

**Наставно-научном већу
Технолошко-металуршког факултета
Универзитета у Београду**

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Abed Alkhem Alkoasha

Одлуком бр. 35/73 од 3.4 2014 године именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата mr Abed Alkhem Alkoasha под насловом

"Силицијумски и силицијум-карбидни униполарни транзистори специфичних геометрија"

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

Реферат

1. Увод

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

- **7.7.2013.** на Седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду, донета је одлука о именовању чланова Комисије за оцену, подобности теме и кандидата mr Abed Alkhem Alkoasha, дипл. физ. под насловом "Силицијумски и силицијум-карбидни униполарни транзистори специфичних геометрија".
- **26.12.2013.** На Седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду, донета је одлука о прихватању теме докторске дисертације под насловом „Силицијумски и силицијум-карбидни униполарни транзистори специфичних геометрија", а за ментора је именован Др Рајко Шашић, одл. бр. 35/436.
- **20.1.2014.** Веће области техничких наука доноси одлуку по којој даје сагласност на предлог теме „Силицијумски и силицијум-карбидни униполарни транзистори специфичних геометрија" кандидата mr Abed Alkhem Alkoasha, дипл. физ., одлука бр. 61206-118/2-14 од 20.1.2014.
- **3.4.2014.** на Седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, донета је одлука о именовању чланова Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом „Силицијумски и силицијум-карбидни униполарни транзистори специфичних геометрија" кандидата mr Abed Alkhem Alkoasha, дипл. физ., одлука бр. 35/73.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Хемија и хемијска технологија и ужој научној области Инжињерство

материјала за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Ментор је Др Рајко Шашић, ред. професор ТМФ за област Техничка физика и Физичка електроника, који је на основу досад објављених радова и искуства компетентан да руководи израдом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Mr Abed Alkhem-Sleman-Ahmed Alkoash рођен је 12.10.1969. у месту Сабрата у Либији. Основно универзитетско образовање стекао је на Универзитету у Сабрати, стекавши звање дипломираног физичара. На Државном Универзитету у Брну (Чешка), одбранио је 2006. године мастер рад из области електротехника са електроником. Од 2009. године, налази се на изради докторске дисертације на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду. Кандидат се служи енглеским, поред матерњег арапског.

2. Опис дисертације

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата mr Abed Alkhem Alkoasha, писана је на енглеском језику и садржи 132 стране формата А4, 50 слика, 2 табеле и 140 литературних навода. Докторска дисертација садржи следећа поглавља: Апстракт, (на српском и енглеском језику), Први део, Други део, Трећи део, Закључак, Литература и Прилози.

Прилози садрже изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије рада и изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља.

У Уводном делу описан је предмет докторске дисертације; изучаване су физичке појаве у униполарним транзисторима на бази силицијума и силицијум-карбида. Као примери специфичне геометрије, изучавани су: а) силицијумски цилиндрични транзистори са двоструким или окружујућим гејтом, б) силицијум-карбидни VDMOS транзистори са вертикалном дрифт-облашћу.

У Првом делу су изложене физичке основе функционисања униполарних транзистора уопште. Да би се упрошћено приказала расподела наелектрисања у направи, коришћен је модел наелектрисаних слојева (танких листова-charge sheet model) док је за подужни транспорт наелектрисања коришћен „дрифт-дифузиони” модел (испитиване направе нису прекратке), са различитим типовима транспортне карактеристике за силицијум. На крају првог дела, дат је осврт и на начин производње силицијумских униполарних транзистора.

Почетак другог дела, посвећен је силицијум-карбиду као обећавајућем материјалу за примене у робусним условима експлоатације. После изношења основних података о кристалној структури акценат је стављен на његове особине везане за транспорт наелектрисања и транспорт топлоте, при чему је истакнуто шта је оно што га фаворизује у односу на силицијум. На крају овог дела, изложене су и основе производње и раста кристала силицијум-карбида, као и израда омских контаката. У Другом делу овог поглавља описано је укључивање “дрифт-дифузионог” модела у различите нумеричке процедуре. Обрађене су Пуасонова једначина, једначине формирања струјног тока и једначина континуитета, а

укључени су и процеси генерације и рекомбинације носилаца, као и генерација носилаца ударном јонизацијом. Од самих нумеричких поступака, решавање дискретизованих једначина описана су два (Gumme Block Method i Newton Method).

Трећи део дисертације, посвећен је конкретном конкретном истраживању кандидата. Краћи део, посвећен је истраживању вертикалне области 4H-SiC VDIMOS-а поготово питању одређивања профила тока, као и последици овог истраживања на крајњи циљ, тј. струјно-напонску карактеристику. Дужи део овог поглавља, посвећен је кандидатовом истраживању цилиндричних униполарних транзистора на бази силицијума са окружујућим гејтом. Нађено је аналитичко решење Пуасонове једначине са једним слободним параметром, који омогућава да се објасни и моделује механизам уласка у засићење. На овај начин одређена концентрација носилаца наелектрисања, искоришћена је да се одреди струја дрејна у зависности од напона дрејн-сорс и гејт-сорс. Читав прорачун урађен је за случај недопираног узорка (тачније ненамерно допираног узорка), а обogaћен је узимањем у обзир деградације покретљивости носилаца наелектрисања услед поља гејта (за које се претпоставља да је велико због малог радијуса силицијумског супстрата-свега око 5 nm). На крају овој поглавља, проучен је утицај квантних ефеката на радијалну расподелу наелектрисања у оваквој направи.

У Закључку су укратко побројани резултати добијени у овој докторској дисертацији и истакнут њихов значај.

Поглавље Литература обухвата 140 референци и односи се на све делове дисертације.

3. Оцена дисертације

3.1. Савременост и оригиналност

Последњих петнаестак година проучавања транзистора са ефектом поља цилиндричне геометрије узима све више маха. Међу њима се посебно истичу они са двоструким (вишеструким) гејтом и окружујућим (кружно непрекидним) гејтом. Сматра се да они имају читав низ предности, као што су велика густина паковања ових компоненти на јединицу површине, умањени ефекти кратког канала, смањена потрошња енергије, побољшана контрола појава у каналу од стране гејта. Са друге стране, силицијум-карбидни вертикални униполарни транзистори (VDIMOS) омогућавају знатно веће напоне дрејн-сорс за исте вредности струје дрејна, него одговарајуће силицијумске направе захваљујући постојању “дрифт” области, али и веће вредности саме струје дрејна, захваљујући бољим термичким и транспортним својствима од силицијума. У проучавању свих ових направи, исказан је завидан ниво оригиналности, о чему сведочи приказ остварених научних доприноса.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији цитирано је 140 литературних навода, махом из последњих двадесетак година. Они обухватају како општу литературу, везану за функционисање униполарних транзистора, тако и најмодернија достигнућа, која се односе на цилиндричне униполарне транзисторе или силицијум-карбидне вертикалне MOS (VDIMOS) направе. Ови потоњи искоришћени су за поређење са резултатима прорачуна кандидата, што представља неизоставни део њихове верификације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У истраживањима у оквиру ове докторске дисертације за потребе формирања струјно-напонске карактеристике, расподела носилаца наелектрисања одређивана је решавањем Пуасонове једначине сматрајући да се они подвргавају Болцмановој расподели, што се показало као одговарајућа апроксимација. За опис самог транспорта, показао се довољним “дрифт-дифузиони” модел с обзиром на посматране дужине канала (“квази-балистички” и “балистички” транспорт, били би неопходни за направе са далеко краћим каналима од овде разматраних и у пракси најчешће сретаних).

За процену квантних ефеката на радијалну расподелу и носилаца уместо самосагласног решавања Шредингерове и Пуасонове једначине, коришћено је решавање квантне транспортне једначине у којој директно фигурише концентрација носилаца и Пуасонове једначине.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати истраживања изложени у овој дисертацији несумњиво ће проширити и систематизовати постојећа знања везана за силицијумске цилиндричне униполарне транзисторе и униполарне силицијум-карбидне униполарне транзисторе. Непосредна последица ће бити смањење броја параметара које треба без икаквог објашњења усаглашавати са експерименталним подацима. Са друге стране, добијени модели су довољно конкретни и једноставни да могу наћи своје место у побољшању симулације рада сложенијих електронских кола са посебним захтевима.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

У току израде докторске дисертације, кандидат је довољно оспособљен да самостално изврши одабир литературе релевантне за истраживање постављеног проблема, те да формира теоријски оквир и одабере и спроведе нумеричку методу. Кандидат је овладао вештинама неопходним за научно-истраживачки рад, критичку анализу и самосталну презентацију добијених резултата.

4. Остварени научни допринос

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Резултати истраживања спроведених током израде ове докторске дисертације представљају допринос разумевању физичких појава релевантних за функционисање испитиваних униполарних направа. Тај научни допринос је следећи:

- Нађено је аналитичко решење Пуасонове једначине, које садржи један слободан параметар, чијим се варирањем објашњавају различити режими рада направа.
- Егзактно је урачунат ефекат деградације покретљивости носилаца услед радијалног електричног поља и дискутован његов утицај на струјно-напонску карактеристику.

- Утврђено је да је утицај квантних ефеката на расподелу наелектрисања по попречном пресеку значајан и огледа се у "гурању" наелектрисања од периферије.
- Утврђено је да утицај квантних ефеката на израчунату струју дрејна није доминантан, кад се користи "дрифт-дифузиони" модел зато што се подужне густине наелектрисања рачунате класичним и квантним поступком не разликују исувише.
- Користећи принцип минимума дејства и анализирајући расподелу носилаца наелектрисања у "дрифт" области, егзактно је одређен њен профил (о чему досад није било речи у доступној литератури).

4.2. Критична анализа резултата истраживања

Предмет ове докторске дисертације су истраживања у области модерних униполарних транзистора како са аспекта одабира материјала, који се у њима користе, тако и са аспекта коришћене геометрије. Истраживање је делом било усмерено на боље разумевање њиховог функционисања, а делом на побољшање њихових перформанси.

4.3. Верификација научних доприноса

Из дисертације су досад објављена четири рада: два у истакнутим међународним часописима M22 и два у међународним часописима M23:

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=0.912, 2011.), **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*, vol. 89, br. 1, 2014 (IF=1.032, 2012.), ISSN 0031-8949 (Print), ISSN 1402-4896 (Online)

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, 2008.) 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, 2012.) ISSN: 1454-4164, ISSN: Print: 1842-6573

5. Закључак и предлог

Резултати истраживања у оквиру докторске дисертације mr Abed Alkhem Alkoasha, дипл. физ., значајно проширују постојећа знања о силицијумским цилиндричним униполарним транзисторима, као и силицијум-карбидним униполарним транзисторима

Прегледом докторске дисертације Комисија је константовала да поднесена докторска дисертација има све потребне садржаје и да је написана у складу са прихваћеним стандардима. Изложени материјал је добро организован, а предмет и циљ истраживања су јасно означени. Остварени резултати и допринос верификовани су одговарајућим бројем публикованих научних радова.

Комисија зато предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да прихвати овај Реферат и да се докторска дисертација mr Abed Alkhem Alkoasha, дипл. физ. под насловом "Силицијумски и силицијум-карбидни униполарни транзистори специфичних геометрија" прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научне области техничких наука Универзитета у Београду, те након завршене процедуре, позове кандидата на усмену одбрану докторске дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 12.5.2014.

Чланови Комисије:

Др Рајко Шашић, редовни професор, Технолошко-металуршки
факултет, Универзитет у Београду

Др Борис Лончар, редовни професор, Технолошко-металуршки
факултет, Универзитет у Београду

Др Станко Остојић, ванредни професор, Технолошко-металуршки
факултет, Универзитет у Београду

Др Петар Лукић, ванредни професор, Машински факултет,
Универзитет у Београду

Др Светлана Пелемиш, доцент, Технолошки факултет у Зворнику,
Универзитет у Источном Сарајеву