

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ
НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

ПРЕДМЕТ: Реферат о завршеној докторској дисертацији **Дејана Николића**, магистра електротехничких наука

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду број 91/4 од 11.06.2015. године именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Дејана Николића, магистра електротехничких наука, под насловом:

„Утицај сукцесивног озрачивања фотонапонских детектора гама и неутронским зрачењем на њихове карактеристике“

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

Кандидат Дејан Николић, магистар електротехничких наука, поднео је захтев за пријаву теме докторске дисертације 02.12.2014. године под бројем 3110/1 на Катедри за физику и електротехнику Машинског факултета Универзитета у Београду. Кандидат је за ментора предложио проф. др Александру Васић-Миловановић. На основу сагласности Катедре за физику и електротехнику бр. 3262/1 од 22.12.2014. године, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду донело је 25.12.2014.године Одлуку бр. 3262/2 о формирању комисије за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације у саставу проф. др Александра Васић-Миловановић (ментор), проф. др Добрила Шкатарић, проф. др Петар Лукић, проф. др Предраг Маринковић, Електротехнички факултет Београд и доцент др Милош Вујисић, Електротехнички факултет, Београд.

Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације је 21.05.2015. године поднела Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду извештај бр. 91/1 о испуњености услова за израду докторске дисертације, као и о научној заснованости теме. Комисија у извештају предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да одобри тему докторске дисертације под радним називом **„Утицај сукцесивног озрачивања фотонапонских детектора гама и**

неутронским зрачењем на њихове карактеристике“ наводећи да кандидат испуњава законске и друге услове за рад на докторској дисертацији, као и да је предложена тема адекватна да буде предмет докторске дисертације. Одлуком Наставно-научног већа бр. 91/2 од 05.02.2015. год. прихвата се предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације под називом: **„Утицај сукцесивног озрачивања фотонапонских детектора гама и неутронским зрачењем на њихове карактеристике“**, кандидата Дејана Николића, магистра електротехничких наука, а за ментора дисертације именована је проф. др Александра Васић-Миловановић.

На основу Захтева за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације, упућеног од стране Машинског факултета у Београду, Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, донело је Одлуку број 61206-617/2-15 од 09.03.2015. године којом даје сагласност на предложену тему докторске дисертације. На основу добијене сагласности, Декан Машинског факултета доноси Закључак бр. 499/1 од 10.03.2015. године, којим се одобрава рад на теми докторске дисертације **„Утицај сукцесивног озрачивања фотонапонских детектора гама и неутронским зрачењем на њихове карактеристике“**, кандидата Дејана Николића, магистра електротехничких наука, а за ментора дисертације именована је проф. др Александра Васић-Миловановић.

О завршетку докторске дисертације кандидата Дејана Николића, магистра електротехничких наука, под називом: **„Утицај сукцесивног озрачивања фотонапонских детектора гама и неутронским зрачењем на њихове карактеристике“** и предлогу Комисије за оцену и одбрану, ментор проф. др Александра Васић-Миловановић обавестила је Катедру за физику и електротехнику, а Катедра дописом бр. 91/3 од 29.05.2015. год. Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду. Предложена је Комисија за оцену и одбрану рада у саставу: проф. др Александра Васић-Миловановић (ментор), проф. др Добрила Шкатарић, проф. др Петар Лукић, проф. др Предраг Маринковић, Електротехнички факултет Београд и доцент др Милош Вујисић, Електротехнички факултет, Београд.

На основу наведеног дописа Наставно-научно веће је на седници од 11.06.2015. године донело одлуку бр. 91/4 којом је усвојило предлог Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације.

1.2 Научна област дисертације

Докторска дисертација под називом **„Утицај сукцесивног озрачивања фотонапонских детектора гама и неутронским зрачењем на њихове карактеристике“** припада области техничких наука, ужој научној области Техничка физика, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду.

1.3 Биографски подаци о кандидату

Дејан Николић је рођен 06.08.1974. године у Београду. Основну школу је завршио у Брчком 1989. године. Завршио је XI Београдску гимназију 1993. године.

Школске 1994/95. је уписао Електротехнички факултет Универзитета у Београду. На Електротехничком факултету је дипломирао 26.02.2001. године, на одсеку Енергетском, смер за Електроенергетске системе, са дипломским радом на тему “АББ системи за надзор и

управљање елементима ЕЕС”. Редовне студије је завршио са средњом оценом 7,74, а на дипломском раду је добио оцену 10.

Школске 2002/2003. године уписао је и похађао постдипломске студије на Електротехничком факултету у Београду - област Мерења у електротехници. Магистрирао је 01.09.2005. године са магистарским радом на тему “Иреверзибилно понашање пробјојног напона изолационих уља”. Испите предвиђене Наставним планом и програмом магистарских студија положио је са просечном оценом 9,83.

Од 2001. године је запослен у ЈУ Техничка школа Брчко као наставник електротехничке групе предмета. У периоду од 2009. до 2013. године у истој школи је био заменик директора.

На Филозофском факултету у Бањој Луци је 2002. положио стручни испит прописан Правилником о полагању стручног испита наставника, стручних сарадника и васпитача. У оквиру стручног испита положио је: практичан рад са методиком струке, усмени испит из Педагогије и Психологије, усмени испит из основа уставног уређења Републике Српске и усмени испит из прописа из области васпитања и образовања.

Пред Комисијом за полагање испита за рад у органима управе Владе Брчко дистрикта БиХ је 21.08.2008. положио испит за рад у органима управе.

На Факултету електротехнике Универзитета у Тузли је 2003. године похађао Обуку кадрова из програмског С језика, у трајању од 42 сата, након чега је приступио испиту којег је са успехом положио.

На 27. Саветовању ЈУКО ЦИГРЕ на Златибору одржаном од 29.05.2005. до 03.06.2005. је објавио научни рад на тему “Поузданост стандарда IEC 156 (JUS N.A5.014) за одређивање вредности пробјојног напона електроизолационог уља” који је оцењен као најзапаженији из домена рада студијског комитета Материјали и савремене технологије.

У организацији Међународног комитета Црвеног крста из Женеве, у периоду од 2005. до 2006. године је завршио Едукациони програм из Истраживања хуманитарног права и стекао звање Тренер из области Истраживање хуманитарног права. Од тада је водио већи број едукационих програма, семинара и тренинга из ове области у свим државама бившим републикама СФРЈ.

У периоду од 2010. до 2013. године у организацији Педагошке институције у Одјељењу за образовање Владе Брчко дистрикта БиХ је похађао програм едукације директора и помоћника директора образовних институција Брчко дистрикта БиХ на тему Менаџмент у образовању.

Од 2008. године на научно истраживачком плану његова област интересовања је утицај зрачења на полупроводничке фотонапонске детекторе.

Аутор је и коаутор више научних и стручних публикација у часописима домаћег и међународног карактера.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1 Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Дејана Николића, магистра електротехничких наука, под насловом „Утицај сукцесивног озрачивања фотонапонских детектора

гама и неутронским зрачењем на њихове карактеристике“ је документ формата А4, штампан једнострано, са текстом на српском језику на 176 нумерисаних страна и 7 уводних страна. Дисертација садржи укупно седам нумерисаних поглавља и Прилог као последњу, ненумерисану целину. Дисертација садржи следеће делове:

Предговор

Резиме

Садржај

1. Увод

2. Фотонапонски детектори

3. Радијациони ефекти у фотонапонским детекторима

4. Експеримент

5. Резултати и дискусија

6. Закључак и правци даљег истраживања

7. Литература

Прилог (укупно 4 прилога)

Биографија аутора

Текст дисертације је илустрован са 56 слика, садржи 48 табела и 30 једначина. У попису коришћене литературе кандидат је навео 112 референци. У прилогу се налази 109 дијаграма.

2.2 Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу „Увод“ дате су основне напомене о проблемима који се јављају код фотонапонских детектора као последица озрачивања. Истакнуто је да је предмет истраживања у оквиру овог доктората усмерен на посматрање ефеката које на фотонапонским детекторима (конкретно ПИН фотодиодама, фототранзисторима и соларним ћелијама) изазивају повећано гама и неутронско зрачење примењено појединачно а посебно у случају када те две врсте зрачења делују сукцесивно. Пажња у дисертацији је управо усмерена на приказ понашања фотонапонских детектора у условима сукцесивног деловања гама и неутронског зрачења и промена које се у том случају јављају на њиховим излазним карактеристикама. Презентовани закључци су верификовани кроз сопствена експериментална истраживања која су саставни део ове дисертације. Дефинисан је научни циљ дисертације који подразумева систематски приказ утицаја гама и неутронског зрачења на фотонапонске детекторе и разматрање могућности смањења негативних ефеката зрачења на фотодетекторима. План истраживања и структура рада засновани су на полазним хипотезама и очекиваном научном доприносу.

У другом поглављу „Фотонапонски детектори“ су дате теоријске основе фотонапонских детектора коришћених у дисертацији. Теоријске основе су дате кроз цитате из познате стране и домаће литературе наведене у референцама. Друго поглавље се састоји од четири подпоглавља. У првом подпоглављу су детаљно описани процеси апсорпције и емисије светлости у фотонапонским детекторима. Опис ових процеса је илустрован сликама и дијаграмима. У наредна три су описани конструкција, принцип рада и основне

карактеристике фотодиода, фототранзистора и соларних ћелија. Принцип рада и основни параметри ових фотонапонских детектора је пропраћен одговарајућим једначинама и дијаграмима.

Наслов трећег поглавља је „Радијациони ефекти у фотонапонским детекторима“ и представља детаљну анализу ефеката које зрачење изазива на полупроводничким светлосним детекторима кроз навођење познатих теорија (из стране и домаће литературе) о настанку зрачења и њиховом утицају на полупроводнике. Треће поглавље се састоји од четири подпоглавља. У првом је описана интеракција зрачења са средином кроз теорију судара. У другом и трећем подпоглављу је представљено деловање гама и неутронског зрачења на фотонапонске детекторе, респективно. У четвртом подпоглављу је дат опис опоравка полупроводничког материјала после зрачења примењеног на њему.

Четврто поглавље „Експеримент“ детаљно представља компоненте над којима је вршено истраживање и саме кораке истраживања. У првом делу овог поглавља су таксативно наведени сви фотонапонски детектори који су озрачивани (ПИН фотодиоде, фототранзистори, соларни панели) и дати су њихови основни подаци. Други део представља опис самог озрачивања кроз приказ врста и типа уређаја (извора зрачења) којима је вршено озрачивање. Такође су наведени основни подаци о гама и неутронском зрачењу којима су подвргнути узорци.

Пето поглавље представља приказ резултата добијених у току истраживања и дискусију истих. Пето поглавље се састоји од пет подпоглавља. Прва два подпоглавља приказују резултате озрачивања фотонапонских детектора појединачним зрачењем, у првом гама зрацима а у другом неутронима. У трећем и четвртом подпоглављу су приказани резултати сукцесивног озрачивања фотонапонских детектора гама и неутронским зрачењем, и то треће подпоглавље приказује случај када су узорци били озрачени најпре гама а затим неутронским зрачењем док четврто подпоглавље приказује обрнуту ситуацију (прво неутронско а затим гама зрачење). Сви резултати су представљени у форми табела и дијаграма. У последњем делу петог поглавља дати су резултати Monte Carlo симулације проласка гама фотона и неутрона кроз фотодиоде и фототранзисторе. Ова симулација је урађена са циљем расветљавања реакција насталих у полупроводнику између две врсте озрачивања.

Шесто поглавље се односи на закључке докторске дисертације, практичну корист и предлоге даљих истраживања. У оквиру закључних разматрања сажето су приказани резултати теоријских и експерименталних истраживања и њихов значај са позиције експлоатације фотонапонских детектора у условима појачаног зрачења, како појединачног тако и сукцесивног озрачивања различитим врстама зрачења.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1 Савременост и оригиналност

Докторска дисертација „Утицај сукцесивног озрачивања фотонапонских детектора гама и неутронским зрачењем на њихове карактеристике“ кандидата Дејана Николића, магистра електротехничких наука, представља савремен и оригиналан приступ и допринос савременим методама проучавања утицаја гама и неутронског зрачења на полупроводничке фотодетекторе. Иако постоји велики број радова на тему радијационих оштећења полупроводничких материјала, истраживање је од изузетног значаја јер омогућава расветљавање могућих облика понашања фотонапонских детектора као одговор на њихово озрачивање, нарочито имајући у виду да се они често налазе у комплексним условима средине с обзиром на то да је једна од њихових основних примена у свемирским станицама. Оригиналност у приступу решавања проблема и добијених резултата у оквиру дисертације потврђују радови који су публиковани и саопштени на научним скуповима или објављени у часописима. Дисертација се може оценити веома успешном, узевши у обзир да су дискусију и добијене резултате у тези пратили зрели научни и инжењерски закључци.

У дисертацији је коришћен савремени приступ моделовања стања полупроводничког материјала након озрачивања кроз Monte Carlo симулацију транспорта гама фотона и неутрона кроз полупроводник.

3.2 Осврт на референтну и коришћену литературу

Међу укупно 112 цитираних публикација налази се 71 научни рад објављен у реномираним међународним часописима а 57 референци је млађе од 10 година. Коришћена литература обухвата: домаће и међународне научне часописе, уџбенике, домаће и међународне конференције. Кандидат је детаљно проучио литературне изворе који су му послужили као полазна основа за формирање прегледа тренутног стања у вези са постојећим истраживањима у области истраживања на коју се дисертација односи. На тај начин кандидат је дао критички осврт на најважније резултате релевантних аутора и приказ постојећег стања у областима којима припадају проблеми решени у докторској дисертацији. При томе, коришћена литература представља избор савремене и актуелне литературе која осим прегледа постигнутих резултата указује на могуће правце даљег научног рада у подручју утицаја зрачења на полупроводнике и оштећења насталих услед радијације.

3.3 Опис и адекватност примењених научних метода

Примењене методе у овом раду одговарају методологији истраживања из области радијационе отпорности материјала. Како је коришћен велики број узорака различитог типа фотонапонских детектора, истраживање је засновано на репрезентативном узорку и методама компарације тако да се резултати истраживања могу генерализовати. Изабране методе су адекватне за проблематику истраживања и правилно су коришћене у фази развијања теоријских модела, анализи резултата и при извођењу релевантних закључака.

Истраживање ефеката сукцесивног озрачивања фотонапонских детектора је извршено и експериментално, на стварним комерцијално доступним детекторима, и теоријски, кроз Monte Carlo симулацију транспорта гама фотона и неутрона кроз полупроводнички материјал детектора. Резултати добијени теоријским приступом су потврдили веродостојност експерименталних и заједно с њима дали комплетну слику дефеката насталих у фотодетекторима услед зрачења.

3.4 Применљивост остварених резултата

Истраживања спроведена током израде дисертације представљају добру основу за даљи рад на проучавању утицаја сукцесивног озрачивања фотонапонских детектора на њихове карактеристике. Како се фотодетектори у основи састоје од р-п спојева то се резултати истраживања могу применити и на све остале полупроводничке компоненте базиране на р-п споју.

Истраживање је показало да се сукцесивним озрачивањем фотодетектора могу делимично поништити негативни ефекти претходног зрачења односно могуће је поправити електричне излазне карактеристике тих уређаја. Ово даје могућност репарације детектора оштећених зрачењем посебно у условима где није могуће оштећени детектор брзо и ефикасно заменити новим.

3.5 Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде докторске дисертације показао да је у стању да самостално решава научне проблеме и да влада научним и истраживачким методама. Поседује широко стручно и теоријско знање потребно за даљи научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1 Приказ остварених научних доприноса

Докторска дисертација „**Утицај сукцесивног озрачивања фотонапонских детектора гама и неутронским зрачењем на њихове карактеристике**“ је настала као плод вишегодишњег истраживачког рада везаног за деловање зрачења на фотонапонске детекторе и ефекте који се јављају на њиховим излазним карактеристикама. Остварени научни допринос дисертације је вишеструк и огледа се у следећем:

- Дат је прегледан и детаљан приказ научних и емпиријских сазнања релевантних за област истраживања.
- Дефинисан је модел понашања полупроводничких фотонапонских детектора у условима сукцесивног деловања две различите врста зрачења, у првом случају најпре гама а затим неутронског а у другом обрнуто (прво неутронско а затим гама зрачење). Модел понашања је дефинисан са расположивим и сопственим експерименталним резултатима.

Сопствени експерименти су спроведени на комерцијално доступним фотонапонским детекторима: pin фотодиодама, фототранзисторима и соларним панелима.

- Одређен је степен опоравка полупроводничких фотонапонских детектора од гама и неутронског зрачења након периода од 30 дана на собној температури.
- Систематски је приказан утицај гама и неутронског зрачења на полупроводничке фотодетекторе и процеси који се након зрачења дешавају у p-n споју.
- Извршена је верификација компатибилности теоријских модела дејства гама фотона и неутрона на p-n спојеве са резултатима Monte Carlo симулације проласка ових честица кроз p-n спој. Резултати нумеричке симулације су упоређивани са резултатима експерименталних испитивања фотонапонских детектора.
- Разматране су могућности делимичне репарације полупроводничких фотодетектора оштећених гама и неутронским зрачењем.

У току истраживања доказане су основне хипотезе које се односе на слабији опоравак од зрачења фототранзистора у односу на фотодиоде и соларне ћелије, већу радијациону отпорност соларног панела у односу на појединачну соларну ћелију, фотодиоду и фототранзистор и на ефекте које сукцесивно озрачивање гама и неутронским зрачењем изазива на фотонапонске детекторе.

4.2 Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа литературе и сагледавања постојећих решења из научне области дисертације, констатујемо да су решења добијена у тези оригинална и значајна, те да су применљива у пракси. Такође, на основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у дисертацији, можемо закључити да су пружени одговори на сва битна питања и решени проблеми са којима се кандидат сусрео у току истраживања.

4.3 Верификација научних доприноса

Доприноси докторске дисертације су верификовани кроз следеће радове које је кандидат објавио у међународним и домаћим часописима а који су резултат истраживања у оквиру дисертације:

Радови објављени у научним часописима међународног значаја:

Рад у врхунском међународном часопису (M21)

1. **Dejan Nikolić**, Kovicljka Stanković, Ljubinko Timotijević, Zoran Rajović and Miloš Vujisić: *Comparative Study of Gamma Radiation Effects on Solar Cells, Photodiodes and Phototransistors*, International Journal of Photoenergy, Vol. 2013, Article ID 843174, 6 pages, 2013 (IF=2,663)

2. Biljana Simić, **Dejan Nikolić**, Koviļjka Stanković, Ljubinko Timotijević and Srboljub Stanković: *Damage Induced by Neutron Radiation on Output Characteristics of Solar Cells, Photodiodes and Phototransistors*, International Journal of Photoenergy, Vol. 2013, Article ID 582819, 6 pages, 2013 (IF=2,663)

Рад у водећем међународном часопису (M22)

1. **Dejan S. Nikolić**, Aleksandra I. Vasić, Djordje R. Lazarević and Marija D. Obrenović: *Improvement Possibilities of the I-V Characteristics of PIN Photodiodes Damaged by Gamma Irradiation*, Nuclear Technology & Radiation Protection, Vol. 28, No. 1, pp. 84-91, 2013 (IF=1,000)

Рад у међународном часопису (M23)

1. **D. Nikolić**, A. Vasić-Milovanović, M. Obrenović, E. Dolićanin: *Effects of successive gamma and neutron irradiation on solar cells*, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol. 17, No. 3-4, pp. 351-356, 2015 (IF=0,563)

Часопис међународног значаја верификован посебним одлукама (M24)

1. **Dejan Nikolić**, Aleksandra Vasić-Milovanović: *Comparative Study of Gamma and Neutron Irradiation Effects on the Silicon Solar Cells Parameters*, FME Transactions, прихваћен рад за штампу

Рад у научном часопису (M52)

1. **D. Nikolić**, A. Vasić, I. Fetahović, K. Stanković, P. Osmokrović: *Photodiode behavior in radiation environment*, Scientific Publications of the State University of Novi Pazar Series A, Vol. 3, No. 1, pp. 27-34, 2011.
2. **D. Nikolić**, A. Vasić, E. Dolićanin, K. Stanković, P. Osmokrović: *Unexpected Irreversible Changes of Photodiode Structure due to Multiple Gamma Irradiation*, Scientific Publications of the State University of Novi Pazar Series A, Vol. 2, No. 1, pp. 45-52, 2010.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа докторске дисертације од стране Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под називом „Утицај сукцесивног озрачивања фотонапонских детектора гама и неутронским зрачењем на њихове карактеристике“ кандидата Дејана С. Николића, магистра електротехничких наука, Комисија за оцену и одбрану констатује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима у научно истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, стандардима и Статутом Машинског факултета у Београду.

На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији и чињенице да је анализирана проблематика веома актуелна у научној јавности, констатује се да је кандидат Дејан Николић, магистар електротехничких наука, успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања. Кандидат је дошао до оригиналних резултата у погледу ефеката које у фотонапонским детекторима изазивају гама и неутронско зрачење када се примењују појединачно а посебно у случају сукцесивног озрачивања овим двама врстама зрачења. Резултати су верификовани и кроз сопствена експериментална истраживања, што им обезбеђује велику применљивост у овој атрактивној и важној области како за инжењерску праксу тако и за научна истраживања. Научна и стручна јавност је упозната са резултатима истраживања у периоду 2010-2015. године публикавањем два рада у врхунском међународном часопису, једног рада у водећем међународном часопису, једног рада у међународном часопису, једног рада у часопису међународног значаја верификованог посебним одлукама и два рада у научном часопису.

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације закључила је да дисертација представља оригинални научни рад са научним доприносом у области техничких наука, ужа научна област Техничка физика, па сагласно томе предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидату Дејану Николићу, магистру електротехничких наука, одобри одбрану докторске дисертације под називом **„Утицај сукцесивног озрачивања фотонапонских детектора гама и неутронским зрачењем на њихове карактеристике“** када се за то стекну законски услови, пред комисијом у истом саставу.

У Београду, 16.06.2015. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Александра Васић-Миловановић, редовни професор, ментор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Добрила Шкатарић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

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

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

др Милош Вујисић, доцент
Универзитет у Београду, Електротехнички факултет