

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Србољуба Станковића за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 824/1 од 29.04.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Србољуба Станковића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Експериментална карактеризација и Монте Карло симулација дозиметријских параметара МОСФЕТ структуре у пољима јонизујућег зрачења“.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Србољуб Станковић је рођен 26. фебруара 1965. године у Београду. Основну и средњу школу је завршио у Туприји. На Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на одсеку Техничка физика, дипломирао је 1990. године на теми: «Примена теорије транспорта електромагнетног зрачења на систем велике концентрације случајно распрострањених честица», остваривши средњу оцену 8,77. На истом факултету је стекао и титулу магистра електротехничких наука-област нуклеарне технике, 1999. године, одбранивши магистарски рад под насловом «Побољшање неутрон-гама дискриминације мерењем варијансе струје јонизационе коморе».

Од 1991. године запослен је у звању истраживача у Институту за нуклеарне науке «ВИНЧА»-лабораторија «Заштита од зрачења и заштита животне средине». На стручним пословима дозиметрије и заштите од зрачења, као и у метрологији величина јонизујућег зрачења ангажован је у периоду од 1991. до данас, у Метролошкој Дозиметријској лабораторији (МДЛ) која је у светском ланцу Секундарних Стандардних Дозиметријских Лабораторија (ССДЛ). Ова лабораторија је од 2010. године акредитована лабораторија за еталонирање у оквиру Лабораторије за Радијациона Мерења (ЛРМ) - Лабораторија «Заштита».

Од 1999. године је био у звању истраживача-сарадника. Од 2001. – 2003. године био је ангажован на Електротехничком факултету у Београду на извођењу

лабораторијских вежби из предмета «Физика материјала» и «Електротехнички материјали». Реизабран је у звање истраживач сарадник 2005. године.

Поред тога што је радио као дозиметриста у заштити од зрачења и као метролог у области еталонирања из домена величина јонизујућег зрачења, налази се у тиму колега из МДЛ са задатком да учествује у одржавању и погону експерименталних уређаја за стварање поља гама зрачења ИРПИК А, ИРПИК Б и ИРПИК Ц, као и дозиметријског рентген уређаја Philips MG-320. Такође, у периоду 1991. - 2003. године био је распоређен у МДЛ и на пословима одржавања уређаја за стварање референтног поља неутронског зрачења са извором калифорнијума (Cf-252) и неутронске дозиметрије.

У периоду 2002. – 2007. године учествовао је на извођачком пројекту «Санација земљишта и објеката погођених радиоактивном муницијом од осиромашеног уранијума на Југу Србије». Притом је био и оперативни руководилац на терену при спровођењу стручног ангажовања комбиноване екипе стручњака из ИНН «ВИНЧА» и АБХО Војске Србије на локацијама «Боровац 1 и 2» и «Рељан» у периоду 2005. - 2007. године. Учествовао је као дозиметриста у послу уклањања радијума из бункера Онколошког Института Србије у Београду, 2008. године, као и на сличним пословима деконтаминације и дозиметрије на другим локацијама на територији Србије, у протеклом периоду.

Од јануара 2011. године до данас, поред послова истраживача, метролога и дозиметристе у пољима јонизујућег зрачења, ангажован је и по посебном радном задатку на одржавању радних услова за поседовање акредитације за обављање послова у области мерења нивоа нејонизујућег електромагнетског зрачења.

У мају 2014. године стекао је звање стручног саветника на основу одлуке Научног већа Института за нуклеарне науке «Винча».

У периоду од 1991. до данас, Србољуб Станковић је као истраживач учествовао на 7 научно-истраживачких пројеката која су била финансирана од стране Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије. При томе је у периоду од 2000. године до данас, аутор или коаутор на 28 радова публикованих у међународним часописима (категорије M20) са SCI листе.

Активно учествује у раду Друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе, Нуклеарног друштва Србије и Друштва БИМЕФ.

Стручно и научно усавршавање:

1. Additional Protocol: Complementary Access Training, organizers: Serbian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, United States Department of Energy, International Atomic Energy Agency, European Commission, 17.-20. November 2014, Belgrade, Serbia
2. School on Quality Assurance and Quality Control Diagnostic Imaging, organisers: Serbia and Montenegro Association of Medical Physics and Macedonian Association of Medical Physics and Biomedical Engineering, sponsored by European Federation of Organisations for Medical Physics (EFOMP), 14-15. November 2008, Novi Sad, Serbia
3. Training course: "Orphan Source Search Methods and Equipment, Global Radiological Threat Reduction, Research and Secure", supported by National Nuclear Security Administration USA (NISA), Sandia National Laboratories and Canberra, 24.-28. September 2007. at the "VINČA" Institute of Nuclear Sciences in Belgrade, Serbia
4. Basic of Decommissioning Workshop, organized by International Atomic Energy Agency (IAEA), 2.-6. September 2002, Belgrade, Serbia, Yugoslavia
5. Workshop on 2nd International Scientific meeting "Medical Physics and Brachytherapy", organisers: Yugoslav Society of Biomedical Engineering and Medical Physics, University of Novi Sad-Institute of oncology Sremska Kamenica and Academy of Studenica in cooperation

with European Federation of organisations for medical physics (EFOMP), 23-25.04.1998., Sremski Karlovci, Yugoslavia

6. Course: "Monte Carlo simulation in Medical Physics and Radiation Protection Dosimetry", organisers: Association of Medical Physics and Biomedical Engineering (BIMEF) and Faculty of Organizational Sciences at University of Belgrade, 13.-31. October 1997, Belgrade, Serbia

7. Basic course for employees training in operating with the sources of ionizing radiation in accordance with recommendations by IAEA, Center for permanent education of Institute for nuclear sciences "VINCA", 1991, Belgrade, Serbia, Yugoslavia

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Кандидат Србољуб Станковић је завршио магистарске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, смер Нуклеарна техника и примењена нуклеарна физика, 1999. године. Магистарску тезу под називом „Побољшање неутрон-гама дискриминације мерењем варијансе струје јонизационе коморе“ одбранио је дана 21.05.1999. године, а ментор је био Проф. др Влада Теодосић.

У свом досадашњем научноистраживачком раду био је истраживач на следећим пројектима: од 1991.-2000.г. на пројекту «Научне основе заштите животне средине, радијациони и физичко-хемијски аспекти», од 2001.-2005.г. на пројектима «Физика танких полупроводничких слојева за нуклеарне детекторе и фотонапонске ћелије» и «Физика заштите од зрачења», од 2006.-2010.г. на пројектима «Заштита од зрачења – фундаментални теоријски и експериментални физички аспекти» и «Физика електромагнетне и радијационе компатибилности електротехничких материјала и компонената». У периоду од 2011.-2015.г. ангажован је као истраживач А3 категорије на пројектима «Нове технологије за мониторинг и заштиту животног окружења од штетних супстанци и радијационог оптерећења» и «Физички и функционални ефекти интеракције зрачења са електротехничким и биолошким системима».

Био је члан истраживачке екипе на међународном пројекту 2006: FP6-2005-INCO-WBC/SSA-3: The Reinforcing Research Potential in Environmental Monitoring and Data Management in Serbia - EMON project.

У раду на научно-истраживачким пројектима Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије, у периоду од 1996. године до данас, кандидат је као аутор или коаутор учествовао у публикавању 30 радова у међународним часописима са SCI листе, од којих су 3 рада категорије M21, 10 радова су категорије M22, 15 радова су категорије M23 и 2 рада категорије M24. Од тога, у периоду од 2006. до данас био је први аутор на 10 радова у међународним часописима са SCI листе у којима је предмет истраживања у ужем или ширем смислу повезан са избором и дефинисањем теме докторске дисертације.

Овде је дат списак одабраних радова кандидата који је у складу са категоризацијом из Правилника о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача (према одлуци Националног Савета за научни и технолошки развој, од 21.03.2008. године):

I Рад у врхунском међународном часопису (M21)

1. B. Lončar, P. Osmokrović, M. Stojanović, S. Stanković: *Radioactive Reliability of Programmable Memories*, Japanese Journal of Applied Physics, (2001) Vol. 40, Part 1, No. 2B, pp. 1126-1129, ISSN 0021-4922, IF=1.411

2. B. Lončar, P. Osmokrović, S. Stanković: *Radioactive Reliability of Gas Filled Surge Arresters*, IEEE Transactions on Nuclear Science, (2003) Vol. 50, pp. 1725-1731, ISSN 0018-9499, IF=1.737

3. Nadder Laslo J, Davidovic Milos D, Davidovic Dragomir M, Milosevic Miodrag J, Jordanov Dragana J, Stankovic Srboljub J, Prvanovic Slobodan L.: *A possible improvement of the determination of Ba-133 activity and detection efficiency by the sum-peak method, by inclusion of the previously neglected transitions*, NUCLEAR INSTRUMENTS and METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A: ACCELERATORS SPECTROMETERS DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT, (2013) Vol. 698, pp 60-65, ISSN 0168-9002, doi:10.1016/j.nima.2012.09.044, IF=1.316

II Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. Z. Savić, S. Stanković, M. Kovačević, M. Petrović: *Energy Dependence of pMOS Dosimeter*, Radiation Protection Dosimetry, (1996) Vol.64, No.3, pp. 205-201, ISSN 0144-8420, IF=0.534

2. I. Tomljenović, M. Ninković, S. Stanković, Đ. Bek-Uzarov, M. Kovačević: *Water phantom backscatter factors for X-rays in the 60 kV to 300 kV region*, Physics in Medicine and Biology, (1999) Vol.44, No.9, pp.2193-2200, ISSN 0031-9155, IF=2.013

3. P. Osmokrović, B. Lončar, S. Stanković, A. Vasić: *Aging of the over-voltage protection elements caused by over-voltages*, Microelectronics Reliability, (2002) Vol.42, No.12, pp. 1959-1966, ISSN 0026-2714, IF=0.647

4. B. Lončar, P. Osmokrović, S. Stanković, R. Šašić.: *Influence of electrode material on gas-filled surge arresters characteristics in γ and X radiation field*, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, (2006) Vol. 8, No 2, pp. 863-866, ISSN 1454-4164, IF=1.138

5. B. Lončar, P. Osmokrović, A. Vasić, S. Stanković.: *Influence of gamma and X radiation on gas-filled surge arrester characteristics*, IEEE Transactions on Plasma Science, (2006) Vol. 34, No. 4, pp. 1561-1565, ISSN 0093-3813, IF=1.144

6. S. Stanković, R. Ilić, P. Osmokrović, B. Lončar, A. Vasić.: *Computer simulation of gamma irradiation energy deposition in MOSFET dosimeters*, IEEE Transactions on Plasma Science, (2006) Vol. 34, No. 5, pp. 1715-1718. ISSN 0093-3813, doi:10.1109/PPC.2005.300699, IF=1.144

7. P. Osmokrović, B. Lončar, S. Stanković.: *The new method of determining characteristics of elements for overvoltage protection of low-voltage system*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, (2006) Vol. 55, No. 1, pp. 257-265, ISSN 0018-9456, IF=0.832

8. Stanković J. Srboljub, Iričanin Bratislav, Nikolić Dragana, Janković Ksenija, Radenković Mirjana, Stanković Koviljka, Osmokrović Predrag: *MSV signal processing system for neutron-gamma discrimination in a mixed field*, NUCLEAR TECHNOLOGY AND

RADIATION PROTECTION, (2012), Vol. 27, No. 2, pp. 165-170. Vinca Institute of Nuclear Sciences ISSN 1451-3994, doi: 10.2298/ntrp1202165s, IF=1.159

9. Simic Biljana, Nikolic Dejan, Stankovic Koviljka Dj., Timotijevic Ljubinko, Stankovic Srboljub J.: *Damage Induced by Neutron Radiation on Output Characteristics of Solar Cells, Photodiodes, and Phototransistors*, INTERNATIONAL JOURNAL OF PHOTOENERGY, (2013), ISSN 1110-662X, doi:10.1155/2013/582819, IF=2.663

10. Drndarevic Vujo R, Jevtic Nenad J, Rajovic Vladimir M, Stankovic Srboljub J.: *Smart Ionization Chamber for Gamma-Ray Monitoring*, NUCLEAR TECHNOLOGY and RADIATION PROTECTION, (2014), Vol. 29, No. 3, pp 190-198, ISSN 1451-3994, IF=1.000

III Рад у међународном часопису (M23)

1. P. Osmokrović, B. Lončar, S. Stanković: *Investigation the optimal method for improvement the protective characteristics of gas filled surge arresters-with/without the built in radioactive sources*, IEEE Transactions on Plasma Science, (2002) Vol.30, No.5, pp. 1876-1880, ISSN 0093-3813, IF=1.227

2. B. Lončar, P. Osmokrović, S. Stanković: *Temperature stability of components for over-voltage protection of low-voltage systems*, IEEE Transactions on Plasma Science, (2002) Vol.30, No.5, pp. 1881-1885, ISSN 0093-3813, IF=1.227

3. A.Vasić, S. Stanković, B. Lončar: *Influence of the radiation effects on electrical characteristics of photodetectors*, Materials Science Forum, (2003) Vol. 413, pp. 171-174, ISSN 0255-5476, IF=0.613

4. A.Vasić, P. Osmokrović, S. Stanković, B. Lončar: *Study of increased temperature influence on the degradation of photodetectors through ideality factor*, Materials Science Forum, (2004) Vol. 453-454, pp. 37-42, ISSN 0255-5476, IF=0.613

5. A. Vasić, P. Osmokrović, B. Lončar, S. Stanković: *Extraction of the Parameters from I-V Data for Nonideal Photodetectors: A Comparative Study*, Materials Science Forum, (2005) Vol. 494, pp. 83-88, ISSN 0255-5476, IF=0.602

6. S.Stanković, R. Ilić, M. Petrović, B. Lončar, A. Vasić.: *Radiological characterization of semiconductor materials in field effect transistor dosimeter by Monte Carlo method*, Materials Science Forum, (2006) Vol. 518, pp. 361-366. ISSN 0255-5476, doi:10.4028/www.scientific.net/msf.518.361, IF=0.399

7. S.J. Stankovic, M. Petrovic, M. Kovacevic, A. Vasic, P. Osmokrovic and B. Loncar: *Monte Carlo Calculation of X-Rays Deposited Energy in CdZnTe Detector*, Material Science Forum, (2007) Vol.555, pp.141-146. ISSN 0255-5476, doi:10.4028/www.scientific.net/msf.555.141, IF=0.399

8. S.J. Stankovic, R.D. Ilic, O.Ciraj-Bjelac, M. Kovacevic and D. Davidovic: *Characterization of Target Material for X-Ray Generator by Monte Carlo Method*, Material Science Forum, (2007) Vol.555, pp.137-140. ISSN 0255-5476, doi:10.4028/www.scientific.net/msf.555.137, IF=0.399

9. S.J. Stankovic, R.D. Ilic, D.M. Davidovic, M. Petrovic: *Characterization of X-Ray Diamond Detector by Monte Carlo Method*, Acta Physica Polonica A, (2009) Vol. 115, No.4, pp.816-819. Polish Academy of Sciences - Institute of Physics ISSN 0587-4246, IF=0.467
10. S.J. Stankovic, R.D. Ilic, D.M. Davidovic, M. Petrovic, S. Tadic, M. Kovacevic: *Radiation Absorption Characteristics of Titanium Alloys*, Acta Physica Polonica A, (2009) Vol. 115, No.4, pp.820-822. Polish Academy of Sciences - Institute of Physics ISSN 0587-4246, IF=0.467
11. S.J. Stankovic, R.D. Ilic, K. Jankovic, D. Bojovic, B. Loncar: *Gamma Radiation Absorption Characteristics of Concrete with Components of Different Type Materials*, Acta Physica Polonica A, (2010) Vol. 117, No.5, pp. 812-816. Polish Academy of Sciences - Institute of Physics ISSN 0587-4246, IF=0.467
12. Stankovic Srboľjub J., Ilic Radovan, Jankovic Ksenija, Vasic-Milovanovic Aleksandra, Loncar Boris: *Characterization of New Structure for Silicon Carbide X-Ray Detector by Method Monte Carlo*, ACTA PHYSICA POLONICA A, (2011) Vol. 120, No. 2, pp. 252-255. Polish Academy of Sciences - Institute of Physics ISSN 0587-4246, IF=0.531
13. Jankovic Ksenija, Stankovic Srboľjub J., Nikolic Dragan, Bojovic Dragan, Loncar Ljiljana: *Determination of Recycled Aggregate Concrete Degradation by Resonance Frequency Analysis*, REVISTA ROMANA DE MATERIALE-ROMANIAN JOURNAL OF MATERIALS, (2011) Vol. 41, No. 1, pp. 22-25. "Serban Solacolu" Foundation, Procema S A, Bucarest, Romania ISSN 1583-3186, IF=0.610
14. Stanković Srboľjub J., Ilić Radovan, Živanović Miloš, Janković Ksenija, Lončar Boris: *Monte Carlo Analysis of the Influence of Different Packaging on MOSFET Energy Response to X-rays and Gamma Radiation*, ACTA PHYSICA POLONICA A, (2012), Vol. 122, No. 4, pp. 655-658.
Polish Academy of Sciences - Institute of Physics ISSN 0587-4246, IF=0.604
15. Jankovic Ksenija S, Milicic Ljiljana R, Stankovic Srboľjub J, Susic Nenad M: *Investigation of the Mortar and Concrete Resistance in Aggressive Solutions*, TEHNICKI VJESNIK-TECHNICAL GAZETTE, (2014) Vol. 21 No. 1, pp. 173-176 , ISSN 1330-3651, IF=0.615

IV Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком М24

1. D. Lalić, R. D. Ilić, S. J. Stanković: *Comparison of measured and Monte Carlo calculated electron beam central axis depth dose in water*, Archive of Oncology, (2001) Vol. 9, pp. 83-87, ISSN 0354-7310 .
2. Nebojša Grahovac, Srboľjub Stanković, Slavica Zec, Vesna Maksimović, Boris Grahovac, Dubravka Milovanović: *Wear of diamond-coated cutting tool inserts upon machining of Al-12%Si and glass fiber/polyester resin components*, Processing and Application of Ceramics, (2013) Vol.7(2), 69-72, ISSN 1820-6131, doi: 10.2298/PAC1302069G.

V Рад у тематском зборнику међународног значаја (M14)

1. Dragana Nikolić, Ana Kovačević, Srbojlb Stanković: *Comprehensive approach to tactical response in the case of terrorist acts involving WMD*, book "Managing the consequences of terrorism attacks – Efficiency and Coordination Chalanges", (2012), pp 99 – 117. ISBN 978-961-92860-5-0, Editors: Denis Čaleta, Paul Shemella, Publisher: Institute for Corporative Security Studies, Ljubljana & Center for Civil-Military Relations, Naval Postgraduate School Monterey, Monterey, USA .
2. Dragana Nikolić, Ana Kovačević, Srbojlb Stanković: *THREAT ASSESSMENT FOR THE DESIGN OF THE EFFECTIVE PROTECTION SYSTEM OF NUCLEAR FACILITIES, NATIONAL CRITICAL INFRASTRUCTURE PROTECTION REGIONAL PERSPECTIVE*, (2013), pp.315-337, ISBN 978-86-84069-84-1.

VI Рад саопштен на међународном скупу, штампан у целини (M33)

1. B. Lončar, S.J. Stanković, M. Stojanović, P. Osmokrović: *Radiation Susceptibility of Semiconductor Memories under the influence of gamma radiation*, Proceedings of third Conference of YUNSC, October 2000, Belgrade, pp. 451-455.
2. S. J. Stanković, D. Lalić, R. D. Ilić: *Monte Carlo Dose Calculation in Radiation Therapy for Different Modelling of Electron and photon Transport*, Proceedings of third Conference of YUNSC, October 2000, Belgrade, pp. 686-690.
3. S .J. Stanković, R. D. Ilić, M. P. Pešić, P. M. Marinković: *Neutron Emission Spectra Calculated for Proton Beams from 10 MeV to 75 MeV at Lead Target*, Proceedings of third Conference of YUNSC, October 2000, Belgrade, pp. 377-387.
4. A. Jakšić, V. Ogourtsov, S. Polischuk, S. Stanković, M. Kovačević, M. Mohamammadzadeh and A. Mathewson: *Irradiation and Post-irradiation response of RADFETs in different biasing configurations*, Proceedings of 5th International Workshop on Radiation Effects on Semiconductor Devices and Systems", October 2002, Takasaki, Japan, pp. 13-16.
5. B. Loncar, S.J. Stankovic, K. Stankovic, B. Jovanovic: *Influence of Gamma Radiation on Some Commercial EPROM and EEPROM Components*, PIERS 2010, Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings, Xian, China, March 22-26, 2010., pp. 1193-1198.

VII Рад у часопису националног значаја (M52)

1. Radovan D. Ilić, Darko Lalić, Srbojlb J. Stanković: *SRNA – Monte Carlo codes for proton transport simulation in combined and voxelized geometries*, Nuclear Technology and Radiation Protection, (2002) Vol. XVII, pp. 27-37.
2. Srbojlb J. Stankovic, Radovan D. Ilic, Milos Davidovic, Miloško Kovacevic, Dragomir Davidovic, *Influence of packaging configuration with kovar lid on radfet response to*

Дана 30.04.2015. године кандидат је успешно одбранио испит о подобности теме и кандидата на усменој одбрани у присуству Комисије (др Милош Вујисић, др Бранко Матовић, др Вујо Дрндаревић).

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу резултата које је Србољуб Станковић постигао у свом досадашњем стручном и научно-истраживачком раду у областима које обухватају тематике везане за нумеричке симулације транспорта честица јонизујућег зрачења кроз полупроводничке материјале, дозиметрију и заштиту од јонизујућег зрачења, методе мерења са јонизационим коморама и МОСФЕТ дозиметрима у пољима јонизујућег зрачења, као и испитивања утицаја јонизујућег зрачења на полупроводничке електронске компоненте у Метролошкој Дозиметријској Лабораторији (МДЛ) из Лабораторије „Заштита“ у ИНН „Винча“, може се закључити да је испунио услове који га квалификују да приступи изради докторске тезе на предложену тему.

2. Предмет и циљ истраживања

Резултати научних истраживања показују да јонизујуће зрачење може довести до функционалног или трајног оштећења полупроводничких направа различитог типа у екстремним радним условима (у окружењу нуклеарног реактора, акцелераторске инсталације, нуклеарне експлозије или приликом тестирања направа за експлоатацију у космосу). У задњих неколико деценија, побољшање карактеристика електронских компоненти типа МОСФЕТ (енгл. Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) су омогућили убрзани напредак у технологији израде интегрисаних кола. При томе, приликом проширења области у којима се користе, постављају се захтеви за све већим степеном минијатуризације МОСФЕТ компоненти. На тај начин се успоставио специфичан тренд у истраживању и развоју нових типова МОСФЕТ-а, који у себи има одредницу да се разматрања физичких појава и техничких решења унапређују на нивоу микроелектронике, али и да се остварује постепени напредак према наноелектроници. Због наведених чињеница од значаја је да се дефинишу следећи предмети истраживања:

Први предмет истраживања у предложеној дисертацији обухвата експериментални рад на проучавању дозиметријских параметара МОСФЕТ у пољима јонизујућих зрачења. Експерименти ће обухватити утврђивање зависности напона прага V_T и промене напона прага ΔV_T од укупне апсорбоване дозе зрачења за случајеве различитих полупроводничких, структурних и конструкционих карактеристика МОСФЕТ, што се постиже променама у дебљини оксида гејта, у допираности полупроводничке основе, у различитој врсти полупроводничког материјала, у присуству слојева за пасивизацију, у дужини и ширини канала између сорса и дрејна, у напону напајања гејта у току зрачења. Поља јонизујућих зрачења ће бити успостављана са изворима гама, X и електронског зрачења различитих енергија зрачења, јачина доза зрачења, а електронске компоненте ће бити изложене различитим укупним дозама зрачења. При томе, енергетска зависност промене напона прага ΔV_T као одзива МОСФЕТ-а за изабрани тип инцидентног јонизујућег зрачења такође репрезентује значајан скуп вредности датог дозиметријског параметра, који се користи

при анализи утицаја зрачења на електронску компоненту. Сваки експериментални поступак ће бити спроведен у контролисаним лабораторијским условима уз минимизацију мерне несигурности.

Други предмет истраживања обухвата примену нумеричких симулација на основу метода Монте Карло при транспорту честица јонизујућег зрачења кроз геометријску конфигурацију МОСФЕТ структуре. На крају овог прорачуна један од резултата су вредности депоноване енергије у запремини сваке материјалне зоне структуре МОСФЕТ-а. Одатле следи да се полазећи од прорачунатих вредности депоноване енергије, уз коришћење фундаменталне дефиниције у дозиметрији зрачења, одређују вредности апсорбоване дозе у оксиду гејта (SiO_2) и супстрату (Si) као величина које су преко одговарајућих релација повезане са дозиметријским параметрима МОСФЕТ-а. Променом типа инцидентних честица (фотони или електрони), као и енергија честица чији се транспорт симулира кроз све материјалне зоне МОСФЕТ-а, утврђује се зависност апсорбоване дозе у дозиметријски осетљивој запремини оксида гејта, као и у супстрату, од енергије јонизујућег зрачења. Овом приликом треба посебно обратити пажњу на још један резултат нумеричког прорачуна који се односи на расподелу броја генерисаних парова електрон-шупљина, који се може посебно одредити за сваку материјалну зону у структури МОСФЕТ-а.

Трећи предмет истраживања је утврђивање релације између експериментално одређеног дозиметријског параметра, као што је зависност промене напона прага МОСФЕТ-а од укупне апсорбоване дозе у пољу изабраног типа јонизујућег зрачења, и вредности величине које су добијене као резултати нумеричких симулација за транспорт честица датог јонизујућег зрачења кроз структуру МОСФЕТ-а, као што је апсорбована доза у дозиметријски осетљивој запремини оксида гејта.

У поступку дизајнирања МОСФЕТ компоненте важну улогу игра одлука о избору материјала за оклапање структуре. Овај инжењерски проблем је такође предмет посебног истраживања у којем се спровode нумерички прорачуни на бази Монте Карло симулација за МОСФЕТ структуре са и без материјалне зоне којом се врши оклапање и на тај начин се дефинише фактор физичке заштите компоненте. Сложенија ситуација постоји када за једну врсту јонизујућег зрачења и различите енергије инцидентних честица одређујемо утицај на одзив компоненте приликом измене различитих материјала који се користе за оклапање компоненте. Решење се проналази тако што могу да се спроведу нумерички прорачуни који дефинишу скуп вредности дозиметријског параметра МОСФЕТ-а са различитим вредностима фактора физичке заштите који се односи на изабрани материјал за оклапање у зависности од врсте и од енергије зрачења. Енергетска зависност фактора физичке заштите је посебно од великог значаја при доношењу закључака о коришћењу МОСФЕТ-а у окружењу са мешовитим пољем јонизујућих зрачења.

Циљ овог рада је успостављање специфичне методологије којом се прецизније прати утицај јонизујућег зрачења на карактеристике МОСФЕТ компоненте. Специфичност се огледа у томе да поред тога што се одређује зависност промене напона прага од експериментално одређене апсорбоване дозе у МОСФЕТ-у који се налази у пољу јонизујућег зрачења, уводе се и Монте Карло прорачуни величина од којих зависе дозиметријски параметри структуре МОСФЕТ-а и сагледава се њихова веза са резултатима експеримента. Пажљивом анализом нежељених ефеката утицаја зрачења могу да се сагледају рационалне методе који би те ефекте свели на минимум или их елиминисали.

Основна литература коју кандидат треба да проучи и на коју се ослањају почетна истраживања је представљена преко следећег списка референци:

1. Ma T.P., Dressendorfer P.V. : *Ionizing radiation effects in MOS devices and circuits*, 1989, John Wiley & Sons, New York.
2. Messenger G.C., Ash M.S. : *The effects of radiation on electronic systems*, 1992, Van Nostrand Reinhold, New York.
3. Sze S.M. : *Physics of semiconductor devices*, 1981, John Wiley & Sons, New York.
4. Claeys C., Simoen E. : *Radiation effects in advanced semiconductor materials and devices*, 2002, Springer, Berlin.
5. Knoll G.F. : *Radiation detection and measurement*, 2000, John Wiley & Sons, New York.
6. Newman M.E.J., Barcema G.T. : *Monte Carlo methods in statistical physics*, 2001, Clarendon Press, Oxford.
7. Ilić R.D. : *Tehnike Monte Karlo u transportu čestica*, 1991, Naučna knjiga, Beograd.
8. Miura-Mattausch M., Mattausch H.J., Ezaki T. : *The physics and modelling of MOSFETs; Surface-potential model HiSIM*, 2008, World Scientific Publishing, London.
9. Garth J.C., Chadsey W.L., Shepard : *Monte Carlo analysis of dose profiles near photon irradiated material interfaces*, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 22, 1975, pp.2563-2567.
10. Holmes-Siedle A.: *The space-charge dosimeter-general principles of a new method of radiation detection*, Nuclear Instruments and Methods, Vol. 121, 1974, pp.169-179.
11. Dozier C.M., Brown D.B., Throckmorton J.L., Ma D.I. : *Defect production in SiO₂ by X-ray and Co-60 radiations*, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 32, 1985, pp.4363-4368.
12. Fleetwood D.M. : *Border traps in MOS devices*, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 39, 1992, pp.269-271.
13. Fleetwood D.M. : *Total-dose radiation hardness assurance*, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 50, 2003, pp.552-564.
14. Oldham T.R., McLean F.B. : *Total ionizing dose defects in MOS oxides and devices*, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 50, 2003, pp.483-499.
15. Wang B., Kim C.H., Xu X.G. : *Monte Carlo modelling for low and medium energy photon sources*, Medical Physics, Vol.31, 2004, 1003-1008.
16. Wang B., Kim C.H., Xu X.G. : *Monte Carlo modelling of the MOSFET dosimeter and its applications*, Transactions of American Nuclear Society, Vol.88, 2003, 218-220.
17. Murat M., Akkerman A., Barak J. : *Spatial distribution of electron/hole pairs induced by electrons and protons in SiO₂*, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 51, 2004, pp.3211-3218.
18. Galloway K.F., Gaitan M., Russel T.J. : *A simple model for separating interface and oxide charge effects on MOS device characteristics*, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 31, 1984, pp.1497-1501.
19. Brucker G.J., Kronenberg S., Gentner F. : *Effects of Package Geometry, Materials, and Die Design on Energy Dependence of pMOS Dosimeters*, IEEE Transaction on Nuclear Science, Vol. 42, 1995, pp.33-40.
20. Frisina F., Gombia E., Chirco P. : *Electron irradiation effects on power MOS transistors*, International Journal of Radiation Applications and Instrumentation, Part C. Radiation Physics and Chemistry, Vol. 35, 1990, pp. 500-506.

3. Полазне хипотезе

У раду се полази од хипотеза:

- Могуће је утврдити релацију која дефинише зависност промене напона прага од укупне апсорбоване дозе у МОСФЕТ компоненти, $\Delta V_T(D)$ и објаснити физичке процесе који стоје иза те зависности. Пре него што се крене у спровођење експерименталне карактеризације МОСФЕТ компоненте у пољу јонизујућег зрачења, треба имати у виду следеће важније физичке процесе који се дешавају у оксиду гејта: генерисање парова електрон-шупљина на путањи секундарних електрона који су настали при интеракцији честица јонизујућег зрачења и материјала, временски зависну рекомбинацију парова електрон-шупљина, транспорт слободних носилаца у оксиду, захват наелектрисања и појаву рекомбинационих центара, при чему се формира додатно електрично поље, као и стварање наелектрисања на међуповрши Si-SiO₂. Међутим, у нашем случају, сасвим је довољна практична подела на два типа наелектрисања која доминантно утичу на струјно-напонску карактеристику МОСФЕТ-а: наелектрисања у оксиду гејта (чиме су обухваћени покретни јони, наелектрисања на центрима захвата и фиксно наелектрисање) и наелектрисања на површинским стањима. При томе, важно је истакнути да под дејством зрачења свака промена наелектрисања у оксиду и наелектрисања на површинским стањима утиче на електричне карактеристике МОСФЕТ-а тако што се може променити напон прага V_T и покретљивост носилаца наелектрисања у каналу. То значи да би било сврсисходно пратити промену напона прага ΔV_T у зависности од измена у карактеристикама поља зрачења у којем се МОСФЕТ поставља, односно од промена дозиметријских величина са којима су повезани дозиметријски параметри МОСФЕТ компоненте, при чему су посебно значајне промене апсорбоване дозе зрачења у оксиду гејта као једној од важних дозиметријски осетљивих запремина у структури МОСФЕТ-а.

- Оптимизација карактеристика МОСФЕТ дозиметра се може остварити комплементарним приступом користећи резултате експерименталних истраживања и нумеричких симулација транспорта честица јонизујућих зрачења применом метода Монте Карло. У основи ове хипотезе је да постоје два метода прорачуна апсорбоване дозе у материјалу оксида гејта. Један је математички детерминистички метод и спроводи се у току експеримента. Према овом методу спроводи се прорачун тако што се користе измерене вредности дозиметријске величине керме у ваздуху (K_{air}) или апсорбоване дозе у ваздуху на месту где ће касније бити постављена МОСФЕТ и применом математичке релације која прати законитости радијационе физике, са одговарајућима факторима конверзије долази се до вредности за апсорбовану дозу $D(SiO_2)_{exp}$. Други метод обухвата примену нумеричких симулација транспорта честица јонизујућег зрачења кроз материјалну средину на бази метода Монте Карло, при чему се као резултат добијају вредности депоноване енергије у запремини сваке материјалне зоне у структури МОСФЕТ-а, а потом се прорачунава и апсорбована доза у оксиду гејта $D(SiO_2)_{MC}$.

4. Научне методе истраживања

У експерименталном делу рада, у пољу јонизујућег зрачења биће обављена мерења промене напона прага МОСФЕТ-а, који ради у области засићења, у зависности од промене апсорбоване дозе $D(SiO_2)_{exp}$. МОСФЕТ компонента је инкорпорирана у дигитални мерни систем који је програмиран да у задатим временским интервалима

региструје вредност напона прага (on-line режим мерења). МОСФЕТ транзистор у области засићења ради као напонски контролисан струјни извор тако да је на таквом својству преносне струјно-напонске карактеристике $I_D(V_{GS})$ реализовано електрично коло за мерење вредности напона прага, као једног од делова дигиталног мерног система.

Други део истраживања се заснива на примени методе Монте Карло при симулацији процеса транспорта честица јонизујућег зрачења, који су научно утемељени на актуелним теоријама из области радијационе физике. Нумерички експерименти у дозиметрији, заштити од зрачења и нуклеарној техници се огледају у примени специјалних физичких модела интеракције фотона, електрона и позитрона са материјалима, који су имплементирани у програмске пакете FOTELP, PENELOPE и MCNP5/MCNPX за симулацију транспортних процеса у материјалним зонама са геометријском 3Д конфигурацијом. За дефинисање састава материјала користе се базе података NISTIR 4999 и PNNL-15870. У нумеричким прорачунима, вредности ефикасних пресека и апсорпционих коефицијената за интеракције фотона са материјалима преузимају се из базе података коришћењем програма XCOMv3.1/NIST (NBSIR 87-3597). Приликом моделовања транспорта електрона кроз материјалне средине, одређивање вредности зауставних моћи и домета ове честице може да се остварује употребом базе података из програма ESTAR/NIST.

5. Очекивани научни допринос

- Утврђивање експерименталне релације између промене напона прага ΔV_T и апсорбоване дозе зрачења $D(\text{SiO}_2)_{\text{exp}}$ у стандардним пољима гама, X или електронског зрачења. Потом би прорачуната апсорбована доза $D(\text{SiO}_2)_{\text{MC}}$ методом Монте Карло била повезана одговарајућом релацијом са експериментално добијеним резултатима за ΔV_T и $D(\text{SiO}_2)_{\text{exp}}$.
- Очекује се да је могуће нумеричком Монте Карло симулацијом одредити величине (апсорбована доза у материјалним зонама, зависност одзива компоненте од енергије зрачења, расподела броја генерисаних парова електрон-шупљина у структурним деловима) које су преко одговарајуће релације повезане са дозиметријским параметрима на произвољно изабраној енергији јонизујућег зрачења, посебно у случајевима када их није могуће експериментално одредити уз коришћење стандардних извора зрачења.
- Развој методологије засноване на Монте Карло прорачунима за одређивање вредности фактора физичке заштите МОСФЕТ-а за различите изабране материјале за оклапање полупроводничке компоненте у случајевима када се мења енергија инцидентних честица у пољу јонизујућег зрачења.

6. План истраживања и структура рада

Технологија рада на дисертацији обухвата следеће фазе и активности у истраживању:

- Преглед литературе у којој се налазе фундаментални истраживачки доприноси при проучавању утицаја јонизујућег зрачења (пре свега оног које потиче од гама, X зрачења и електронских снопова) на МОСФЕТ компоненте.

- Реализација експеримената у којима се прати утицај јонизујућег зрачења на МОСФЕТ и региструје зависност промене напона прага од апсорбоване дозе зрачења као променљивог дозиметријског параметра. Експерименти ће бити изведени у пољима зрачења која одговарају екстремним условима уз максималне мере предострожности.
- Реализација нумеричких симулација транспорта честица јонизујућег зрачења кроз структуру МОСФЕТ-а методом Монте Карло, при чему се дефинишу специфичности за поједине симулације и у складу са тим засебно одабирају софтверски пакети (MCNP5, FOTELP, PENELOPE) са којима могу да се остваре поуздани резултати прорачуна апсорбоване дозе, као и да се дефинишу одговарајуће релације са дозиметријским параметром.
- Публиковање научних радова у међународним часописима са SCI листе чиме се потврђује остварење научног доприноса и оцењује квалитет остварених истраживачких резултата.
- Ангажовање на изради и одбрани докторске дисертације у којој ће бити укључени: преглед актуелних истраживања у предметној области, резултати истраживања и научни доприноси, као и предлози за нове истраживачке правце у будућности.

Предвиђено је да у докторској дисертацији буду обрађене следеће области: уводна разматрања о циљевима истраживања у оквиру задате теме, основни механизми интеракција јонизујућег зрачења са материјалима у полупроводничким компонентама, примена статичког и on-line метода за експерименталну карактеризацију дозиметријских параметара МОСФЕТ у пољима јонизујућег зрачења, примена нумеричке методе Монте Карло за симулацију транспорта честица јонизујућег зрачења са материјалима МОСФЕТ структуре, утврђивање релације између карактеристичних величина које се добијају нумеричким симулацијама и експериментално одређених промена дозиметријских параметара МОСФЕТ у зависности од укупне дозе зрачења, а на основу дискусије резултата дошло би се до закључака везаних за спроведена истраживања.

7. Закључак и предлог

На основу изложеног, Комисија констатује да мр Србољуб Станковић, дипл. инж. електротехнике, испуњава све потребне услове за израду докторске дисертације под насловом „Експериментална карактеризација и Монте Карло симулација дозиметријских параметара МОСФЕТ структуре у пољима јонизујућег зрачења“. Осим испуњавања формалних услова, кандидат је у свом досадашњем научноистраживачком раду доказао способност да самостално и тимски решава проблеме на теоријском и експерименталном нивоу и да критички анализира добијене резултате.

Предложена тема је научно заснована, припада ужим научним областима нуклеарне технике и физичке електронике, и од великог је практичног значаја због увођења специфичне методологије којом се комплементарним приступом са експериментима и нумеричким симулацијама прати и предвиђа утицај јонизујућег зрачења на карактеристике МОСФЕТ компоненте.

Зато Комисија предлага Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да одобри мр Србољубу Станковићу израду докторске дисертације под насловом „Експериментална карактеризација и Монте Карло симулација дозиметријских параметара МОСФЕТ структуре у пољима јонизујућег зрачења“ под руководством др Предрага Маринковића, редовног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду, и др Милана Тадића, редовног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

07.05.2015.год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Предраг Маринковић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

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

др Милош Вујисић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

др Бранко Матовић, научни саветник
Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне
науке „ВИНЧА“

др Вујо Дрндаревић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет