

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu odražanoj 11.07.2013. imenovani smo za članove Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije ABED ALKHEM ALKOASH, dipl. fizičara, pod naslovom:

**“SILICIJUMSKI I SILICIJUM-KARBIDNI UNIPOLARNI TRANZISTORI
SPECIFIČNIH GEOMETRIJA”**

O predloženoj temi podnosimo sledeći:

IZVEŠTAJ

1. PODACI O KANDIDATU

Mr Abedalkhem-Sleman-Ahmed-Alkoash rođen je 12.10.1969. u mestu Sabrata u Libiji. Osnovno univerzitetsko obrazovanje stekao je na Univerzitetu u Sabrati dobivši zvanje diplomiranog fizičara. Na državnom Univerzitetu u Brnu (Češka) odbranio je 2006. godine master rad iz oblasti elektrotehnike sa elektronikom. Od 2009. godine nalazi se na izradi doktorske disertacije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu.

Kandidat se služi engleskim jezikom, pored maternjeg arapskog.

Objavljeni naučni radovi i saopštenja

Рад у истакнутом међународном часопису - M22

1. **Alkoash Abedalkhem**, Sasic Rajko M., Ostojic Stanko M., Lukic Petar M., “An Improvement of Analytical *I-V* Model for Surrounding-Gate MOSFETs”, *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, **8**, 1, 2011, pp. 47-50(4), (IF=0.9), **DOI:** 10.1166/jctn.2011.1657, ISSN 1546-1955, Online ISSN: 1546-1963
2. **Abdel Alkhem**, Rajko M. Sasic, Petar M. Lukic and Stanko M. Ostojic. “4H-SiC VDIMOS drift region: energy aspects of its formation and analysis”, *Physica Scripta*, 2013 (IF=1.032), ISSN 0031-8949 (Print), ISSN 1402-4896 (Online), (Prihvaćeno za štampu u decembru 2013.)

Рад у међународном часопису - M23

1. Sasic Rajko M., Lukic Petar M., Ostojic Stanko M., **Alkoash Abedalkhem**, “The influence of quantum effects on spatial distribution of carriers in surrounding – gate cylindrical MOSFETs”, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, **12**, 5, 2010, pp. 1161-1164, (IF=0.577) ISSN: 1454-4164
2. Abood Imhammad Lukic Petar M., Sasic Rajko M., **Alkoash Abed Alkhem**, Ostojic Stanko M., “4H-SiC VDMOS - drift-region saturation, channel saturation and their order of appearance”, *Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications*, vol. 7 No. 5-6, 2013, pp. 329-333, (IF=0.402) ISSN: 1454-4164, ISSN: Print: 1842-6573

Oцена подобности кандидата за рад на предложеној теми:

Na osnovu biografskih podataka i oblasti iz koje je urađen master rad kandidata, kao i objavljenih radova, Komisija konstatuje da kandidat ispunjava sve neophodne uslove za rad na predloženoj temi.

2. PREDMET I CILJ ISTRAŽIVANJA

Poslednjih desetak godina razvoj unipolarnih naprava na bazi silicijuma došao je do granica izazvanih osobinama samog materijala, posebno kad je u pitanju primena u ekstremnim uslovima (visoka radna temperatura i velika snaga disipacije). Kao prirodan naslednik silicijuma u poslednje vreme pojavljuje se silicijum-karbid. Temperature na kojoj mogu da rade naprave na bazi silicijum-karbida osetno su više (i do 600°C) od onih karakterističnih za silicijumske naprave (do 150°C). Silicijum-karbidne naprave imaju manje gubitke pri uključivanju i isključivanju, pa su zato pogodne za primenu u visokofrekvencijskim uređajima (10-100GHz).

Kritično električno polje u silicijum-karbidu je deset puta jače nego kod silicijuma, što omogućava sto puta veću dopiranost pri istom naponu praga tranzistora (ili deset puta veći napon praga pri istoj dopiranosti). Naprave na bazi silicijum-karbida su tanje i poseduju znatno smanjenu kontaktnu otpornost, što omogućava njihovo bolje pakovanje u integrisana kola i favorizuje ih kad je u pitanju primena u kolima snage.

Što se geometrije ovih naprava tiče, ona donekle odudara od uobičajene geometrije silicijumskih unipolarnih tranzistora. Najčešće je to VDMOS struktura, a čine je dva horizontalna kanala koji podsećaju na ranije MOSFET strukture i vertikalna drift-oblast. Zadatak ove oblasti je da obezbedi veću nelinearnost karakteristike, tj. da omogući veće napone između drejna i sorsa pri istoj struji drejna.

Kad su u pitanju silicijumski MOSFETovi, jedan od izlaza iz nastalih problema potražen je u istraživanju i razvoju naprava cilindrične geometrije. Baze ovakvih cilindara predstavljaju sors i drejn elektrode, dok je gejt elektroda najčešće celokupan omotač valjka. Drastičnim smanjivanjem dimenzija ovakva struktura poprima dimenzije kvantne zice, objekta široko izučavanog u fizici poluprovodnika, a sada iskorišćenog i za konstruisanje stvarnih naprava.

Cilj ovog istraživanja je da se formira izraz za strujno-naponsku karakteristiku ovih naprava i prouči uticaj relevantnih geometrijsko-tehnoloških parametara na nju. Dobijeni izrazi moraju odražavati fizičke pojave koje najjače utiču na funkcionisanje takvih naprava, ali i biti dovoljno jednostavni za brzu implementaciju u modele daleko složenijih integrisanih kola.

Literatura

- 1) U. Lindefelt, H. Iwata, Book Chapter in: W. J. Choyke, H. Matsunami, G. Pensl: „Silicon-Carbide, Recent Major Advances” Springer-Verlag, Berlin (2004)
- 2) A. Powel, L. Rowland: “SiC Materials-Progress, Status and Potential Roadblocks”, Proc. IEEE, Vol. 90, pp. 942-955 (2002)
- 3) A. Elasser, T. P. Chow: “Silicon-Carbide Benefits and Advantages for Power Electronics Circuits and Systems”, Proc. IEEE, Vol. 90, No. 6, pp. 969-986 (2002)
- 4) M. Hasanuzzaman, S. K. Islam: “Analytical Modelling of Vertical Double-Implanted Power MOSFET (DIMOS) in 4H-SiC”, Proceedings of Connecticut Symposium on Microelectronics and Optoelectronics, Connecticut (March 2002)
- 5) M. Anderson, P. Kuivalainen: “Physical Modelling of Vertical DMOS Power Transistors for Circuit Simulation” Physica Scripta, Vol. T 54, pp. 157-158 (1994)
- 6) J. N. Shenoy, J. A. Ceeper, M. R. Mellouch: “High Voltage Double Implanted Power MOSFETs in 6H-SiC” IEEE Electron Devices Letters, Vol. 8, No 3, pp. 93-95 (1997)
- 7) Bhubesh Chander Joshi, C. Dhanavantri, D. Kumar, J. Optoelectron. Adv. Mater. 11(8), 1111 (2009)
- 8) Yogesh Singh Chauhan et al.: “Scalable General High Voltage MOSFET Model including quasisaturation and self-heating effects”, Solid State Electronics, 50, 1801 (2006)
- 9) D. Jimenez, B. Iniguez, J. Sune, L. F. Marsel, J. Pallares, J. Roig and D. Flores, “Continuous Analytical I-V Model for Surrounding Gate MOSFETs”, IEEE Electron Device Letters, Vol. 25, No 8, pp. 571-573 (2004)
- 10) Xiaoshi Jin, Xi Liu, Meibe Wu, Rongyan Chuai, Jung-Hee Lee and Jong-Ho Lee, “A continuous current model of ultra-thin cylindrical surrounding-gate inversion-mode Si nanowire nMOSFETs considering a wide range of body doping concentration” Semicond. Sci. Technol. 28 (2013)

3. POLAZNE HIPOTEZE

Rad na ovoj doktorskoj disertaciji zamišljen je pod pretpostavkom da specifičan oblik transportne karakteristike koji se sreće kod silicijum-karbida ima velikih posledica na modelovanje odgovarajućih unipolarnih naprava. Pretpostavka je i da korišćenje silicijum-karbida umesto silicijuma proširuje mogućnosti primene ovakvih naprava na slučajeve u kojima je radna temperatura znatno povišena, kao i na slučajeve kad je disipirana snaga drastično veća. Korišćenje specijalnih geometrija omogućava, pored superiornih mehaničko termičkih osobina, bolje pakovanje u složena kola u integrisanoj tehnologiji, kao i primenu brojnih ispitivanih kvantnih mikrostruktura za konstruisanje realnih elektronskih naprava (npr. kvantna žica).

4. NAUČNE METODE ISTRAŽIVANJA

Da bi se odredila jačina električnog polja u ispitivanim strukturama rešava se jednodimenziona Puasonova jednačina uz određene granične uslove. Prednost će biti data analitičkom rešavanju uz uvođenje usaglašavajućih parametara u odnosu na numeričko rešavanje zato što se tako dobijeni rezultati mnogo lakše inkorporiraju u razvijene modele. U takvoj Puasonovoj jednačini figuriraće izraz za koncentraciju nosilaca koji zavisi od elektrostatičkog potencijala, što čitav problem čini vrlo složenim. Ta zavisnost biće određena na dva načina: a) koristeći dostignuće klasične statističke fizike (što je daleko jednostavnije), b) koristeći dostignuće kvantne transportne teorije (što je ispravnije, ali i daleko složenije). Ova dva pristupa biće upoređena. U radu će se koristiti eksperimentalno utvrđene transportne karakteristike za silicijum i silicijum-karbid; fitovani parametri biće blago varirani oko prihvaćenih vrednosti da bi se ispitao njihov uticaj. Za konstruisanje strujno-naponske karakteristike biće prihvaćen „drift-difuzioni” model transporta nosilaca naelektrisanja. Većina proračuna biće izvršena u MATLAB-u, ali će biti korišćeni i drugi simulatori (ATLAS, npr.).

5. OČEKIVANI NAUČNI DOPRINOS

Očekuje se da će rezultati istraživanja vezanih za VDIMOS:

- detaljno opisati profil toka u vertikalnoj “drift” oblasti naprave i omogućiti da se odrede i oni relevantni parametri za koje to u dosad dostupnoj literaturi još nije učinjeno,
- proučiti uticaj oblika transportne karakteristike (prema „drift-difuzionom” modelu) na funkcionisanje naprave,
- opisati razlike koje nastaju korišćenjem 4H-SiC, odnosno 6H-SiC na funkcionisanje naprave,
- opisati uticaj anizotropije oba ova materijala na funkcionisanje naprave,
- simulirati uticaj povišene temperature ($\sim 300^{\circ}\text{C}$) na performanse naprave,
- proučiti uticaj geometrijskih i tehnoloških parametara strukture (prethodno dopirivosti) na funkcionisanje naprave.

Očekuje se da će rezultati istraživanja vezanih za SGMOSFET

- omogućiti približno analitičko rešavanje Puasonove jednačine za strukturu proizvodnje dopiranosti,
- detaljno proučiti uticaj degradacije pokretljivosti nosilaca naelektrisanja usled radijalnog električnog polja na konačnu strujno-naponsku karakteristiku,
- posle izvedenog kvantno-mehaničkog proračuna koncentracije nosilaca naelektrisanja proceniti da li je on neophodan (ili je dovoljan klasični proračun, koji je znatno jednostavniji).

6. PLAN ISTRAŽIVANJA I STRUKTURA RADA

Predmet rada ove doktorske disertacije je modelovanje strujno-naponske karakteristike unipolarnih tranzistora specifičnih geometrija na bazi silicijum-karbida i silicijuma.

U prvom delu istraživanja ispitaće se modelovanje strujno-naponske karakteristike silicijum-karbidnog vertikalnog DIMOS-a koji se sve više koristi u prekidačkim kolima i kolima snage. Posebno će se ispitati njegova vertikalna “drift” oblast i profil toka koji se u njoj formira.

U drugom delu ovog istraživanja ispitaće se modelovanje strujno-naponske karakteristike silicijumskog cilindričnog SGMOSFETa (unipolarnog tranzistora sa gejtom na omotaču).

Predviđa se da će u doktorskoj disertaciji biti obuhvaćena sledeća poglavlja: *Uvod, Teorijski deo, Rezultati i diskusija, Zaključak, Literatura.*

U poglavlju *Uvod* biće izloženi opšti principi funkcionisanja unipolarnih naprava, kao i različiti načini opisivanja i modelovanja “drift-difuzionog” transporta u njima.

Teorijski deo doktorske disertacije obuhvata:

- razmatranje fizičkih/transportnih osobina SiC,
- prednosti silicijum-karbidnih unipolarnih tranzistora u odnosu na silicijumske,
- detaljnu analizu “drift” oblasti kod vertikalnih silicijum-karbidnih unipolarnih tranzistora,
- prednosti cilindričnih silicijumskih MOSFET-ova u odnosu na (dosad korišćene) planarne,
- detaljnu analizu fizičkih pojava u cilindričnim silicijumskim MOSFET-ovima uključujući i analizu neophodnosti uzimanja u obzir kvantnih efekata,
- numeričke modele dvodimenzionog i kvazi-jednodimenzionog transporta naelektrisanja u proučavanim strukturama.

U poglavlju *Rezultati i diskusija* biće:

- izloženi rezultati istraživanja koje je kandidat obavio,
- upoređeni dobijeni rezultati sa dostignućima ranijih modela i teorijskih proračuna,
- upoređeni dobijeni rezultati sa raspoloživim eksperimentalnim podacima,
- istaknut značaj veličina i rezultata čiji je uticaj po prvi put u literature razmatran.

U *zaključku* će se jezgrovito sumirati dobijeni rezultati i ukazati na njihovu važnost. *Literatura* će sadržati navode citirane u disertaciji, kao i radove nastale tokom izrade ove doktorske disertacije.

7. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu iznetih podataka Komisija smatra da je tema predložene doktorske disertacije **ABED ALKHEM ALKOASH "Silicijumski i silicijum-karbidni unipolarni tranzistori specifičnih geometrija"** naučno zasnovana i predlaže Nastavno-naučnom veću da je prihvati. Za mentora se predlaže dr Rajko Šašić, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Hemija i hemijska tehnologija za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova.

U Beogradu, 09. decembra 2013.

ČLANOVI KOMISIJE

Dr Rajko Šašić, redovni profesor
Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

Dr Boris Lončar, redovni profesor
Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

Dr Stanko Ostojić, vanredni profesor
Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

Dr Petar Lukić, vanredni profesor
Mašinski fakultet, Beograd

Dr Svetlana Pelemiš, docent
Tehnološki fakultet u Zvorniku,
Univerzitet u Istočnom Sarajevu