

Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата mr Imhimmad Abooda, дипл. инж. електротехнике

Одлуком бр. 35/295 од 03. 11. 2014. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата mr Imhimmad Alsadik Ali Abood-a, дипл. инж. електротехнике под насловом:

„Компоненте на бази силицијум-карбида у електронским колима велике снаге“

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

- **26.6.2014.** кандидат mr Imhimmad Alsadik Ali Abood, дипл. инж. електротехнике пријавио је тему докторске дисертације под насловом „Компоненте на бази силицијум-карбида у електронским колима велике снаге“ а Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду усвојило је састав Комисије за оцену научне заснованости предложене теме.
- **6.10.2014.** на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду, донета је одлука о одобравању предлога теме докторске дисертације mr Imhimmad Alsadik Ali Abood-a, дипл. инж. електротехнике под називом „Компоненте на бази силицијум-карбида у електронским колима велике снаге“ а за ментора ове докторске дисертације именован је др Рајко Шашић, редовни професор ТМФ-а (Одлука бр. 35/256)."
- **20.10.2014.** на седници Већа научне области техничких наука Универзитета у Београду, дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације mr Imhimmad Alsadik Ali Abood-a, дипл. инж. електротехнике под називом „Компоненте на бази силицијум-карбида у електронским колима велике снаге“ (Одлука бр. 35/295)."
- **3.11.2014** на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, донета је одлука о именовању чланова Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације mr Imhimmad Alsadik Ali Abood-a, дипл. инж. електротехнике под називом „Компоненте на бази силицијум-карбида у електронским колима велике снаге“ .

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Хемија и хемијска технологија, ужа научна област Инжењерство материјала за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Ментор др Рајко Шашић, ред. професор ТМФ-а је досад објавио тридесетак радова из ове области у часописима са SCI листе, руководио израдом једне одбрањене докторске дисертације и био члан три комисије одбрањених докторских дисертација.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Mr Imhimmad Alsadik Ali Abood, дипл. инж. електротехнике, рођен је 1966. године у месту Гахриан у Либији, где је завршио и основне студије електротехнике 1989. године. Мастер студије из области Електротехника окончао је 2006. године одбраном мастер тезе на Електротехничком факултету Универзитета у Будимпешти. Од септембра 2010. године, налази се на изради докторске дисертације на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду. За то време кандидат је био коаутор три рада објављена у часописима са SCI листе, 2 категорије М 22 и једна категорије М23.

2. Опис дисертације

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата mr Imhimmad Alsadik Ali Abood-а, дипл. инж. електротехнике садржи 133 странице у оквиру којих се налази 5 поглавља са укупно 49 слика, 12 табела и 174 литературна навода. Наведених 5 поглавља носе називе: Увод, Кратка историја силицијум-карбида, Општа теорија униполарних транзистора, Математичко моделовање вертикалних транзистора на бази силицијум-карбида, Закључак. Поред тога дисертација садржи изводе на српском и енглеском језику.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља.

У Уводном делу, описан је предмет докторске дисертације: проучавање су физичке појаве у униполарним транзисторима на бази силицијум-карбида, посебно оне појаве које га чине перспективним за примену у уређајима, где се ослобађа велика снага.

Прво поглавље посвећено је особинама силицијум-карбида. Проучена је детаљно његова кристална структура са посебним освртом на особине, релевантне за транспорт носилаца у њему (широк енергетски процеп, висока вредност пробојног електричног поља, висока вредност брзине носилаца у засићењу, као и висока термална проводност). Дат је и осврт на ексклузивне примене силицијум-карбидних направа (високи радни напони, високе радне температуре, високофреквентна примена). На самом крају овог поглавља, обрађени су и дефекти у силицијум-карбиду.

Друго поглавље посвећено је проучавању неких ефеката, који су присутни код силицијум-карбидних униполарних транзистора, али их нема у униполарним транзисторима на бази других материјала (ефекат квазизасићења, ефекат самозагревања, ефекат ударне јонизације). Посебна пажња посвећена је проучавању покретљивости носилаца и формирању одговарајућих модела

(покретљивост при слабиим пољима, покретљивост при јаким пољима, појава анизотропије). Поред тога, проучена је и отпорност омских контаката.

Трећи део посвећен је опису једног представника униполарних транзистора на бази силицијум-карбида (VDIMOS). Ова посебна структура (вертикални двоструко имплантирани MOS) састоји се из вертикалног дела који називамо дрефт-облашћу и два хоризонтална (класична) канала који се на њу при врху настављају. Изложен је постојећи струјно-напонски модел овакве направе и јасно побројани његови недостаци.

Четврти део посвећен је доприносу самог кандидата овој проблематици. Највећа пажња посвећена је проучавању вертикалне дрефт-области, као и усаглашавању модела струјно-напонске карактеристике ове области са одраније познатим моделом струјно-напонске карактеристике два хоризонтална (класична) MOSFETа. Резултат тог разматрања је прецизан модел струјно-напонске карактеристике читаве направе.

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

Поглавље Литература обухвата 174 референце и односи се на све делове дисертације.

3. Оцена дисертације

3.1. Савременост и оригиналност

Последњих десетак година називају се ером силицијум-карбида кад су у питању електронске направе велике снаге. Њихова примена је неизбежна у ситуацијама кад се очекују високе радне температуре, високи напони (односно врло јака електрична поља), те врло велике дисипиране снаге. Такви захтеви се јављају у војној индустрији, експлоатацији руда и сличним робусним условима. Захваљујући постојању вертикалне дрефт-области дозвољени су велики падови напона при не тако великим вредностима струје направе, што и читаву дисипацију снаге држи под контролом. Томе значајно доприносе супериорне транспортне особине силицијум-карбида у односу на силицијум. У проучавању ових направа у оквиру ове докторске дисертације показан је значајан степен оригиналности, о чему сведочи приказ остварених научних доприноса.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У оквиру ове докторске дисертације цитирана су укупно 174 литературна навода. Неке од ових референци традиционално се сматрају “класицима” изучаване области и махом су старе 15-20 година. Постоје и оне модерније референце, махом из последњих 5-10 година, које су послужиле или као инспирација за рад кандидата или као извор експерименталних података за верификацију резултата које је кандидат у раду постигао.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Истраживање појава у дрефт-области VDIMOSa почело је решавањем Пуасонове једначине, прво у једнодимензионалном облику, а касније и дводимензионом. С обзиром на димензије дрефтовске области довољним се показао дрефт-дифузиони модел описа транспорта. За сам опис транспорта носилаца у силицијум-карбиду коришћена је модернизована верзија $v(E)$

транспортне карактеристике која уз помоћ једног додатног параметра прецизније описује област електричних поља средње јачине. За опис транспорта у хоризонталним каналима конвенционалних MOSFET-ова коришћени су модели струјно-напонске карактеристике раније добијени у оквиру исте групе истраживача.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати истраживања обављених током израде ове докторске дисертације обогатиће разумевање појава везаних искључиво за направе веће снаге на бази силицијум-карбида (квазизасићење, ефекат самозагревања, утицај ударне јонизације). Они су, такође, омогућили формирање бољих и прецизнијих израза за струјно-напонску карактеристику VDIMOS-а који се лакше од претходних укључују у анализу сложенијих електронских кола велике снаге.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

У току израде докторске дисертације, кандидат је у највећој мери оспособљен за самостално истраживање постављеног проблема, формирање теоријског оквира, те одабир и спровођење одговарајуће нумеричке методе. Такође је оспособљен да самостално изврши одабир релевантне литературе, те критички анализира и самостално презентира добијене резултате.

4. Остварени научни допринос

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Резултати истраживања спроведених током израде ове докторске дисертације који представљају релевантан научни допринос проучавању, моделовању и реализацији силицијум-карбидних VDIMOS-а јесу:

- Нађено је аналитичко решење једнодимензионе и дводимензионе Пуасонове једначине које довољно прецизно описује расподелу потенцијала у дрефт-области VDIMOS-а.
- Коришћењем побољшане $v(E)$ транспортне карактеристике, која прецизније описује транспорт носилаца у области електричних поља средње јачине, конструисан је детаљнији облик струјно-напонске карактеристике целе направе.
- Детаљно је проучен утицај анизотропности релевантних физичких особина силицијум-карбида на функционисање проучаваних направа, махом на положај и облик струјно-напонске карактеристике.
- Подробно је проучен и објашњен ефекат квазизасићења који је карактеристичан за силицијум-карбидни MOSFET. Проучен је и узајамни однос струјног засићења дрефт-области VDIMOS-а и засићења струје конвенционалних латералних MOSFET-ова са хоризонталним каналима.
- Коришћењем принципа минималног дејства истражени су енергетски аспекти формирања струјног тока у дрефтовској области VDIMOS-а. Показано је да ће се пре формирати троделна него дводелна област струјног тока.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације конципирана су након свеобухватне анализе података доступних у литератури који се тичу силицијум-карбидних направа. Без обзира на обиље литературних навода, запажено је да су објашњења неких појава врло оскудна те да у одговарајућим моделима постоји велики број параметара чије се вредности не прорачунавају, већ одређују директним усаглашавањем са експерименталним подацима. Стога је циљ рада био да се недовољно објашњене појаве расветле, а број горе поменутих параметара редукује у највећој могућој мери.

4.3. Верификација научних доприноса

Из докторске дисертације кандидата mr Imhimmad Alsadik Ali Abood-a, дипл. инж. електротехнике, досад су објављена три рада у часописима са SCI листе: два у истакнутом међународном часопису (M22) и један у међународном часопису (M23):

Рад у истакнутом међународном часопису - M22

1. Imhimmad Alsadik Ali Abood, Šašić Rajko M., Ostojic Stanko M., Lukić Petar M., “Analytical Model for Drift Region Voltage Drop in 4H-SiC Vertical Double Implanted Metal Oxide Semiconductor Field - Effect of Anisotropy” *Japanese Journal Of Applied Physics*, Vol. 52, No. 9, Iss. 1, September (2013), ISSN: 0021-4922/IF 1,067 (2012) M22
2. Stanko M. Ostojić, Rajko M. Šašić, Petar M. Lukić and Imhimmad Abood, “Surrounding Gate Long-Channel Nanowire MOSFET Modelling-Extended Analysis”, *Physica Scripta*, Vol. 89, No. 11 (2014) ISSN: 1402-4896 (Online) 0031-8949 (Print) IF=1,296 (2013) M22

Рад у међународном часопису - M23

1. Imhimmad Alsadik Ali Abood, Lukić Petar M., Šašić 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, Iss. 5-6 (2013), ISSN: Print: 1842-6573/IF 0,453 (2012) M23

5. Закључак и предлог

Резултати истраживања у оквиру докторске дисертације *mr Imhimmad Alsadik Ali Abood-a*, дипл. инж. електротехнике представљају значајан допринос постојећим знањима о униполарним транзисторима на бази силицијум-карбида, било да је у питању проучавање физичких појава у њима, њихово моделовање или примена у електронским колима велике снаге.

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

Комисија зато предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да прихвати овај Реферат и да се докторска дисертација *mr Imhimmad Alsadik Ali Abood-a*, дипл. инж. електротехнике под насловом „Компоненте на бази силицијум-карбида у електронским колима велике снаге" прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научне области техничких наука Универзитета у Београду, те да након завршене процедуре позове кандидата на усмену одбрану докторске дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 10.12.2014.

Чланови Комисије:

Др Рајко Шашић, редовни професор
Технолошко-металуршког факултета
Универзитета у Београду

Др Борис Лончар, редовни професор
Технолошко-металуршког факултета
Универзитета у Београду

Др Станко Остојић, ванредни професор
Технолошко-металуршког факултета
Универзитета у Београду

Др Петар Лукић, ванредни професор
Машинског факултета
Универзитета у Београду

Др Небојша Ромчевић, научни саветник
Института за физику
Универзитета у Београду