

AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI
RADİASIYA PROBLEMLƏRİ İNSTİTUTU

Əlyazması hüququnda

QADİR SƏTTAR OĞLU ƏHMƏDOV

**NÜVƏNİN BÖLÜNMƏ MƏHSULLARINI QEYD
ETMƏK ÜÇÜN YENİ MİKROPIKSELLİ
DETEKTORLARIN İŞLƏNMƏSİ**

İxtisas: 2225.01 – Radiasiya materialşünaslığı

**Fizika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş
dissertasiyanın**

A V T O R E F E R A T I

BAKİ - 2015

Dissertasiya işi AMEA-nın Radiasiya Problemləri İnstitutunda və Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutunun İ.M. Frank adına Neytron Fizikası və V.İ. Veksler və A.M. Baldin adına Yüksək Enerji Fizikası laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbərlər:

Akademik

A.A. Qəribov

F.-r.e. d

Z.Y. Sadıqov

Rəsmi opponətlər:

F.-r.e.d, prof.

N.M. Mehdiyev

F.-r.e.d, prof.

S.Q. Əbdülvahabova

Aparıcı təşkilat: AMEA-nın H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutunun “Nüvə Tədqiqatları” laboratoriyası

Müdafiə «**22** » 05 2015-ci il saat « » -da Azərbaycan MEA Radiasiya Problemləri İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən D.01.221 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1143, Bakı şəhəri, B. Vahabzadə küç.9.

Dissertasiya işi ilə Azərbaycan MEA-nın Radiasiya Problemləri İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat «____»

2015-ci ildə göndərilmişdir.

Dissertasiya Şurasının

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Nüvənin spontan və təsirlə bölünməsinin tədqiqi eksperimental fizikanın əsas istiqamətlərindən biridir. Bu tədqiqatlar həm elmi, həm də praktiki əhəmiyyətə malikdir. Bölünmə məhsulları olan müxtəlif kütləli zərrəciklərin kinematik və energetik paylanması, onların bir-birinə nəzərən çıxış bucaqlarının təyini nüvə bölünməsinin dinamikasını tədqiq etməyə imkan verir. Bu zaman alınan elmi və praktiki nəticələrin keyfiyyəti və dəqiqliyi, əsasən zərrəcik detektorlarının işlək parametrlərindən və bu parametrlərin radiasiya davamlılığından asılıdır. Ona görə də nüvənin çoxqat bölünmə hadisəsinin tədqiqi, bölünmə məhsullarının qeyd olunması və identifikasiyası üçün yeni və daha effektiv yarımkeçirici detektorların işlənməsi aktuallığı ilə seçilir.

Müxtəlif yarımkeçirici detektorların (YKD) istifadə olunmasına baxmayaraq, otaq temperaturunda işləməsi, sadə və əlverişli olması silisium əsaslı detektorları əksər qeydetmə sistemlərinin əsas qeydedicisi edir. Bundan əlavə müasir mikroelektronika silisium əsasında yaradıldığından elektronika ilə uyğunluğu baxımından silisium əsaslı detektorlar daha əlverişlidir. Silisium əsaslı YKD-ların müxtəlif ölçü və formalarda, o cümlədən çoxelementli mikropiksel matrisi formasında hazırlana bilməsi onların əsas üstünlüyü sayılır. Mikropikselli YKD-ların iki tipi daha çox istifadə olunur. Birinci tip mikropikselli YKD-lar sintilyatorlu zərrəcik detektorlarında foton qeydedicisi kimi, ikinci tip isə birbaşa zərrəcik qeydedicisi kimi geniş yayılmışdır.

Foton qeydedicisi kimi adi vakuumlu fotoelektron gücləndiricilərin (FEG) geniş tətbiq sahəsinə malik olmasına baxmayaraq, FEG-lərin ölçülərinin böyük olması, zərbəyə davamsızlığı, ağır olması, yüksək gərginlikdə işləməsi, maqnit sahəsinə həssaslıq kimi çatışmazlığı yeni yarımkeçirici foton qeydedicilərinin yaradılmasını zəruri etmişdir. FEG-lərə alternativ belə foton qeydediciləri silisium əsaslı mikropikselli selvari fotodiodlardır (MSFD). Bu qeydedicilər hal hazırda bir çox təcrübələrdə FEG-in əvəzedicisi kimi geniş istifadə olunur. Foton qeydetmə effektivliyi, dəşilmə gərginliyi və bərpa olunma müddəti MSFD-ların əsas parametrlərindən hesab olunur. Bu parametrlərin təkmilləşdirilməsi və daha effektiv qeydedicilərin hazırlanması yüksək və aşağı enerjilər fizikasında, tibbdə, kosmologiyada və s. sahələrdə əsas istiqamətlərdən biri hesab olunur.

Birbaşa zərrəcik qeydedicisi kimi istifadə olunan PAD (ingiliscə: pixel array detectors) tipli Timepix detektorları selvari gücləndirməyə malik olmasa da bir çox üstünlükləri ilə seçilir. İz və "təsəvvür" sistemlərində geniş istifadə

olunan bu detektorlar eyni zamanda enerji, koordinat, toqquşma zamanı haqqında məlumat almağa imkan verir. Detektorun bu parametrləri, onların çox parametrlı qeyd etmə sistemlərinin yaradılmasında istifadəsinə imkan verir. Bölünmə məhsullarını xarakterizə edən əsas kəmiyyətlərin eyni zamanda təyin olunmasına və bu kəmiyyətlərin bir-birindən asılılığının qanunauyğunluğunun müəyyən edilməsinə imkan verən çox parametrlı qeyd etmə sistemləri, bölünmə prosesinin dinamikasını dəqiq öyrənmək imkanı yaradır. Ona görə də nüvənin bölünmə məhsullarını qeyd etmək üçün çox parametrlı qeyd etmə sistemlərinin yaradılması aktual istiqamətlərdəndir.

Dissertasiya işinin məqsədi nüvənin bölünmə məhsullarını qeyd etmək üçün MSFD tipli daha effektiv foto qəbuledicilərin və yeni PAD tipli Timepix detektorlarının işlənməsi və tədqiqi olmuşdur.

Dissertasiya işində qoyulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı işlər yerinə yetirilmişdir:

- MSFD tipli fotoqəbuledicilərdə selvari prosesin təsviri üçün riyazi modelin hazırlanması;
- Yeni daha effektiv MSFD tipli foto qəbuledicilərin işlənməsi və tədqiqi;
- Silisium əsasında yaradılan yeni PAD detektorların radiasiya davamlılığının tədqiqi;
- Nüvənin ağır bölünmə məhsullarını, o cümlədən alfa zərrəcikləri qeyd etmək üçün MSFD əsaslı yeni sintilyasiya detektorunun işlənməsi;
- Timepix tipli PAD detektoru əsasında ΔE -E teleskopunun yaradılması və ^{252}Cf spontan mənbəyindən üç və dördqat bölünmə zərrəciklərinin qeyd etmə metodunun işlənməsi;

Tədqiqat obyektı yüksək effektivlikli yeni mikropikselli detektorlar və onların xassələrinin bölünmə məhsullarını qeyd etmə şəraitində tədqiq edilməsi və bölünmə məhsullarını qeyd etmək üçün yeni metodun işlənməsi olmuşdur.

Dissertasiya işində əldə edilən elmi yeniliklər aşağıdakılardan ibarətdir:

- Nüvənin aşağı tezlikli bölünmə məhsullarını qeyd etmək üçün $7\text{ }\mu\text{m}$ qalınlıqlı n-tip epitaksial təbəqə və $4\text{ }\mu\text{m}$ qalınlıqlı p-tip epitaksial təbəqə əsasında qurulmuş sahə induksion potensial çuxurlu yeni quruluşlu MSFD-un foton qeyd etmə effektivliyinin 25%-dən 40%-ə artırılması;
- Nüvənin yüksək tezlikli bölünmə məhsullarını qeyd etmək üçün müqaviməti piksellərin altında yerləşən n-tip epitaksial təbəqə ilə həcmi yüklər oblastı arasındakı məsafə ilə təyin olunan sahə induksion

mikroresistorlu yeni quruluşlu MSFD-un bərpa olma müddətinin $3 \cdot 10^5$ ns-dən 40 ns-yə qədər yaxşılaşdırılması;

- Həm adi rejimdə, həm də Heyger rejimində işləyən mikropikselli selvari foto-diodların gücləndirmə əmsalının və stasionar selvari cərəyanın gərginlikdən asılılığını kəsilməz fotocərəyan şəraitində kifayət qədər dəqiqliklə ($\sim 10\%$) təsvir edən modifikasiya olunmuş Miller düsturunun alınması;
- Xüsusi müqaviməti $5 \text{ k}\Omega \cdot \text{sm}$ olan silisium lövhəsi əsasında hazırlanmış PAD tipli alfa zərrəcik detektorlarının 1 MeV enerjili neytronlarla şüalanması zamanı qaranlıq cərəyanın dozadan asılılığının dəyişmə qanunauyğunluğunun aşkar olunması;
- PAD tipli detektorlarla müqayisədə radiasiyaya davamlılığı ən azı 10 dəfə yüksək olan MSFD-lar və LFS ssintilyatoru əsasında ssintilyasiya detektorunun hazırlanması;
- Timepix tipli mikropikselli detektorlar əsasında yaradılmış ΔE -E teleskopu ilə üçqat bölünmə zərrəciklərindən He, Be və Li-un və eləcə də ^8Be izotopunun əsas və həyəcənlanmış hallardan bölünməsi zamanı yaranan (α , α) cütlərinin enerjilərinin, çıxımlarının və aralarındakı bucağın təyin olunması;

İşin praktik əhəmiyyəti MSFD tipli fotogücləndiricilərin bərpa olunma müddətini və foton qeydetmə effektivliyini artırmaq üçün yeni quruluşların işlənməsi olmuşdur. Təklif olunan mikroçuxurlu quruluş əsasında yaradılmış MSFD-ların foton qeydetmə effektivliyi 25%-dən 40%-ə qədər artırılmışdır. Digər yeni mikroresistorlu quruluşda isə diodun bərpa olunma müddəti $3 \cdot 10^5$ ns-dən 40 ns qədər yaxşılaşdırılmışdır. Bu diodlar əsasında yüksək radiasiya fonunda işləyən ssintilyasiya detektoru və Timepix mikropikselli detektor əsasında çox parametrlili ΔE -E teleskopu hazırlanmışdır.

İşin nəticələrinin təsdiq edilməsi. Dissertasiya işinin nəticələri aşağıdakı konfranslarda təqdim və müzakirə edilmişdir.

- International Conference on Perspectives of Peaceful use of Nuclear Energy, 2010, Baku-Azerbaijan;
- 19th International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei, ISINN-19, 25-28 May, 2011, Dubna, Russia;
- 20th International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei, ISINN-20, 21-26 May, 2012, Ukraine, Alushta;
- 21th International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei, ISINN-21, 20-25 May, 2013, Ukraine, Alushta;
- 22th International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei,

ISINN-22, 21-26 May, 2014, Dubna, Russia;

- VII Eurasian Conference “Nuclear Science and Its Application” Azerbaijan, Baku, Oktober 21-24, 2014;
- Radiasiya Tədqiqatları və Onların Praktiki Aspektləri 8-ci Konfrans Azərbaycan, Bakı, Noyabr 21-22, 2013;
- International Conference on Perspectives of Peaceful use of Nuclear Energy, Azerbaijan, Baku, November 21-24, 2012;
- International Workshop on Radiation Imaging Detectors, iWoRID-2014, June 22-26, 2014, Trieste, Italy

Müdafiyyə çıxarılan əsas elmi müddəalar aşağıdakılardan ibarətdir:

1. Foton qeydetmə effektivliyini 25%-dən 40%-ə təkmilləşdirməyə imkan verən sahə induksion potensial çuxurlu yeni MSFD-un işlənməsi və tədqiqi;
2. Piksellərin xarakterik bərpa olma müddəti $3 \cdot 10^5$ ns-dən 40 ns-yə qədər təkmilləşdirməyə imkan verən sahə induksion rezistorlu yeni MSFD-un işlənməsi və tədqiqi.
3. Həm adi rejimdə, həm də Heyger rejimində işləyən mikropikselli selvari foto-diodların güclənmə əmsalının və stasionar selvari cərəyanın gərginlikdən asılılığını kəsilməz fotocərəyan şəraitində kifayət qədər dəqiqliklə (~10%) təsvir edən modifikasiya olunmuş Miller düsturunun alınması;
4. Mobil neytron generatorlarda istifadə məqsədilə xüsusi müqaviməti 5 k Ω *sm olan silisium lövhəsi əsasında PAD tipli alfa zərrəcik detektorlarının işlənməsi və onlara 1 MeV enerjili neytronların və 3.5 MeV enerjili alfa zərrəciklərin təsirinin öyrənilməsi.
5. PAD tipli detektorlarla müqayisədə radiasiyaya davamlılığı ən azı 10 dəfə yüksək olan MSFD-lar və LFS kristal sintilyatoru əsasında ssintilyasiya alfa zərrəcik detektorunun işlənməsi.
6. Timepix tipli mikropikselli detektorlardan istifadə edərək üç və dördqat bölünmə məhsullarını tədqiq etmək üçün çox parametrlili metodun işlənməsi;

Çap edilmiş işlər. Dissertasiyanın mövzusu üzrə 15 elmi iş dərc olunmuşdur. Bu işlərdən altısı AAK tələblərinə cavab verən jurnallarda, digərləri isə Beynəlxalq konfrans və seminarlarda müzakirə olunmuş və tezislər şəklində dərc edilmişdir.

Dissertasiyanın quruluşu və həcmi. Giriş, 5-fəsil, nəticələr və istifadə edilən ədəbiyyat siyahısı dissertasiyanın ümumi quruluşunu təşkil edir. Dissertasiya 101 çap edilmiş səhifə, 80 şəkil və 7 cədvəldən ibarətdir. İşin ümumi həcmi 176 səhifədən təşkil olunmuşdur. Dissertasiyada 239 sayda elmi

ədəbiyyat istifadə edilmişdir.

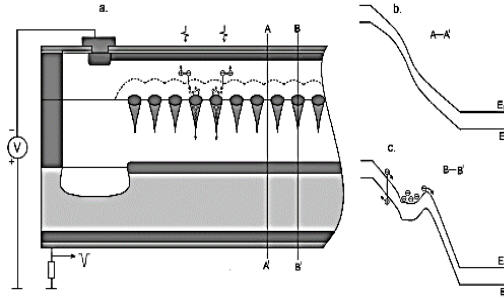
Girişdə dissertasiya işinin aktuallığı, məqsədin formalaşdırılması və əsas tapşırıqlar, elmi nəticələrin yenilikləri, işin təcrübi əhəmiyyəti göstərilmişdir. Həmçinin, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, təqdim edilən işlərin siyahısı göstərməklə yanaşı işin əsas məzmunu qısa şəkildə şərh olunmuşdur.

Birinci fəsildə təsirlə və spontan nüvə bölünmələri haqqında məlumat verilmişdir. Dissertasiyanın əsas tədqiqat obyektlərindən biri olan nadir nüvə bölünmələrinin (üç və dördqat) qısa xülasəsi aparılmışdır. İonlaşdırıcı şüaların növləri haqqında toplanan məlumatlardan sonra onların və bölünmə məhsullarının qeyd edilməsi metodları araşdırılmışdır. Daha sonra yüklü və yüksüz zərrəciklərin maddə ilə qarşılıqlı təsiri zamanı baş verən hadisələr təhlil edilmişdir. Fəsildə həmçinin ionlaşdırıcı şüaları qeyd etmək üçün istifadə edilən müxtəlif yarımkeçirici detektorlar və onların çatışmazlıqları haqqında məlumat toplanmışdır. Zərrəciklərin ayırdetmə metodları haqqında istinad olunan ədəbiyyatlara əsasən məlumat verilmiş və mikropikselli detektorlar əsasında ayırdetmə sistemlərinin yaradılmasının üstünlükləri aşkar olunmuşdur. Fəsildə həmçinin müxtəlif ənənəvi PAD tipli və mikropikselli detektorların quruluşuna və xassələrinə nəzər salınmışdır.

