови објављени у форми апстраката на међународним конференцијама (M₃₄):

1. Radosavljević A., Gligorić G., Maluckov A., Stepić M.: *Light localization in quasi-periodic nonlinear photonic lattices*, IV International School and Conference on Photonics, Book of Abstracts, Belgrade 2013, pp.62
2. Radosavljević A., Gligorić G.: *Light localization in quasi-periodic photonic lattices with saturable nonlinearity*, 546th WE-Heraeus-Seminar: Light in disordered media, Physikzentrum Bad Honnef, Germany 2013.
3. Gligorić G., Radosavljević A., *Management of light propagation by disorder and nonlinearity in one-dimensional photonic lattices*, 546th WE-Heraeus-Seminar: Light in disordered media, Physikzentrum Bad Honnef, Germany 2013.
4. Kuzmanović S., Krsić M. S., Milović D., Radosavljević A., Gligorić G., Maluckov A., Stepić M., *Light propagation in cavity formed by nonlinear defect and interface between two different linear waveguide arrays*, Advanced Photonics Congress, Crowne Plaza Barcelona Fira Center, Barcelona, Spain 2014.
5. Radosavljević A.: *Towards all optical light beam propagation control along one dimensional photonic lattices*, International workshop on Control of light and matter waves propagation and localization in photonic lattices, Linköping University, Linköping, Sweden 2014.

Радови објављени у форми апстраката на домаћим конференцијама (M₆₄):

1. Радосављевић А., Глигорић Г., Малуцков А., Степић М.: *Контрола простирања оптичког снопа кроз фотонске решетке*, Седма радионица фотонице, Зборник апстраката, Копаоник 2014, стр. 28.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидаткиња поседује одговарајући ниво знања и искуства из области фотонице као и математике и нумеричких метода потребних за реализацију задатака и решавање проблема везаних за израду докторске дисертације. Поред тога, кандидаткиња поседује самосталност у истраживању и брзо и ефикасно усваја нова знања. Приликом учешћа на домаћим и међународним конференцијама кандидаткиња је добијене резултате изложила на високом нивоу. На основу свега изложеног и досадашњих резултата кандидаткиње, наша је процена да је она у стању да успешно реализује и заврши израду докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предложена дисертација ће се бавити једнодимензионалним (1Д) периодичним фотонским решеткама које представљају посебан тип једнодимензионалних фотонских кристала

сачињених од међусобно паралелних оптичких таласовода који су на таквом растојању да је могуће слабо (линеарно) спрежање између суседних таласовода (елемената решетке). У оваквим системима је могуће потпуно контролисати простирање светлости променом параметара система као што су индекси преламања таласовода и околне средине, димензије и растојање таласовода и период решетке. То их чини веома атрактивним за примене у, на пример, интегрисаној оптици и оптичким комуникацијама. Као последица периодичности система, енергетски спектар система има зонску структуру са дозвољеним и забрањеним зонама за простирање светлости, сличним онима у физици чврстог стања за таласни пакет придружен електронима у кристалној решетки, чије ширине и положаји управо зависе од структурних параметара решетке. Познато је да једнодимензионалне фотонске решетке већ у линеарном режиму имају специфичан утицај на простирање светлости. Он се огледа у појави, такозване дискретне дифракције, која је карактеристична за дискретне системе. Поред тога, нехомогености у фотонским решеткама, попут неуређености, квазипериодичности или линеарне промене индекса преламања између таласовода, као и евентуално присуство нелинеарности у оваквим срединама, могу додатно утицати на зонску структуру решетке и простирање светлости омогућујући и формирање различитих просторно локализованих структура.

Предмет овог истраживања је испитивање различитих ефеката који се јављају при простирању оптичког снопа кроз комплексне 1Д фотонске решетке, при чему се под комплексношћу решетке подразумева присуство различитих нехомогености у структури решетке, као што су разни типови и степени неуређености, градијент индекса преламања или нелинеарност.

