

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Оцена научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Коље Бугарског, мастер инж. електротехнике и рачунарства за израду докторске дисертације "Дизајн и имплементација интегрисаних фотонских компоненти заснованих на оптичким решеткама", на енглеском језику "Design and implementation of integrated photonic components based on optical lattices".

Одлуком бр. 1111/16 од 11.06.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Коље Бугарског за израду докторске дисертације и научне заснованости теме "Дизајн и имплементација интегрисаних фотонских компоненти заснованих на оптичким решеткама", на енглеском језику "Design and implementation of integrated photonic components based on optical lattices".

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Коља Бугарски рођен је 1.1.1998. у Београду, Србија. Основну школу "Стеван Синђелић" завршио је као вуковац. Четрнаесту београдску гимназију завршио је такође као носилац Вукове дипломе 2016. године.. Исте године уписао је основне академске студије на Електротехничком факултету у Београду, студијски програм Електротехника и рачунарство. Дипломирао је на одсеку за Физичку електронику, смер: Наноелектроника, оптоелектроника и ласерска техника са просечном оценом 8.57 на тему „Моделовање унутарзонске апсорпције у квантним јамама заснованим на ZnO/ZnMgO “ под менторством проф. др. Јелене Радовановић. Мастер студије завршио је такође на Електротехничком факултету у Београду 2020. године са просечном оценом 10, на смеру Наноелектроника и фотоника. Мастер рад на тему „Реализација квантних рачунара коришћењем квантних тачака“ одбранио је 2021. након чега је уписао докторске студије на Електротехничком факултету. Положио је све испите са просечном оценом 10 и испунио све обавезе прописане студијским програмом сакупивши предвиђених 120 ЕСПБ.

Од 1.3.2022. године је запослен на Институту за нуклеарне науке "Винча", Универзитет у Београду, Институт од националног значаја за Републику Србију при лабораторији за атомску физику.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат Коља Бугарски, мастер инжењер електротехнике и рачунарства, уписао је докторске академске студије на Електротехничком факултету 2021. године на модулу Наноелектроника и фотоника. Датума 7.12.2021. стиче звање истраживача приправника а од 1.3.2022. запослен је на Институту за нуклеарне науке "Винча", Универзитет у Београду, Институт од националног значаја за Републику Србију при лабораторији за атомску физику. Област истраживања кандидата је фотоника у оквиру које је кандидат нумерички моделовао простирање светлости кроз низове таласовода на различитим оптичким платформама. Фокус је постављен на дизајнирању структура од низова таласовода у стаклу и на платформама *Silicon on insulator* (СОИ) које се могу применити у интегрисаним фотонским колима као делиоци таласних дужина, спрежњаци, интерферометри, генератори сплетених стања. Држао је предавања на 16th Photonics Workshop: Kopaonik [3] и 17th Photonics Workshop: Kopaonik [2] у марту 2023. односно 2024. године. Такође, презентовао је своја истраживања у виду постера на IX International School and Conference on Photonics, PHOTONICA, августа 2023. у Београду. У току докторских академских студија, до доношења захтева за одобрење теме докторске дисертације, кандидат Коља Бугарски испунио је све обавезе предвиђене Студијским планом и програмом, чиме је остварио укупно 120 ЕСПБ бодова.

Положио је следеће испите:

1. Оптимизација и инжењеринг наноструктурних параметара (оцена 10, ЕСПБ 9);
2. Оптичке особине полупроводничких хетероструктура (оцена 10, ЕСПБ 9);
3. Квантни транспорт (оцена 10, ЕСПБ 9);
4. Електронска структура полупроводника (оцена 10, ЕСПБ 6);
5. Квантна оптика (оцена 10, ЕСПБ 9);
6. Транспортни процеси у наноелектроници и фотоници (оцена 10, ЕСПБ 9);
7. Квантна информација и заснивање квантне механике (оцена 10, ЕСПБ 9)

Испунио је следеће научне и истраживачке обавезе:

2. Студијски истраживачки рад I (ЕСПБ 24);
3. Студијски истраживачки рад II (ЕСПБ 24).
4. Припремни рад за пријаву теме докторске тезе (ЕСПБ 9).

Списак до сада објављених публикација налази се у наставку:

М34 – Саопштење са међународног скупа штампано у изводу

1. M. G. Stojanović, **K. Bugarski**, P. Vildoso, R.A. Vicencio, A. Maluckov, J. Petrović, "Demultiplexers based on waveguide array," 17th Photonics Workshop: Kopaonik, March 10 – 14, 2024, Book of Abstracts p.31, 2024.
2. **K. Bugarski**, P. Vildoso, M. Stojanović, A. Maluckov, G.Z. Mashanovich, R.A. Vicencio and J. Petrović, "Multiport splitters based on waveguide arrays" IX International School and Conference on Photonics, PHOTONICA. 2023, Devices and components, August 28 - September 01, 2023, Belgrade, Serbia, Book of Abstracts p.101, 2023.
3. **K. Bugarski**, J. Petrović, A. Maluckov, "Localized modes in SSH photonic lattice in the presence of defects and local nonlinearity," 16th Photonics Workshop: Kopaonik, March 12 – 15, 2023, Book of Abstracts p.17, 2023.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Дана 04. 07. 2024. године кандидат Коља Бугарски бранио је предложену тему докторске дисертације пред Комисијом у саставу: др Никола Вуковић, доцент, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет; др Јована Петровић, научни саветник, Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне науке Винча, Институт од националног значаја за Републику Србију; др Никола Баста, доцент, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет. Анализом досадашњег рада, Комисија је стекла увид у кандидатове способности за научноистраживачки рад као и могућности да током израде дисертације на предложену тему оствари резултате који ће бити вредновани од стране међународне научне заједнице, те комисија доноси следећу оцену: **задовољно**.

2. Предмет и циљ истраживања

Развој нових технологија је у основи детерминисан потребама за ефикасним преносом и контролисаним манипулисањем информацијама. Светлост, посматрана класично и квантно, наметнула се као носилац информација који нуди огроман број могућности за постизање поменутих перформанси на различитим платформама, као што су низови таласовода на стаклу [1-3] и полупроводничким плочицама [4,5], решетке од металних прстенастих резонатора на изолатору [6], оптичка влакна [7]. Компоненте које омогућавају манипулацију светлости су оптички делиоци светлости [1,2], мултиплексери и демултиплексери [8], интерферометри [9,10], спрежњаци [11] које је могуће интегрисати на чипове у склопу различитих уређаја попут логичких кола или у оквиру одређених телекомуникационих система.

Предмет истраживања у овој дисертацији је контрола простирања светлости кроз густо паковане низове таласовода подешавањем степена преслушавања између таласовода у циљу добијања ефикасних фотонских компоненти и фотонских интегрисаних кола [12]. Концептуално, истраживање је базирано на студији инверзног инжењеринга низова таласовода урезаних на стакленим плочицама [1-3,13,23].

Циљеви истраживања у овом раду су дизајнирање и имплементација нових фотонских компоненти уз помоћ моделовања густо пакованих низова таласовода (оптичких решетки) на стаклу и у полупроводничким SiN и SOI узорцима, и испитивање њихове функционалности и перформанси. Поред тога, циљ је добијање екстремно робусног тополошки заштићеног ивичног мода погодним избором геометрије оптичке решетки [14,15].

Значај овог истраживања огледа се у превазилажењу ограничења наметнутих преслушавањем у фотонским уређајима [1-3,9,16]. Управо контрола преслушавања биће основни механизам за повећање ефикасности фотонских компоненти, као што су делиоци снаге [3], делиоци таласних дужина (демултиплексери) [8,17,18,19], интерферометри [9,10], генератори сплетених стања [20,21,22]. Битан допринос овог приступа је и могућност дизајна компоненти са новим, потенцијално корисним, спектралним карактеристикама.

Релевантни библиографски извори:

- [1] J. Petrovic, J. Krsic, J.J.P. Veerman, A. Maluckov, “High-density optical interconnects based on self-imaging in coupled waveguide arrays”, J. Opt. Las. Technol. 163, 109381 (2023).
- [2] J. Petrovic, J. J. P. Veerman, “A new method for multi-bit and qudit transfer based on commensurate waveguide arrays”, Annals of Physics 392, 128 (2018).
- [3] P. Vildoso, R.A.Vicencio, J.Petrovic, “Ultra-low-loss broadband multiport optical splitters”, Optics Express. 31, 12703 (2023).

- [4] Clifford Pollock & Michal Lipson "Integrated Photonics", Springer 2010 (ISBN 978-1441953988)
- [5] Laurent Vivien & Lorenzo Pavesi "Handbook of Silicon Photonics," CRC press 2013 (ISBN 978-1439836101)
- [6] D. Leykam and L. Yuan, "Topological phases in ring resonators: recent progress and future prospects", *Nanophotonics* 9, 4473 (2020).
- [7] S. N. Khonina, N. L. Kazanskiy, M. Ali Butt, S. V. Karpeev, "Optical multiplexing techniques and their marriage for on-chip and optical fiber communication: a review", *Opto-Electronic Advances* 5(8), 210127 (2022).
- [7] H. Ghiasi, B. Bakhshi, "Design and analysis of arrayed waveguide grating for wavelength division multiplexing system." *Optik*, 126(21), 2867-2871 (2015).
- [9] J. Petrovic, A. Maluckov, and N. Stojanovic, "Bend-free multiarm interferometers on optical chips", *Opt Quant Electron* 54, 687 (2022).
- [10] J. Petrovic, I. Herrera, P. Lombardi, F. Schafer, F. S. Cattalioni, "A Multi-State Interferometer on an Atom Chip", *New J. Phys.* 15, 043002 (2013)
- [11] L. Leick, J. H. Povlsen, and E. Nicolaisen, "Silica-on-silicon optical couplers and coupler based optical filters", Ph.D. thesis from the Technical University of Denmark (2002).
- [12] D. Gostimirovic, and R. Soref, "An Integrated Optical Circuit Architecture for Inverse-Designed Silicon Photonic Components", *Sensors* 23(2), 626 (2023).
- [13] M. Gräfe and A. Szameit, "Integrated photonic quantum walks", *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 53 073001(2020).
- [14] M. Bellec, G. M. Nikolopoulos, and S. Tzortzakakis, "Faithful communication Hamiltonian in photonic lattices," *Opt. Lett.* 37, 4504-4506 (2012).
- [15] B-Y. Xie, H-F., et al., "Photonics meets topology", *Opt. Express* 19, 26 (2008).
- [16] M. Kremer, L. J. Maczewsky, M. Heinrich, and A. Szameit, "Topological effects in integrated photonic waveguide structures", *Opt. Mat. Exp.* 11, 1014 (2021).
- [17] P. Velha, I. Cerutti and N. Andriolli, "Crosstalk and BER performance of closely-spaced silicon-on-insulator waveguide arrays", *Optics Communications* 437, 214-218 (2019)
- [18] Y. Hu et al., "Wavelength division (de)multiplexing based on dispersive self-imaging", *Optics letters* 36, 4488-4490 (2011).
- [19] A. Piggott, J. Lu, K. Lagoudakis, et al. "Inverse design and demonstration of a compact and broadband on-chip wavelength demultiplexer". *Nature Photon* 9, 374-377 (2015).
- [20] A. Peruzzo, et al., "Quantum Walks of Correlated Photons", *Science* 329, 1500-1503 (2010).
- [21] M. Fox, *Quantum Optics: An Introduction*, Oxford University Press, 2006.
- [22] L.-Z. Liu, et al, " Distributed quantum phase estimation with entangled photons", *Nature Photonics* 15, 137 (2021).
- [23] D. Guzmán-Silva, G. Cáceres-Aravena, R. A. Vicencio *Phys. Rev. Lett.* 127, 066601 (2021).

3. Полазне хипотезе

У истраживању се полази се од следећих хипотеза:

- фотонске једнодимензионалне (1Д) решетке (низови таласовода) могу се дизајнирати решавањем инверзног својственог проблема Хамилтонијана система линеарно спрегнутих таласовода;
- нивои таласовода који подржавају периодично простирање светлости могу се искористити као основа за конструкцију нових функционалних фотонских компоненти типа делиоца снаге, делиоца таласних дужина, спрежњака;
- функционисање и имплементација нових компоненти биће засновани на контроли коефицијената спрежања између таласовода подешавањем њиховог растојања и димензија таласовода;

- густо паковани низови таласовода могу подржати тзв. квантну случајну шетњу чиме се отвара могућност за генерисање сплетених стања;
- подешавањем геометрије фотонских 1Д решетки могу се индуковати тополошки нетривијална својства система и јако робусни ивични модови.

4. Научне методе истраживања

У оквиру предложене докторске дисертације биће представљени:

- метода инверзног дизајна једнодимензионалне оптичке решетке полазећи од одговарајућег Хамилтонијана;
- резултати аналитичких модела простирања светлости кроз дискретне фотонске решетке у апроксимацији јако конфинираних стања (модова);
- резултати нумеричких симулација простирања светлости кроз фотонске решетке заснованих на решавању Максвелових једначина у програмским пакетима RSoft и MATLAB;
- доказ изводљивости у виду резултата статистичке анализе зависности перформанси нових компоненти од грешака у производњи,
- експериментална реализација предложених компоненти уписивањем таласовода у стакло фемтосекундним ласером и у полупроводничке платформе SiN и SOI литографским техникама.

5. Очекивани научни допринос

У оквиру предложене докторске дисертације реализоваће се нове функционалне фотонске компоненте на основу оптичких решетки:

- филтери пропусници опсега,
- делиоци таласних дужина,
- генератори сплетених W стања,
- делиоци снаге са произвољним бројем таласовода.

6. План истраживања и структура рада

У оквиру истраживања на тему предметне дисертације, планирани су следећи кораци:

- Упознавање са релевантном литературом [1-23].
 - Упознавање са концептом инверзног инжењеринга низова густо пакованих таласовода и развој одговарајућих алгоритама.
 - Развој нумеричких поступака за оптимизацију оптичких компоненти заснованих на вишепараметарској анализи оптичког система.
 - Упознавање са методама фабрикације фотонских компоненти фемтосекундним ласером [3,23] и литографским методама [4,5].
 - Нумеричке симулације филтера, делиоца таласних дужина и делиоца снаге у RSoft-у.
- Дизајнирање 1Д решетки са нетривијалним тополошким својствима и развој алгоритама за одређивање вредности тополошке инваријанте

7. Закључак и предлог

При састављању овог Извештаја Комисија је узела у обзир све релевантне чињенице које формирају слику о подобности теме и кандидата за реализацију предвиђених истраживања. Имајући у виду резултате досадашњег истраживачког рада кандидата Коље Бугарског, Комисија је закључила да је кандидат способан за научноистраживачки рад и реализацију предвиђених истраживања. Такође, анализирајући предложену тему под називом „Дизајн и имплементација интегрисаних фотонских компоненти заснованих на оптичким решеткама“, на енглеском језику “*Design and implementation of integrated photonic components based on optical lattices*” у контексту тренутно релевантних научних истраживања,

Комисија је у потпуности сагласна да оваква тема задовољава све услове подобности за докторску дисертацију, да припада ужој научној области *Физичка Електроника*, као и да је Електротехнички факултет Универзитета у Београду матичан за ову научну област. За менторе израде докторске дисертације Комисија предлаже др Јелену Радовановић, редовног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду и др Александру Малуцков, научног саветника Института за нуклеарне науке Винча, Института од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду. У контексту овог предлога, уз Извештај је приложен списак радова проф. др Јелене Радовановић и др Александре Малуцков који их квалификују за менторе.

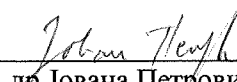
Коначно у закључку овог Извештаја, а имајући у виду све наведено, Комисија има част да Наставно-научном већу Електротехничког Факултета Универзитета у Београду предложи да прихвати тему докторске дисертације “Дизајн и имплементација интегрисаних фотонских компоненти заснованих на оптичким решеткама”. на енглеском језику “*Design and implementation of integrated photonic components based on optical lattices*” и да кандидату Кољи Бугарском омогући да приступи њеној изради. Предвиђено је да докторска дисертација буде написана на енглеском језику.

У Београду, 05.07.2024. године.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Никола Вуковић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Јована Петровић, научни саветник
Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне науке Винча, Институт од националног значаја за Републику Србију



др Никола Баста, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет