

UNIVERZITET CRNE GORE

PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

Vijeću Prirodno-matematičkog fakulteta

PREDMET: Ocjena o podobnosti magistarske teze i kandidata Miloša Manojlovića, dipl. fizičara

Na LXXII sjednici Vijeća Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta Crne Gore, održanoj 19.11.2021, imenovana je komisiju i mentor za ocjenu podobnosti magistarske teze pod radnim nazivom: „**Karakterizacija detektora sa lavinskim efektom niskog pojačanja brzim jonskim snopovima**” kandidata Miloša Manojlovića, diplomiranog fizičara. Uvidom u priloženu dokumentaciju komisija Vijeću podnosi sljedeći

Izvještaj

Biografija kandidata:

Miloš Manojlović je rođen u Cetinju 1997. Završio je Osnovnu školu „Stefan Mitrov Ljubiša” i Srednju školu „Danilo Kiš” u Budvi kao odličan učenik. Školovanje je nastavio na Univerzitetu Crne Gore, na Prirodno-matematičkom fakultetu, studijski program Fizika. Tu je stekao diplomu osnovnih studija, a specijalistički rad pod nazivom „Mjerenja i simulacija signala LGAD detektora” odbranio je 30.9.2019. na matičnom fakultetu. Bio je CERN ljetnji student u julu 2019. godine, Fellow u IAEA-CERN kolaboraciji za potrebe SEEIST projekta od maja do oktobra 2021. i dva puta dobitnik CEEPUS stipendije za potrebe izrade magistarskog rada na Institutu Ruđer Bošković u Zagrebu. Stručno se osposobljavao u Fondaciji za promovisanje nauke – PRONA i radio u srednjoj školi Danilo Kiš kao nastavnik fizike. Govori engleski jezik. Član je naučne kolaboracije CERN RD50.

Predmet istraživanja:

Dosadašnja istraživanja LGAD detektora podrazumijevala su ispitivanje njihovih svojstava TCT tehnikom (eng. Transient Current Technique). U okviru ovoga rada ispitivala bi se pogodnost upotrebe jonskih snopova u cilju mapiranja ovog senzora, umjesto, do sada, mnogostruko češće korištenih laserskih snopova. Prednost tehnike planirane za izradu ovoga rada je ta što je podešavanjem upadne energije snopa moguće ispitivati transportna svojstva detektora po dubini. Predmet istraživanja je dvojak: 1. Ispituje se efikasnost kolekcije naelektrisanja u neoštećenom detektoru, a zatim ispituje propadanje efikasnosti kolekcije naelektrisanja oštećenog detektora; 2. Mjeri se rastojanje između segmenata detektora, među kojima je neaktivna oblast (bez multiplikacije), na uzorcima sa geometrijom od četiri segmenta poredanih u prostoru u dvije vrste i dvije kolone (2x2). U zavisnosti od energije i tipa jona kojima se vrši ozračivanje, računaće se efektivno rastojanje među segmentima detektora koristeći mape reprezentacije el. polja u detektoru.

Cilj magistarskog rada:

LGAD detektori, za razliku od uobičajenih silicijumskim detektora, imaju vrlo kompleksnu konfiguraciju. Procesom dopiranja prave se tako da imaju nekoliko slojeva - najčešće sa prednje strane jedan sloj jako dopiran na način da mu većinski nosioci naelektrisanja budu elektroni (tzv. n^{++} sloj) i, sa zadnje strane, sloj jako dopiran na način da mu većinski nosioci naelektrisanja budu šupljine (p^{++} sloj). Ova dva sloja ponašaju se kao elektrode preko kojih se nalazi tanak sloj aluminijuma povezan sa sistemom za sakupljanje signala (struje). Između ova dva sloja nalazi se srednje dopirani sloj (p^{+} sloj). U njemu dominiraju šupljine, ali je slabije dopiran od p^{++} sloja, tj. ima manji broj šupljina u odnosu na njega. Zahvaljujući p^{+} implantu javiće se jako el. polje reda veličine 10^5 volta po centimetru. Ovako jako polje u jako maloj zapremini detektora ubrzava elektrone stvorene upadnim zračenjem, tako da oni imaju dovoljnu energiju da izazovu kreiranje novih elektrona i šupljina pri sudarima sa atomima dopanta. Na taj način se postiže lavinski efekat multiplikacije. Efekat multiplikacije je potreban kako bi se relativno niski signali koje u detektorima ostavljaju relativističke naelektrisane čestice (eng. MIPS - minimum ionizing particles) mogli uspješno detektovati, što bi kod klasičnih Si PIN detektora bilo mnogo teže. Takođe se očekuje da bi ovakvi detektori mogli biti brži te otporniji na zračenje. Važna karakteristika LGAD detektora je mogućnost raspoređivanja pojedinačnih dioda u segmentisane senzore (nizovi piksela ili traka) koji su u stanju da pruže informaciju o vremenu i položaju čestica koje se pokušavaju detektovati. Ovo je neophodno kako bi se postigla bolja vremenska i prostorna rezolucija. Kada je uzorak segmentisan, potreban je složen

dizajn kako bi se izbjegli neželjeni regioni sa visokim el. poljem. Stoga se na periferiji n^{++} sloja dodaje n slojprodužetak završnog spoja (eng. Junction Termination Extension-JTE), koji ima ulogu da kontroliše zakrivljenje pn spoja i smanji el. polje na krajevima. JTE se prostire i do sloja multiplikacije s ciljem da umanji el. polje i spriječi preuranjeni proboj na ivici segmenta. Zbog postojanja JTE između susjednih segmenata, stvara se relativno veliko rastojanje među njima. Duž tog rastojanja nema el. polja dovoljno jakog da izazove multiplikaciju. Proizvođači uzoraka HPK (eng. Hamamatsu Photonics K.K.) koji će biti korišten u ovom radu dali su procjenu nominalnog rastojanja među segmentima detektora. Za uzorak koji će biti ispitivan (obezbijeđen od strane Instituta Jožef Stefan) tzv. tip IP5, ovo rastojanje iznosi $50\text{ }\mu\text{m}$. Međutim, u eksperimentima koji su do sada radjeni, pokazalo se da je izmjereno rastojanje među segmentima uvijek veće od nominalnog i da zavisi i od penetraijske dubine LGAD-a. Svrha ovoga istraživanja je upravo provjera ove tvrdnje i pokušaj da se nađe uzrok ovog fenomena. Vjeruje se da je razlog ovakvog ponašanja upravo JTE i specifična raspodjela linija el. polja po dubini i uz rub segmenata detektora upravo prouzrokovana zbog JTE. Metoda koja će se koristiti za potrebe izrade ovoga rada upravo je idealno sredstvo za ispitivanje ovoga problema jer se ozračivanje vrši fokusiranim jonskim snopom sa jonske mikroprobe i to jonima različitog dometa čime se može indirektno mjeriti raspodjela el. polja. Neophdno je napomenuti da ova ozračivanja jonima ne ostecuju LGAD. Fluencije su izabrane tako da se ne unose radijacioni defekti. Dodatno će se ispitivati i promjena međudetektorskog rastojanja sa promjenom upadnog ugla snopa. Promjena upadnog ugla mijenja jonizacijski profil čestica kojima se vrši ozračivanje (kao i dubinu LGADa koja odgovara poziciji Bragovom vrhu), tako da se može ispitivati uticaj gusine zracenja na odziv i ponasanje LGADa, prevashodno ponasanje gaina. Ova metoda je pogodna i za grubu procjenu debljine mrtvog sloja. Drugi cilj je dobiti mape efikasnosti kolekcije naelektrisanja za plitko i duboko prodiruće čestice: alfa čestice, elektrone, protone i jone ugljenika. Preciznije govoreći, po prvi put će biti dobijena 2D raspodjela električnog polja u LGAD detektoru. Iz dobijenih mjerenja moguće je odrediti faktor pojačanja ovog senzora. Na kraju, istraživanje će moći da se pokaže da li je za plitko prodiruće čestice prisutan efekat ekraniranja el. polja. Tako bi se bolje razumio i efekat pojačanja.

Očekivani rezultati su:

- 1) Efikasnost sakupljanja naelektrisanja u zavisnosti od napona napajanja LGAD-a, za razlicite energije H^+ i C jona, i alfa—čestica;
- 2) Efinasnost mjerenja naelektrisanja u zavisnosti od dometa jona (penetracijske dubine LGAD-a) za razlicite energije H^+ i C jona;
- 3) Mjerenja razmaka između „pad“-ova standardno segmentiranog LGAD-a („interpad distance“) u zavisnosti od napona napajanja i u funkciji penetrirajućeg dometa jona u LGAD-u;

- 4) Uglovna zavisnost efikasnosti sakupljanja naelektrisanja a time i pojacanja LGAD-a
- 5) Neosjetljivi dio LGAD-a bice takodje testiran u ekperimentu gdje ćemo mijenjati inklanaciju jonskog snopal aproksimativna ocjena mrtvog sloja biće preliminarno procjenjena.

Metode:

IBIC (eng. Ion Beam Induced Charge) tehnika predstavlja pogodno sredstvo karakterizacije poluprovodničkih detektora pomoću jako fokusiranog snopa jona, energije reda veličine megaelektronvolti. Jonski snop dobija se sa akceleratora, a fokusiranje se vrši pomoću mageta i ulaznih otvora. Iako kompleksna tehnika, koja se od 90. godina prošloga vijeka usavršavala, njena fizička suština počiva na fundamentalnim principima interakcije čestica sa materijom. Naime, jonizujuće zračenje pri prolasku kroz osjetljivu zapreminu detektora, interaguje sa atomima te sredine, uglavnom Kulonovom silom, kreirajući na taj način slobodne elektrone. Njihovim odmetanjem sa atomskih orbitala, kreiraju se i šupljine, tako da je efekat prolaska jonizujućeg zračenja kroz poluprovodnički detektor zapravo stvaranje parova elektron-šupljina. Ukoliko se spolja dovede električno polje, ovi parovi će se kretati ka elektrodama, na kojima će se, u konačnom, i sakupiti. Dobijeni signal se dalje pojačava elektronikom koja ima nizak šum, i dalje predaje sistemu za akviziciju podataka. IBIC eksperimenti imaju dvije moguće geometrije ozračivanja: frontalni IBIC, kada se snop jona fokusira s prednje strane detektora i bočni IBIC, kada se snop fokusira sa strane. Uobičajeno se radi frontalno ozračivanje. Za dobijanje mjerenja u ovom radu koristiće se samo frontalna geometrija (ozracavanje LGAD sa gornje strane gde se nalazi n^{++} elektroda). Za ozračivanje i uvođenje radijacionih oštećenja bi se koristili joni ugljenika energije 6 MeV čiji je domet oko 6 μm i protoni energije 0.8, 1.5 i 2 megaelektronvolta čiji su dometi 12, 31 i 49 mikrometar respektivno. U softveru je moguće kontrolisati područje detektora koje se želi ozračiti. Rezultat ozračivanja IBIC metodom očitava se u obliku kolorizovane prostorne mape i njoj pridružen energetski spektar. Mapa je skalirana tako da se pravi jasna demarkacija između regiona sa različitim električnim poljem, odnosno različitom efikasnošću kolekcije naelektrisanja. U programu Spector_v2 koji je razvijen na Institutu Rudjer Bosković u Zagrebu, odgovarajući vrhovi se fituju Gausovom funkcijom. Zatim se očitava vrijednost kanala u kojem se nalaze vrhovi i broj događaja svakog vrha u spektru, kao i greška procjene ovih vrijednosti. Na osnovu dobijenih podataka vrši se dalja analiza rezultata.

Tokom eksperimenta uradiće se i dodatna kontrolna mjerenja C-V raspodjele, kao i struje curenja.

Zaključni stav i prijedlog:

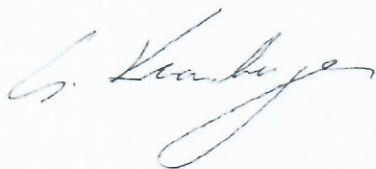
Komisija pozitivno ocjenjuje podobnost teme i kandidata, i predlaže Vijeću Prirodno-matematičkog fakulteta da prihvati izvještaj Komisije i odobri dalju izradu magistarskog rada pod nazivom: „**Karakterizacija detektora sa lavinskim efektom niskog pojačanja brzim jonskim snopovima**” kandidata Miloša Manojlovića, diplomiranog fizičara.

Podsjećamo da je Vijeće PMF-a na LXXII sjednici, održanoj 19.11.2021, imenovalo komisiju (za pisanje ovog Izvjestaja) u sledećem sastavu i mentora kandidatu

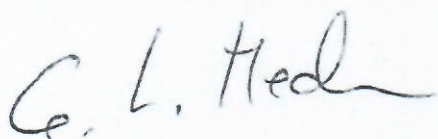
- 1) Dr Gregor Kramberger, Institut Jozef Stefan u Ljubljani, Slovenija (mentor)
- 2) Prof. Dr Gordana Laštovička-Medin, redovni profesor Univerziteta Crne Gore (Prirodno-matematički fakultet), član
- 3) Dr Milko Jakšić, akademik Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti (Institut Rudjer Boskovic u Zagrebu), član.

U Podgorici, 14.06.2022

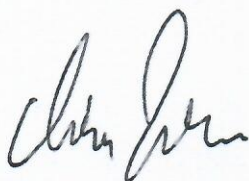
Članovi komisije:



- 1) Dr Gregor Kramberger, mentor



- 2) Prof. Dr Gordana Laštovička-Medin, redovni profesor Univerziteta Crne Gore (Prirodno-matematički fakultet), član



- 3) Dr Milko Jakšić, akademik Hrvatske akademije nauka (Institut Rudjer Boskovic), član