Циљ истраживања је проучавање утицаја уређености, односно комплексности структуре једнодимензионалних фотонских решетки на простирање оптичког снопа, као и разматрање нових могућности комбиновања ефеката који потичу од различитих типова и степена неуређености, нелинеарности и других начина нарушавања хомогености периодичних фотонских решетки, попут линеарне промене индекса преламања између таласовода, да би се постигло контролисање простирања оптичког снопа дуж реално остварљивих комплексних фотонских решетки у фоторефрактивним материјалима. Фоторефрактивни материјали, окарактерисани сатурационим нелинеарним одзивом на светлост јаким интензитета, имају веома значајно место у оптици. Међу њима се истиче литијум ниобат као један од основних оптичких материјала за интегрисану оптику који се, између осталог, употребљава за брзу електро-оптичку модулацију у мрежама оптичких влакана, холографију и параметарске процесе.

Фундаментални значај предложеног истраживања се огледа у доприносу познавању и примени комплексних, пре свега неуређених система. У пракси је ово истраживање значајно за унапређење развоја свеоптичке контроле простирања светлосног снопа на интегрисаним оптичким чиповима. Ово отвара нови правац у развоју техника контролисања простирања светлости коришћењем композитних нехомогених оптичких решетака и испитивању реално остварљивих система.

Релевантни библиографски извори

У истраживању кандидаткиња ће користити релевантне библиографске изворе са резултатима добијеним у анализи простирања снопа светлости кроз комплексне фотонске решетке, као и нумеричке библиографске изворе од којих је неколико најбитнијих наведено у наставку:

1. Anderson P. W.: *Absence of diffusion in certain random lattices*, Physical Review, vol. 109, 1958, pp. 1492-1505.
2. Segev M., Silberberger Y., Cristodoulides D. N.: *Anderson localization of light*, Nature Photonics, vol. 7, pp. 197-204.

3. Schwartz T., Bartal G., Fishman S., Segev M.: *Transport and Anderson localization in disordered two-dimensional photonic lattices*, Nature, vol. 446, 2007, pp. 53-57.
4. Wiersma D. S., Bartolini P., Lagendijk A., Righini R.: *Localization of light in a disordered medium*, Nature, vol. 390, 1997, pp. 671-673.
5. Lahini Y., Avidan A., Pozzi F., Sorel M., Morandotti R., Cristodoulides D. N., Silberberger Y.: *Anderson localization and nonlinearity in one-dimensional disordered photonic lattices*, Physical Review Letters, vol. 100, 013906-013910.
6. Kartashov Y. V., Konotop V. V., Vysloukh V. A., Torner L., *Light localization in nonuniformly randomized lattices*, Optics Letters, vol. 37, pp. 286-288.
7. Aubry S., Andre G.: *Analytical breaking and Anderson localization in incommensurate lattices*, Annals of the Israel Physical Society, vol. 3, 1980, pp. 133-164.
8. Lahini Y., Pugatch R., Pozzi F., Sorel M., Morandotti R., Davidson N., Silberberger Y.: *Observation of a localization transition in quasiperiodic photonic lattices*, Physical Review Letters, vol. 103, 2009, pp. 013901-013905.
9. Sapienza R., Costantino P., Wiersma D., Ghulinyan M., Oton J. C., Pavesi L.: *Optical analogue of electronic Bloch oscillations*, Physical Review Letters, vol. 91, 2003, 263902-263906.
10. Peschel U., Pertsch T., Lederer F.: *Optical Bloch oscillations in waveguide arrays*, Optics Letters, vol. 23, 1998, pp. 1701-1703.
11. Stützer S., Kartashov Y. V., Vysloukh V. A., Konotop V. V., Nolte S., Torner L., Szameit A.: *Hybrid Bloch-Anderson localization of light*, Optics Letters, vol. 38, 2013, pp. 1488-1490.
12. Flach S.: *Spreading of waves in nonlinear disordered media*, Chemical Physics, vol. 375, 2010, pp. 548-556.

3. Полазне хипотезе

Фотонске решетке, у поређењу са полупроводничким суперрешеткама и другим периодичним системима, представљају веома погодне структуре за директну визуализацију разних ефеката који се јављају нарушавањем периодичности, попут Андерсонове локализације и Блохових осцилација. Поред значаја у фундаменталном испитивању ових ефеката, фотонске решетке су значајне са практичне стране јер се њиховом интеграцијом на оптичким чиповима могу дизајнирати различите свеоптичке компоненте које би могле заменити одговарајуће оптоелектронске компоненте у оптичким мрежама, што представља актуелну тему у решавању проблема проширења пропусног опсега у оптичким комуникацијама. Због тога проучавање примене горе поменутих ефеката у контролисању простирања светлости кроз фотонске решетке представља значајан допринос актуелним истраживањима на овом пољу.

Андерсонова локализација представља механизам експоненцијалне локализације светлости у неуређеним системима, а потиче од некохерентне интерференције расејане светлости на насумичним дефектима. Код неуређених система, ширина локализованог снопа зависи од степена неуређености. Квазипериодичне решетке представљају специјалан тип неуређених решетки које се могу формирати уписивањем две решетке несамерљивих просторних периода на истом супстрату. Карактеристично за овакав тип неуређености је да Андерсонова локализација наступа након постигнуте вредности прага степена неуређености система.

У предложеном истраживању полази се од следећих хипотеза:

- променом типа и степена неуређености дуж решетке се може контролисати да ли је сноп локализован или дифрактује, односно може се контролисати његова ширина или локализациона дужина;

- претпоставља се да се комбинацијом типова и степена неуређености може контролисати и број побуђених таласовода решетке и на тај начин обављати функција просторног мултиплексирања;
- увођење линеарног градијента индекса преламања контролисаног степена раста у трансверзалном правцу доводи до појаве Блохових осцилација. Њихова амплитуда и период осциловања су обрнуто сразмерни степену раста индекса преламања;
- зависно од места прекида Блохових осцилација, што се постиже комбиновањем различитих фотонских решетке у правцу простирања свестлости, може се контролисати дељење снопа и правац по коме се снап шаље даље кроз систем решетке.

4. Научне методе истраживања

Методологија истраживања у оквиру предложене теме докторске дисертације састојаће се од следећих корака:

- Преглед постојећих резултата у домену проучавања ефеката који се јављају у периодичним системима нарушавањем њихове хомогености, попут Андерсонове локализације, Блохових осцилација и локализације светлости на нелинеарним дефектима, као и резултата у области примене нехомогених система.
- Постављање система диференчно-диференцијалних једначина који описују одговарајуће дискретне моделе различитих типова нехомогених решетке за одабране скупове параметара који одговарају једнодимензионалним решеткама начињеним на супстрату од кристала са засићујућом нелинеарношћу, као што је, на пример, литијум ниобат. Модели ће укључивати и ефекте нехомогености и засићујуће нелинеарности како би поред појединачног утицаја ових ефеката могло да се испита и њихово истовремено деловање.
- Нумеричко решавање постављених једначина применом различитих нумеричких метода (метода погађања, Рунге-Кута метода) ради одређивања утицаја горе поменутих ефеката на зонску структуру.
- Постављање континуалног модела који ће укључивати ефекте нехомогености и засићујуће нелинеарности.
- Нумеричко решавање постављене модалне једначине нумеричким методом Сплит-степ Фурије ради динамичког симулирања простирања оптичког снопа кроз различите комплексне решетке и испитивање дејства различитих нехомогености на простирање снопа, попут утицаја степена и типа неуређености на локализациону дужину снопа без и са присуством нелинеарности, затим утицаја градијента индекса преламања у правцу низања таласовода решетке на период и амплитуду Блохових осцилација и слично. У те сврхе биће дефинисане одговарајућих величине, на пример партиципациони број, чије ће се вредности и понашање пратити дуж пропагационог правца у решеткама.
- Поређење добијених закључака са постојећим резултатима ради њихове верификације и разматрање могућности њихове примене у контролисању простирања оптичког импулса кроз комплексне фотонске решетке.
- Посебан осврт на испитивање понашања снопа при пропагацији кроз композитне фотонске решетке добијене надовезивањем решетке окарактерисаних различитим типовима и степеном неуређености, односно различитим градијентом индекса преламања, и нелинеарности. Теоријско предлагање неколико композитних решетке, на основу детаљних динамичких симулација у циљу квалитативне карактеризације простирања снопа, које би могле наћи примену у свеоптичком контролисању импулса на интегрисаним оптичким чиповима за извођење различитих функција, попут мултиплексирања, демултиплексирања или преусмеравања оптичког снопа.

5. Очекивани научни допринос

Основни научни доприноси који се очекују од предложеног истраживања су:

- Развој јединственог општег софтвера за анализу ефеката који се јављају при простирању светлости кроз различите типове комплексних једнодимензионалних фотонских решетки који омогућава, поред анализе појединачног дејства сваког од ефеката, динамичко симулирање комбинованог дејства различитих ефеката.
- Квалитативна анализа понашања оптичког снопа при простирању кроз композитне решетки добијене променом степена/типа неуређености (quenched and non-quenched disorder), односно нагиба линеарне промене индекса преламања таласовода на одређеним местима дуж пропагационог правца решетки.
- Предлог, на основу квалитативне анализе, експериментално изводљивих композитних решетки на супстратима од фоторефрактивних кристала, потенцијално применљивих за контролисање простирања оптичког снопа на интегрисаним оптичким чиповима.

6. План истраживања и структура рада

У првом делу истраживања биће извршена анализа постојећих модела структурних неуређености, односно линеарне промене индекса преламања таласовода у фотонским решеткама са Керовим и сатурационим типом нелинеарности у циљу формирања адекватних дискретних и континуалних модела за испитивање ефеката Андерсонове локализације и Блохових осцилација у реално експериментално изводљивим решеткама начињеним на супстратима од фоторефрактивних материјала.

У другој фази ће се, ради нумеричке анализе проблема изградити програми засновани на "методи погађања" за решавање стационарних једначина, док ће за динамичке једначине програми бити базирани на примени Рунге-Кута методе за решавање диференцијалних система једначина, односно на примени Сплит-степ Фурије метода за решавање континуалне модалне једначине.

Резултати добијени нумеричком анализом биће упоређени са познатим резултатима у литератури ради верификовања постављених модела. Након тога ће се изведени закључци искористити за предлог примене комплексних решетки у контролисању простирања оптичког снопа с нагласком на композитне решетки добијене надовезивањем решетки окарактерисаних различитим степеном неуређености, квазипериодичности или градијентом индекса преламања, при чему ће у сваком од случајева бити тестирано понашање снопа са и без присуства сатурационе нелинеарности. За одабране композитне решетки ће бити извршене детаљне квалитативне анализе и динамичке симулације простирања снопа у циљу провере полазних хипотеза да се помоћу композитних решетки може контролисати простирање оптичког снопа.

Планирана структура рада ће се састојати од уводног дела о фотонским решеткама, након чега ће уследити делови који ће се посебно бавити теоријским разматрањима и дискусијом нумеричких резултата за сваки од типова комплексних решетки (неуређене, квазипериодичне и решетки са линеарном променом индекса преламања) које се могу начинити на фоторефрактивним материјалима окарактерисаним сатурационим нелинеарним одзивом на улазни снап великог интензитета. За сваки тип комплексних решетки ће детаљно бити описане предложене потенцијалне примене у обављању различитих функција као што су мултиплексирање, демултиплексирање и преусмеравање оптичког снопа. У финалном делу ће бити изведени општи закључци предложеног истраживања и анализирани даљи правци истраживања у овој области.

7. Закључак и предлог

На основу приложене документације, као и непосредног увида у досадашњи научни рад кандидаткиње Ане Радосављевић, **мастер инжењера електротехнике**, Комисија је закључила:

1. Кандидаткиња испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду за одобрење теме за израду докторске дисертације;

2. Предложена тема **"Простирање светлости кроз комплексне системе спрегнутих таласовода"** је научно заснована, а резултати до којих ће се доћи израдом ове дисертације биће значајан и оригиналан допринос овој области. Због тога Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да кандидаткињи Ани Радосављевић одобри израду докторске дисертације под наведеним називом, а под менторством др Љупча Хацијевог, научног саветника Института за нуклеарне науке "Винча" у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Љупчо Хациевски, научни саветник
Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне науке Винча

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

др Горан Глигорић, научни сарадник
Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне науке Винча

др Милан Илић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет