

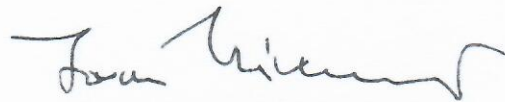
VIJEĆU PRIRODNO-MATEMATIČKOG FAKULTETA

PREDMET: Predlog komisije za odbranu polaznih istraživanja kandidata mr Arsa Ivanovića

Za odbranu polaznih istraživanja doktoranda Arsa Ivanovića, na temu „Memristori – od nanočestice do uređaja“, predlažem komisiju u sastavu:

1. Prof. dr Predrag Miranović, PMF UCG
2. Prof. dr Borko Vujičić, PMF UCG
3. Prof. dr Goran Karapetrov, Drexel Univ, Filadelfija, SAD
4. Prof. dr Abdou Hassanien, ko-mentor, Institut "Jožef Stefan", Slovenija
5. Prof. dr Jovan Mirković, mentor, PMF UCG

U Podgorici, 14. 10. 2022.



Prof. dr Jovan Mirković

PRIJAVA TEME DOKTORSKE DISERTACIJE

OPŠTI PODACI O DOKTORANDU	
Titula, ime i prezime	Mr Arso Ivanović
Fakultet	Prirodno-matematički fakultet
Studijski program	fizika
Broj indeksa	1/19
Ime i prezime roditelja	Vladimir Ivanović
Datum i mjesto rođenja	14.5.1993. Podgorica
Adresa prebivališta	Zlatica 37, 81000 Podgorica
Telefon	+38267156939
E-mail	ivanovic.arso@gmail.com
BIOGRAFIJA I BIBLIOGRAFIJA	
Obrazovanje	-Master studije fizike, Univerzitet Hajdelberg, Njemačka, decembar 2017 -Bečelor studije fizike, PMF, UCG, januar 2015
Radno iskustvo	- frilens pisac – Physics World magazine, 2019 - pripravnik, Centar za eko-toksikološka ispitivanja, Podgorica 2018 - asistent za laboratorijske vježbe iz fizike, Univerzitet Hajdeleberg, 2016 - 2017
Popis radova	
NASLOV PREDLOŽENE TEME	
Na službenom jeziku	Memristori – od nanočestice do uređaja
Na engleskom jeziku	Memristive nanoscale phenomena – from single nanoparticle to scalable devices
Obrazloženje teme	
Oblast neuromorfog inženjeringa ima potencijal za realizaciju efikasnijih, biološki motivisanih računskih uređaja. Evoluirala je kasnih 80-tih godina kroz realizaciju neuronom inspirisanih uređaja kao npr. adaptirajuća integrisana elektronska mrežnjača. Memristivni uređaji su glavne komponente neuromorfni kola jer transport naelektrisanja u njima ima karakter sličan transportu jona u biološkim sinapsama. Ovi uređaji se mogu integrisati u <i>cross-bar arrays</i>. Važan aspekt je sparivanje detekcije i obrade signala, koji je ostao neistražen kod ovih uređaja jer su fizički mehanizmi na nanoskali i dalje nepoznati. Još jedan problem je statistička varijacija u prebacivačkim svojstvima memristivnih uređaja, što ih ne čini komercijalnim. Korišćenjem <i>gating</i> efekta može se manipulirati pregrštom memristivnih stanja kako bi se razotkrile njihove sposobnosti i primjena u neuromorfom inženjeringu.	
Pregled istraživanja	
U rad su uključeni master studenti Stefan Šćepanović i Rajko Dragojević, koji su boravili na Institutu Jožef Štefan od maja do kraja jula 2022. god.	

Istraživanja se vrše pomoću mikroskopa atomske sile (AFM) i skenirajućeg tunelskog mikroskopa (STM). U navedenom periodu, rad u laboratoriji je bio posvećen upoznavanju i ovladavanju kompleksnih mikroskopa, u cilju samostalnog upravljanja. Mjerenja su započeta i dobijeni prvi eksperimentalni rezultati, posle čijeg kompletiranja se može dobiti osnova za naučnu publikaciju.

Pored učenja rukovanja STM i AFM, ovladano je kriogenim tehnikama za STM, koristeći tečni azot i helijum, i postižući temperaturu od 4.2 K. Takođe je ovladano tehnikama čišćenja uzorka – *sputtering* i *annealing*, zatim tehnikama ultra-visokog vakuuma, kao i upravljanjem mikroskopima uz pomoć softvera, i uz određeni manuelni dio upravljanja. Stefan Šćepanović je analizirao podatke mjerenja pomoću programa MATLAB.

Prva mjerenja su protekla uspješno, dok glavna mjerenja tek slijede na novim uzorcima i tipovima (šiljcima) naručenim od kompanije Rocky Mountain Nanotechnology iz SAD-a, i od kompanije Phasis iz Švajcarske. Pomoću STM-a, fabrikovane su nanotrake grafena na supstratu od zlata (111), i time je nadograđen uzorak. Nanotrake smo vizuelizovali pomoću STM-a.

Da bi se izbjegla formacija frustriranih filamenata i sitnih otvora, memristivni uređaji se pažljivo pripremaju korišćenjem ustanova za mikrofabrikaciju u Kilu, u Njemačkoj.

Cilj i hipoteze

Cilj ovog istraživanja je da se kroz proučavanje fizičkih svojstava novoosmišljenih konfiguracija memristora, dođe do one konfiguracije sa najoptimalnijim djelovanjem koja oponaša funkciju sinapse u ljudskom mozgu. Takav memristor bi se dalje inkorporirao u memristorske mreže kao neuromorfne mreže, koje kao jedan od novih principa računanja doprinose razvoju kognitivne obrade podataka, analize velikih podataka i sistema vještačke inteligencije male snage baziranih na mašinskom učenju i Internetu stvari.

Materijali, metode i plan istraživanja

Istraživanja se vrše pomoću skenirajućeg tunelskog mikroskopa i mikroskopa atomske sile. Električna karakterizacija uzorka uključuje strujno-naponsku spektroskopiju i imaging (vizuelizaciju) struje, i vrši se pomoću AFM-a.

Pri mjerenju AFM-om, postoje dva moda: *tapping* i kontaktni mod. Sonda AFM-a na vrhu sadrži tip (šiljak), koji je od platine, prečnika manjeg od 10 nm.

Uzorci koji se ispituju su memristori koji se sastoje od dvije elektrode i izolatorskog sloja između njih. U izolator ili takozvanu memristivnu matricu (silicijum dioksid ili titanijum dioksid) su uronjene nanočestice legura srebro-platina i srebro-zlato. U tu matricu se inkorporiraju i nanotrake grafena koje se fabrikuju na supstratu od zlata. Taj dodatak uzorku ne služi samo da se pojača memristivno dejstvo i ograniči statistička varijansa električnog prebacivanja između ON i OFF stanja, već i da se ostvari jako sparivanje sa plazmoničnim efektima u uređajima memristivnih (neuromorfnih) mreža.

U nastavku istraživanja koristićemo memristivni tip na nanotrakama grafena fabrikovanim na supstratu zlata (111). Zatim će se postaviti ista memristivna matrica između električnih kontakata. U obje konfiguracije uzorak će se osvijetliti laserom i biće proučavan optički odziv, pod pretpostavkom da laserska svjetlost modulira memristivno dejstvo uređaja.

Očekivani naučni doprinos

Proučavanjem memristivnog dejstva nano-uređaja pomoću mikroskopa atomske sile i njegovom modulacijom pomoću svjetlosti lasera težiće se da se dobije što slabilniji uređaj – najbolja verzija vještačke sinapse - koji bi dalje bio inkorporiran u energetske efikasne, brže i pametnije neuromorfne mreže.

Spisak objavljenih radova kandidata

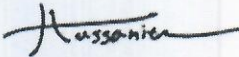
(dati spisak objavljenih radova kandidata)

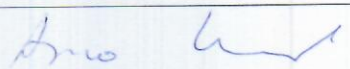
Popis literature

- [1] C. Mead, Proc. IEEE. 78 (1990) 1629–1636.
- [2] S.H. Tan et al, APL Mater. 6 (2018) 120901.
- [3] L.O. Chua, IEEE Trans. Circuit Theory. 18 (1971) 507–519.
- [4] W. Gerstner, W. Kistler, Spiking neural models: single neurons, populations, plasticity, 2002.
- [5] O. Lupan et al, Small. 13 (2017) 1602868.
- [6] O. Lupan et al, B Chem. 224 (2016) 434–448.
- [7] D. Ielmini et al, Microelectron. Eng. 190 (2018) 44–53.
- [8] T. Chang et al, IEEE Circuits Syst. Mag. 13 (2013) 56–73.
- [9] K.A. Buchanan et al, Front. Synaptic Neurosci. 2 (2010) 1–5.
- [10] G. Bi, M. Poo et al, J. Neurosci. 18 (1998) 1–9.
- [11] Y. Zhao et al, J. Nanosci. Nanotechnol. 18 (2018) 8003–8015.
- [12] H. Jeong et al, J. Phys. D. Appl. Phys. 52 (2018) 1–28.
- [13] Sun, W. et al, *Nat Commun* **10**, 3453 (2019).
- [14] W. Lu, Y. Xiong, **A. Hassanien**, W. Zhao, M. Zheng and L. Chen, Nano lett. 9, 4, 1668, (2009).
- [15] W. Lu, J. Zhang, Y. S. Li, Qi Chen, X. Wang, **A. Hassanien**, and L. Chen, Phys. Chem. C, 116, 12, 7158 (2012).
- [16] A. Ković, A. Žnidaršič, A. Jesih, A. Mrzel, M. Gabersček, **A. Hassanien**, Nanoscale research letters, 7, 5671, (2012).
- [17] A. Znidarsic, A. Kaskela, P. Laiho, M. Gaberscek, Y. Ohno, A. G. Nasibulin, E. I. Kauppinen and **A. Hassanien**, Phys Chem. C, 117, 25, 13324, (2013).
- [18] A. V. Talyzin, S. Luzan, I. V. Anoshkin, A. G. Nasibulin, E. I. Kauppinen, A. Dzwilewski, A. Kreta, J. Jamnik, **A. Hassanien**, A Lundstedt and H. Grennberg, Phys Chem C, 118, 12, 6504, (2014).
- [19] M. H. Hassan, M. H. Alkordi and **A. Hassanien**, Mater. lett., 246, 13(2019).
- [20] A. Vahl, N. Carstens, T. Strunskus, F. Faupel and **A. Hassanien**, *Sci Rep* 9, 17367 (2019).
- [21] N. Carstens, A. Vahl, O. Gronenberg, T. Strunskus, L. Kienle, F. Faupel and **A. Hassanien**, Nanomaterials, In press (2021).

SAGLASNOST PREDLOŽENOG/IH MENTORA I DOKTORANDA SA PRIJAVOM

Odgovorno potvrđujem da sam saglasan sa temom koja se prijavljuje.

Prvi mentor	Prof. dr. Jovan Mirković	
Drugi mentor	Prof. dr. Abdou Hassanien	

Doktorand	Arso Ivanović	
IZJAVA		
Odgovorno izjavljujem da doktorsku disertaciju sa istom temom nisam prijavio/la ni na jednom drugom fakultetu.		
U Podgorici, 14. 10. 2022.		
		Ime i prezime doktoranda 