

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA UNIVERZITETA U BEOGRADU

Na 744. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, održanoj 6. marta 2012. godine, imenovani smo za članove Komisija za ocenu uslova i prihvatanje teme doktorske disertacije Edina Dolićanina dipl.el.ing., pod naslovom „**Radijaciona otpornost fleš memorija izrađenih u duboko-submikronskoj tehnologiji**“. Nakon uvida u dostavljeni materijal podnosimo Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta sledeći

I Z V E Š T A J

1. Podaci o kandidatu

Edin Dolićanin je rođen 08.12.1981. godine u Prištini. Osnovnu školu i gimnaziju prirodno-matematičkog smera završio je u Prištini. Diplomirao je na Elektronskom fakultetu u Nišu, na odseku za Računarsku tehniku i informatiku, 2009. godine. Doktorske studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu upisao je školske 2009/2010. godine na Modulu za nuklearnu, medicinsku i ekološku tehniku i zaključno sa školskom 2011/2012. ispunio je sve obaveze predviđene planom i programom doktorskih studija.

Od januara 2011. godine zaposlen je na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu preko projekta osnovnih istraživanja Ministarstva prosvete i nauke ON 171007 - Fizički i funkcionalni efekti interakcije zračenja sa elektrotehničkim i biološkim sistemima, čiji je rukovodilac dr Predrag Osmokrović, red. prof. Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, u kategoriji mladih istraživača.

Govori engleski i ruski jezik.

U svom dosadašnjem radu Edin Dolićanin dipl.el.ing je objavio sledeće radove:

- [1] K. Stanković, M. Vujisić, **E. Dolićanin**, Reliability Of Semiconductor And Gas-filled Diodes For Over-voltage Protection Exposed To Ionizing Radiation, *Nuclear Technology & Radiation Protection*, Vol. 24, No. 2, (2009), pp. 132-137 [ISSN 1451-3994] [IF: 0.706].
- [2] M. Vujisić, K. Stanković, **E. Dolićanin**, B. Jovanović, Radiation Effects In Polycarbonate Capacitors, *Nuclear Technology and Radiation Protection*, Vol. 24, No. 3, (2009), pp. 209-211 [ISSN 1451-3994] [IF: 0.706].
- [3] M. Pejović, S. Pejović, **E. Dolićanin**, Đ. Lazarević, Gamma Ray Irradiation and Post Post-Irradiation at Room and Elevated Temperature Response of pMOS Dosimeters with Thick Gate Oxides (Article), *Nuclear Technology and Radiation Protection*, Vol. 26, No. 3 (2011), pp. 261-265 ISSN 1451-3994 [IF: 0.706].
- [4] M. Vujisić, D. Matijašević, **E. Dolićanin**, P. Osmokrović, Simulated Radiation Effects in the Superinsulating Phase of Titanium Nitride Films, *Nuclear Technology & Radiation protection*, Vol. 26, No. 3 (2011), pp. 254-260 ISSN 1451-3994 [IF: 0.706].
- [5] M. Vujisić, K. Stanković, **E. Dolićanin**, P. Osmokrović, Radiation hardness of COTS EPROMs and EEPROMs, *Radiation Effects and Defects in Solids: Incorporating Plasma Science and Plasma Technology*, Vol. 165, No. 5, (2010), pp. 362 – 369 [ISSN 1042-0150], [IF: 0.550].
- [6] S. Đekić, K. Stanković, **E. Dolićanin**, M. Pešić, Važenje zakona sličnosti za impulsni proboj gasova, 9. savetovanje BiH CIGRE 2009, Zbornik radova R.D1.04.
- [7] K. Stanković, **E. Dolićanin**, Lj. Nikolić, M. Pešić, Mogućnost poboljšanja efikasnosti fotonaponskih ćelija, 9. savetovanje BiH CIGRE 2009, Zbornik radova R.D1.06.
- [8] G. Ilić, R. Marić, M. Jurošević, **E. Dolićanin**, Uticaj sklopnih operacija isključenja struje kratkog spoja na dielektrične karakteristike vakuumskih prekidača 9. savetovanje BiH CIGRE 2009, Zbornik radova R.D1.07.

- [9] K. Kovačević-Markov, A. Vasić, E. Dolićanin, G. Ilić, K. Stanković, Improvement of the Conventional Solar Cell Characteristics, 3rd IASTED African Conference on Power and Energy Systems, Africa PES 2010, Proceedings, pp. 123-127.
- [10] M. Jurošević, G. Ilić, R. Marić, S. Đekić, E. Dolićanin, Uticaj stabilnosti karakteristika varistora kao elementa prenaponske zaštite na karakteristike hibridnog zaštitnog kola, 30. savetovanje CIGRE Srbija 2011, R D1-01.
- [11] A. Vasić, M. Vujisić, K. Kovačević-Markov, M. Zdravković, E. Dolićanin, Određivanje temperaturske zavisnosti karakteristika solarnih ćelija merenjima frekventnog šuma i faktora idealnosti, 30. savetovanje CIGRE Srbija 2011, R D1-03.

2. Prikaz aktivnosti Edina Dolićanina tokom doktorskih studija

U toku doktorskih studija, Edin Dolićanin je učestvovao u izvođenju laboratorijskih vežbi studentima druge godine osnovnih studija na predmetu Materijali u elektrotehnici u Laboratoriji za elektrotehničke materijale Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu.

Pored položenih ispita prikazanih u tabeli 1, Edin Dolićanin je tokom doktorskih studija obavljao ispitivanja u oblasti uticaja radijacionog i elektromagnetnog zračenja na elektronske komponente, a posebno na poluprovodničke komponente. U sklopu eksperimentalnog dela ovih ispitivanja, Edin Dolićanin je proveo tri meseca u Laboratoriji za dozimetriju i zaštitu od zračenja Instituta za nuklearne nauke „Vinča” radeći na ozračivanju komponenti različitim vrednostima doza čestičnog i elektromagnetnog zračenja. Pored toga, kandidat je proveo dva meseca u Laboratoriji za primenjenu fiziku Elektronskog fakulteta u Nišu, sarađujući sa prof. dr Momčilom Pejovićem na problemima interakcije zračenja sa MOSFET strukturama i tom prilikom je bio član grupe koja je došla do značajnog rezultata da se snimajući potencijal plivajućeg gejta može dobiti spektar i apsorbovana doza zračenja uz malu mernu nesigurnost kombinovanog tipa. Kao rezultat navedenih istraživanja, kandidat je objavio 4 pristupna rada za izradu doktorske disertacije u časopisima sa SCI liste, čime je ispunio obeveze predviđene planom i programom studija, prikazane u tabeli 2. Kandidat je, po pozivu, proveo dva meseca na Fakultetu za strojarstvo Univeziteta u Ljubljani proučavajući metode numeričkog eksperimenta interakcije elektromagnetnog i nuklearnog zračenja sa poluprovodničkim komponentama, formirajući Monte Karlo algoritam za tu namenu, pod rukovodstvom prof. Leona Kosa.

Tabela 1. Položeni ispiti u toku doktorskih studija

R.br.	Naziv predmeta	Ocena	ESPB
1	Engleski jezik	6	6
2	Radijaciona i elektromagnetna kompatibilnost elektrotehničkih komponenti i uređaja	10	9
3	Kompleksni fenomeni u fizici plazme	10	9
4	Matematičko modelovanje fizičko-tehničkih procesa	10	9
5	Numerička simulacija radijacionih i nuklearnih reaktora	10	9
6	Dozimetrija, zaštita od zračenja i nuklearni otpad	10	9
7	Odabrana poglavlja iz nuklearne fizike	10	9
8	Merne metode u nuklearnoj, medicinskoj i ekološkoj tehnici	10	9
9	Prostiranje optičkih talasa u kompleksnim sredinama	10	9
10	Merenje jonizujućeg i nejonizujućeg zračenja	10	9
11	Dozimetrija i zaštita od zračenja	10	6
12	Nuklearna fizika	10	6

Tabela 2. Odrađene obaveze u toku doktorskih studija

R.br.	Tip obaveze	ESPB
1	Studijski istraživački rad I	15
2	Studijski istraživački rad II	15
3	Naučno stručni rad	3

Publikovani pristupni radovi za izradu doktorske disertacije

- [1] K. Stanković, M. Vujisić, **E. Dolićanin**, Reliability Of Semiconductor And Gas-filled Diodes For Over-voltage Protection Exposed To Ionizing Radiation, *Nuclear Technology & Radiation Protection*, Vol. 24, No. 2, (2009), pp. 132-137 [ISSN 1451-3994] [IF: 0.706].
- [2] M. Vujisić, K. Stanković, **E. Dolićanin**, P. Osmokrović, Radiation hardness of COTS EPROMs and EEPROMs, *Radiation Effects and Defects in Solids: Incorporating Plasma Science and Plasma Technology*, Vol. 165, No. 5, (2010), pp. 362 – 369 [ISSN 1042-0150], [IF: 0.550].
- [3] M. Pejović, S. Pejović, **E. Dolićanin**, Đ. Lazarević, Gamma Ray Irradiation and Post Post-Irradiation at Room and Elevated Temperature Response of pMOS Dosimeters with Thick Gate Oxides (Article), *Nuclear Technology and Radiation Protection*, Vol. 26, No. 3 (2011), pp. 261-265 [ISSN 1451-3994] [IF: 0.706].
- [4] M. Vujisić, D. Matijašević, **E. Dolićanin**, P. Osmokrović, Simulated Radiation Effects in the Superinsulating Phase of Titanium Nitride Films, *Nuclear Technology & Radiation Protection*, Vol. 26, No. 3 (2011), pp. 254-260 [ISSN 1451-3994] [IF: 0.706].

Na osnovu pristupnog istraživačkog rada, osnovni očekivani naučni doprinos disertacije je da se analizira osetljivost fleš memorija izrađenih u duboko-submikronskoj tehnologiji na izlaganje jonizujućem zračenju. U radu će biti izneta teorijska analiza uticaja zračenja na MOS strukture sa plivajućim gejtom. Radijaciona oštećenja fleš memorija biće razmatrana na nivou pojedinačnih memorijskih ćelija, memorijske matrice i perifernih kola za očitavanje, brisanje i upis (pojačavača, registara i pumpi naelektrisanja).

2. Predmet i cilj istraživanja

Zahvaljujući izuzetno visokoj gustini pakovanja komponenti i sposobnosti višegodišnjeg zadržavanja upisanog sadržaja, fleš memorije postale su najpoželjnije rešenje za skladištenje podataka u velikoj većini primena, pogotovo kada se zahteva upotreba postojećih memorija, koje pamte sadržaj i bez napajanja. U poslednjih desetak godina, fleš memorije, uz DRAM, dominiraju na tržištu poluprovodničkih memorija. Fleš memorije su u stanju da zadrže informaciju, upisanu skladištenjem naelektrisanja na plivajućem gejtu, i do deset godina, kao i da podnesu stotine hiljada cikusa brisanja i upisa.

Mnoge primene fleš memorija podrazumevaju njihovu izloženost jonizujućem zračenju (npr. dozimetrija jonizujućeg zračenja, primena uređaja nuklearne medicine i radioterapije, korišćenje akceleratora u fizici visokih energija, eksploatacija nuklearne energije, obrada nuklearnog otpada, sterilizacija proizvoda zračenjem). Pouzdanost i ispravan rad fleš memorija u ovim situacijama u velikoj meri zavise, kako od karakteristika polja zračenja, tako i od tehničkih specifičnosti ovih memorija. Karakteristične dimenzije komponenti koje ulaze u sastav fleš memorija su još pre desetak godina postale manje od jednog mikrona, dok su u skorije vreme dostigle duboko-submikronsku oblast, u kojoj su pojedine strukture svedene na nekoliko desetina nanometara. Ovo smanjenje dimenzija komponenti u integrisanim kolima utiče i na radijacionu osetljivost fleš memorija. Dok su neki od efekata zračenja, prisutni kod ranijih memorija, odstranjeni zahvaljujući minijaturizaciji, kod fleš memorija novije generacije do izražaja dolaze nove pojave izazvane ozračivanjem, koje presudno određuju njihovu primenljivost u radijacionim sredinama.

Poslednjih godina se u domenu praksi sa prisustvom zračenja pojavio trend selektovanja memorija kroz testiranje većeg broja komercijalno dostupnih modela (COTS - Commercial Of The Shelf) i odabiranje onih koji ispolje zahtevanu radijacionu otpornost. Oslanjanje na COTS elektroniku je posledica činjenice da radijaciono ojačana rešenja kasne za najnovijim dostignućima barem za jednu generaciju, jer tehnološki postupci dizajniranja radijaciono ojačane verzije neke aktuelne memorije traju i po par godina. U planu je da čak i svemirske

letelice u skoroj budućnosti koriste kombinaciju specijano razvijene radijaciono ojačane elektronike i COTS komponenti selektovanih putem testova sa ozračivanjem.

U fleš memorijama koje treba da funkcionišu u pojasevima zračenja zarobljenog Zemljinim magnetnim poljem (Van Allen-ovi prstenovi), što je slučaj sa memorijama na komunikacionim satelitima koji orbitiraju oko Zemlje, greške su najčešće prouzrokovane fluksevima protona. Pored protona, u kosmičkim primenama značajan uticaj na rad fleš memorija imaju alfa čestice i drugi laki i teški joni. Oklapanje elektronskih uređaja nije zadovoljavajuća mera zaštite satelitske opreme od uticaja zračenja, jer se njime ne postiže dovoljno slabljenje polja kosmičkog zračenja.

3. Polazne hipoteze

Greške u radu fleš memorija prouzrokovane zračenjem mogu da se jave čak i u uslovima primene koji ne podrazumavaju radijacionu sredinu, usled dejstva kosmičkih zraka ili alfa čestica emitovanih iz pakovanja memorijskog čipa. Na nadmorskoj visini od 3000 m efekti zračenja su višestruko izraženiji nego na nivou mora, usled veće izloženosti kosmičkim zracima. Alfa emiteri, prisutni u pakovanju čipa i njegovim izvodima, su najčešće izotopi torijuma ili urana. Zračenja koja potiču iz pakovanja čipa mogu da dovedu do poremećaja logičkih stanja memorijskih ćelija i pojačavača za očitavanje, kao i do narušavanja funkcije perifernih kola u čipu.

Pored samih memorijskih ćelija, periferna kola na čipu fleš memorija, kao što su pumpe naelektrisanja, podložna su radijacionim oštećenjima i stoga čest izvor grešaka u radu memorije. Naglo pojavljivanje nosilaca naelektrisanja generisanih zračenjem na izlaznim čvorovima memorijskih ćelija, ulazima pojačavača za očitavanje ili u pojedinim tačkama perifernih kola, proizvodi lažne struje koje mogu da poremete upisane podatke ili da utiču na proces njihove obrade. Na taj način nastaju pojedinačni efekti (SEE - Single Event Effects), koji predstavljaju jedan od osnovnih problema u bavljenju radijacionom otpornošću fleš memorija. Drugi značajan izvor neregularnosti u radu fleš memorija čine efekti ukupne jonizacione doze (TID - Total Ionizing Dose), koji nastaju usled deponovanja energije zračenja u oksidu gejta. Radijaciona oštećenja u oksidnom sloju obuhvataju dva osnovna fenomena: pojavu naelektrisanja zarobljenog u oksidu i povećanje broja zamki na međupovršni oksida i podloge. Naelektrisanje zarobljeno u ozračenom oksidu sačinjavaju šupljine iz elektronsko-šupljinskih parova nastalih prolaskom zračenja kroz oksid. Površinske zamke mogu slobodno da razmenjuju naelektrisanje sa silicijumskim supstratom, zbog čega znak njihovog naelektrisanja zavisi od primenjenog napona. Sa povećanjem ukupne apsorbovane doze, količina neelektrisanja zarobljenog u oksidu, kao i broj površinskih zamki, rastu.

Uticaj SEE i TID efekata na funkcionisanje fleš memorije najčešće nije destruktivan, već iščezava spontano tokom potonjeg rada komponente, ili može da se otkloni odgovarajućom merom (reprogramiranjem u slučaju SEE, zagrevanjem čipa ako se radi o TID efektima). Zračenje, međutim, može da proizvede i trajna neregularna stanja u kolu (latchup i snapback, čije otklanjanje zahteva prekid rada komponente), ili destruktivne promene (proboj oksida gejta). Rezultati doktorske disertacije biće, između ostalog, nastavak već publikovanih rezultata.

- [1] H. Veendrick, *Deep-Submicron CMOS ICs (From Basics to ASICs)*, Second Edition, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2000.
- [2] J. E. Brewer, M. Gill (editors), *Nonvolatile Memory Technologies With Emphasis on Flash*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2008.
- [3] P. Pavan, R. Bez, P. Olivo, E. Zanoni, "Flash memory cells - an overview," *Proc. IEEE*, vol. 85, pp. 1248-1271, 1997.
- [4] B. Govoreanu, D. Brunco, J. V. Houdt, "Scaling down the interpoly dielectric for next generation flash memory: Challenges and opportunities", *Solid-State Electron.*, vol. 49, pp. 1841-1848, 2005.

- [5] M. Lenzlinger, E. H. Snow, "Fowler-Nordheim tunneling into thermally grown SiO₂", *J. Appl. Phys.*, vol. 40, pp. 278-283, 1969.
- [6] N. Mielke, H. Belgal, I. Kalastirsky, P. Kalavade, A. Kurtz, Q. Meng, N. Righos, J. Wu, "Flash EEPROM threshold instabilities due to charge trapping during program/erase cycling," *IEEE Trans. Device Mater. Rel.*, vol. 4, pp. 335-344, 2004.
- [7] H. Schwartz, D. Nichols, A. Johnston, "Single-event upset in flash memories", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 44, pp. 2315-2324, 1997.
- [8] D. Nguyen, S. Guertin, G. Swift, A. Johnston, "Radiation effects on advanced flash memories", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 46, pp. 1744-1750, 1999.
- [9] T. R. Oldham, R. L. Ladbury, M. Friendlich, H. S. Kim, M. D. Berg, T. L. Irwin, C. Seidleck, K. A. LaBel, "SEE and TID characterization of an advanced commercial 2Gbit NAND flash nonvolatile memory", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 53, pp. 3217-3222, 2006.
- [10] M. Bagatin, S. Gerardin, G. Cellere, A. Paccagnella, A. Visconti, S. Beltrami, R. Harboe-Sorensen, and A. Virtanen, "Key contributions to the cross section of NAND flash memories irradiated with heavy ions", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 55, pp. 3302-3308, 2008.
- [11] G. Cellere, A. Paccagnella, A. Visconti, M. Bonanomi, "Ionizing radiation effects on floating gates", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 85, pp. 485-487, 2004.
- [12] G. Cellere, A. Paccagnella, A. Visconti, M. Bonanomi, P. Caprara, S. Lora, "A model for TID effects on floating gate memory cells", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 51, pp. 3753-3758, 2004.
- [13] G. Cellere, A. Paccagnella, S. Lora, A. Pozza, G. Tao, A. Scarpa, "Charge loss after ⁶⁰Co irradiation of flash arrays", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 51, pp. 2912-2916, 2004.
- [14] J. Wang, S. Samiee, H.-S. Chen, C.-K. Huang, M. Cheung, J. Borillo, S.-N. Sun, B. Cronquist, J. McCollum, "Total ionizing dose effects on flash-based field programmable gate array", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 51, pp. 3759-3766, 2004.
- [15] G. Cellere, A. Paccagnella, A. Visconti, M. Bonanomi, S. Beltrami, J. Schwank, M. Shaneyfelt, P. Paillet, "Total ionizing dose effects in NOR and NAND flash memories", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 54, pp. 1066-1070, 2007.
- [16] G. Cellere, A. Paccagnella, A. Visconti, M. Bonanomi, A. Candelori, S. Lora, "Effect of different total ionizing dose sources on charge loss from programmed floating gate cells", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 52, pp. 2372-2377, 2005.
- [17] G. Cellere, A. Paccagnella, A. Visconti, M. Bonanomi, S. Beltrami, "Single event effects in NAND flash memory arrays", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 53, pp. 1813-1818, 2006.
- [18] G. Cellere, A. Paccagnella, L. Larcher, A. Chimenton, J. Wyss, A. Candelori, A. Modelli, "Anomalous charge loss from floating-gate memory cells due to heavy ions irradiation", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 49, pp. 3051-3058, 2002.
- [19] G. Cellere, A. Paccagnella, A. Visconti, M. Bonanomi, "Secondary effects of single ions on floating gate memory cells", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 53, pp. 3291-3297, 2006.
- [20] G. Cellere, A. Paccagnella, A. Visconti, M. Bonanomi, R. Harboe-Sorensen, A. Virtanen, "Angular dependence of heavy ion effects in floating gate memory arrays", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 54, pp. 2371-2378, 2007.
- [21] N. Butt, M. Alam, "Modeling single event upsets in floating gate memory cells", *Proc. IEEE Int. Reliability Physics Symp.*, May 2008, pp. 547-555.
- [22] M. Bagatin, S. Gerardin, G. Cellere, A. Paccagnella, A. Visconti, M. Bonanomi, S. Beltrami, "Error instability in floating gate flash memories exposed to TID", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 56, pp. 3267-3273, 2009.
- [23] G. Cellere, L. Larcher, A. Paccagnella, A. Visconti, M. Bonanomi, "Radiation induced leakage current in floating gate memory cells", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 52, pp. 2144-2152, 2005.
- [24] L. Larcher, G. Cellere, A. Paccagnella, A. Chimenton, A. Candelori, A. Modelli, "Data retention after heavy ion exposure of floating gate memories: Analysis and simulation", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 50, pp. 2176-2183, 2003.
- [25] G. Cellere, A. Paccagnella, A. Visconti, M. Bonanomi, "Variability in FG memories performance after irradiation", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 53, pp. 3349-3355, 2006.
- [26] A. Gasperin, G. Ghidini, A. Cester, A. Paccagnella, "Oxide-nitrideoxide capacitor reliability under heavy-ion irradiation", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 54, pp. 1898-1905, 2007.
- [27] D. Nguyen, L. Scheick, "SEE and TID of emerging non-volatile memories," *Proc. IEEE Radiation Effects Data Workshop*, 2002, pp. 62-66.
- [28] D. Nguyen, L. Scheick, "TID, SEE and radiation induced failures in advanced flash memories", *Proc. IEEE Radiation Effects Data Workshop*, July 2003, pp. 18-23.
- [29] M. Bagatin, G. Cellere, S. Gerardin, A. Paccagnella, A. Visconti, S. Beltrami, "TID sensitivity of NAND flash memory building blocks", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 56, pp. 1909-1913, 2009.

- [30] T. Langley, P. Murray, "SEE and TID test results of 1 Gb flash memories", *Proc. IEEE Radiation Effects DataWorkshop*, July 2004, pp. 58-61.
- [31] F. Irom, D. N. Nguyen, "Single event effect characterization of high density commercial NAND and NOR nonvolatile flash memories", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 54, pp. 2547-2553, 2007.
- [32] K. LaBel, R. Ladbury, L. Cohn, T. Oldham, "Radiation test challenges for scaled commercial memories", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 55, pp. 2174-2180, 2008.
- [33] H. Schmidt, K. Grurmann, B. Nickson, F. Gliem, R. Harboe-Sorensen, "TID test of an 8-Gbit NAND flash memory", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 56, pp. 1937-1940, 2009.
- [34] T. Oldham, M. Friendlich, M. Carls, C. Seidleck, K. LaBel, "Effect of radiation exposure on the endurance of commercial NAND flash memory", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 56, pp. 3280-3284, 2009.

4. Naučne metode istraživanja

U eksperimentalnom delu rada biće izvršeno ozračivanje gama zracima komercijalno dostupnih fleš memorija sa veličinama komponenti manjim od 100 nm. Aktuelne modifikovane verzije fleš memorija, sa više-stepenim (multi-level) ćelijama i nanočesticama koje preuzimaju ulogu plivajućeg gepta, biće analizirane primenom Monte Carlo simulacije prolaska zračenja kroz ove strukture. Simulacije transporta zračenja biće iskokrišćene i za verifikaciju teorijskih modela dejstva protona, alfa čestica i teških jona na ćelije fleš memorija.

5. Očekivani naučni doprinos

Osnovni očekivani naučni doprinos je da se analizira osetljivost fleš memorija izrađenih u duboko-submikronskoj tehnologiji na izlaganje jonizujućem zračenju. U radu će biti izneta teorijska analiza uticaja zračenja na MOS strukture sa plivajućim geptom. Radijaciona oštećenja fleš memorija biće razmatrana na nivou pojedinačnih memorijskih ćelija, memorijske matrice i perifernih kola za očitavanje, brisanje i upis (pojačavača, registara i pumpe naelektrisanja).

6. Plan istraživanja i struktura rada

Analizom rezultata laboratorijskih i numeričkih eksperimenata, koja će obuhvatati SEE i TID efekte zračenja, doći će se do zaključaka o zahtevima koje moraju da ispune savremene COTS fleš memorije kako bi bile pogodne za primenu u radijacionim sredinama. Na osnovu ovih zaključaka biće predložene i metode radijacionog očvršćavanja fleš memorija, koje se odnose na tehnologiju izrade, dizajn elektronskih kola ili primenu kodova za korekciju. Periodičnim očitavanjem sadržaja memorijskih uzoraka u periodu od nekoliko meseci od ozračivanja biće verifikovan teorijski model dinamike spontanog oporavka ozračenih memorijskih ćelija. Sam rad će se sastojati od uvoda, šest poglavlja i zaključka. U uvodu će biti definisani problem rada, hipoteze kao osnov naučne diskusije koja će biti sprovedena u radu, cilj rada i metodologija koja će biti definisana u radu za postizanje definisanog cilja. U prvom poglavlju pod naslovom Struktura materije biće razmatrana struktura materije uopšte i posebno struktura poluprovodničkih materijala relevantnih za izradu fleš memorija. U drugom poglavlju pod naslovom Interakcija zračenja sa materijalom biće razmatrani efekti interakcije čestičnog i elektromagnetnog zračenja sa materijalom uopšte. Posebna pažnja biće posvećena interakciji teških jona sa materijalima kristalne strukture. U trećem poglavlju pod naslovom Interakcija zračenja sa poluprovodničkim komponentama biće razmatrana interakcija čestičnog i elektromagnetnog zračenja sa poluprovodničkim komponentama različitog stepena interakcije. Takođe će biti dat pregled dosada dobijenih rezultata interakcija zračenja sa memorijskim komponentama. U četvrtom poglavlju pod naslovom Modelovanje interakcije zračenja biće razmatrani delovi Monte Karlo metode koji će se koristiti za simulaciju konkretnih eksperimentalnih postupaka koji će se u radu izvršiti sa komercijalno dostupnim fleš memorijama. U petom poglavlju pod naslovom Eksperiment biće opisan eksperimentalni postupak i izvori i detektori zračenja koji će se primenjivati za ispitivanje komercijalno

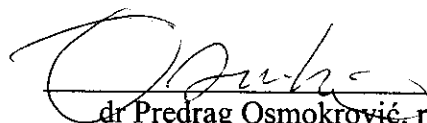
dostupnih fleš memorija. Za sve eksperimentalne postupke biće izražena kombinovana merna nesigurnost. U šestom poglavlju pod naslovom Rezultati i diskusija biće prikazani eksperimentalno dobijeni rezultati zajedno sa osdgovarajućim rezultatima dobijenim Monte Krlo simulacijom na osnovu čega će biti diskutovana radijaciona otpornost fleš memorija. U zaključku biće sažeto prikazani rezultati i definisana ograničenja za upotrebu fleš memorija pod uslovima prisustva čestičnog i elektromagnetnog zračenja.

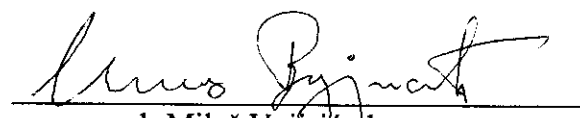
7. Zaključak i predlog

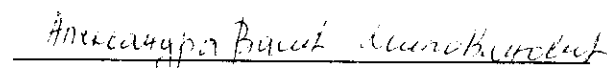
Edin Dolićanin, dipl.ing-master, prijavio je svoju doktorsku disertaciju pod naslovom „**Radijaciona otpornost fleš memorija izrađenih u duboko-submikronskoj tehnologiji**“ u skladu sa Pravilnikom o doktorskim studijama Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, podnevši na uvid sva, pomenutim pravilnikom, predviđena dokumenta. Na osnovu podnesenih dokumenata konstatovano je da je Edin Dolićanin diplomirao na Elektronskom fakultetu Univerziteta u Nišu i završio master studije na Fakultetu tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu. Na osnovu toga zaključujemo da ne postoje nikakve zakonske smetnje da prijavi doktorsku disertaciju. Kandidat ima radove koji su publikovani u časopisima sa SCI liste, na domaćim i međunarodnim stručnim konferencijama. Na osnovu obrazloženja predmeta i cilja istraživanja, polaznih hipoteza istraživanja, očekivanih naučnih doprinosa i plana istraživanja, može da se zaključi da tema prijavljene doktorske disertacije pod naslovom „**Radijaciona otpornost fleš memorija izrađenih u duboko-submikronskoj tehnologiji**“ omogućava da se u okviru nje ostvare značajni naučni i stručni doprinosi iz oblasti pražnjenja u gasovima. Predloženi mentor, prof. dr Predrag Osmokrović, ima veliki broj naučnih radova iz oblasti kojoj pripada prijavljena doktorska disertacija kandidata Edina Dolićanina, te u tom smislu smatramo da je kompetentan da obavlja funkciju mentora ove disertacije. Stoga predlažemo Nastavno-naučnom veću da odobri izradu doktorske disertacije kandidata Edina Dolićanina pod naslovom „**Radijaciona otpornost fleš memorija izrađenih u duboko-submikronskoj tehnologiji**“, pod mentorstvom prof. dr Predraga Osmokrovića.

U Beogradu, 21.6.2012.god.

Komisija


dr Predrag Osmokrović, red. prof.
Elektrotehnički fakultet u Beogradu


dr Miloš Vujisić, doc.
Elektrotehnički fakultet u Beogradu


dr Aleksandra Vasić-Milovanović, van. prof.
Mašinski fakultet u Beogradu