İkinci fəsildə mikropikselli fotodiodların bərpa olunma müddətini və foton qeydetmə effektivliyini artırmaq üçün iki yeni quruluş təklif olunmuşdur. 20 Om·sm xüsusi müqavimətli n tip altlıq üzərində ardıcıl olaraq xüsusi müqavimətləri 250 Om·sm və 20 Om·sm olan n tip və p tip epitaksial təbəqələr alınmışdır. n tip epitaksial təbəqənin qalınlığı 4 μm , p tip epitaksial təbəqənin qalınlığı 7 μm olmuşdur. Altlığın səthində sahənin bircinsliliyini artırmaq üçün altlığın üzərində (As) arsen ionlarından istifadə etməklə n^+ tip nazik təbəqə alınmışdır. Epitaksial təbəqələr arasında yüksək aşqarlanmış n^+ tip piksellər yaradılır. Məqsəddən asılı olaraq piksellər arasındakı məsafə 5-10 μm , n^+ təbəqələri arasındakı məsafə isə 3 μm olur. Ona görə də bu tip diodlarda piksellərin sıxlığını 10^4 piksel/ mm^2 qiymətinə qədər artırmaq olur.

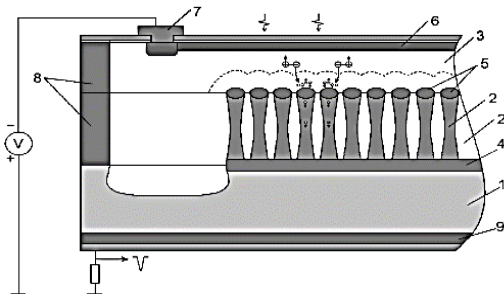
Foton qeydetmə effektivliyini artırmağa imkan verən sahə induksion potensial çuxurlu yeni MSFD-un quruluşu və işləmə prinsipi şəkl.1-də verilmişdir. Dioda əks gərginlik tətbiq olunduqda diodun p-n keçidində (p və n tip keçiriciliyə malik epitaksial təbəqələrin sərhəddində) həcmi yüklər oblastı yaranır. Əgər konsentrasiyası yüksək olan n^+ tipli pikselləri nəzərə alsaq onda həcmi yüklər oblastı mürəkkəb forma alar. Piksellər arasındakı məsafənin müəyyən qiymətində sahə n tip keçiriciliyə malik epitaksial təbəqəyə nüfuz edir və tətbiq olunan gərginliyin müəyyən qiymətində həcmi yüklər oblastları bir biri ilə birləşir. Bu, diodda süni potensial çuxurların yaranmasına gətirib

çıxarır. Bu diodlarda selvari proses n^+ təbəqəsi ilə p-tip epitaksial təbəqənin sərhəddində baş verir. Yaranan elektronlar potensial mikro-çuxurlarda toplanır və selvari oblastda sahəni azaldır. Mikroçuxurda toplanmış elektronlar sonradan katoda axır ki, bunun nəticəsində mikropiksəllər özünü bərpa edir. Bu zaman diodun bərpa olunma müddəti 300 μs olur. Buna baxmayaraq bu quruluş əsasında foton qeydetmə effektivliyinin 25%-dən 40 %-ə artırılmasına müvəffəq olunmuşdur.



Şəkil.1. Potensial mikro-çuxurlu MSFD, a – potensialın təsiri altında MSFD-un quruluşu, b –A–A' kəsiyi üzrə enerji diaqramı, c – B–B' kəsiyi üzrə enerji diaqramı

Diodun bərpa olunma müddətini artırmaq üçün təklif olunmuş sahə induksion rezistorlu yeni MSFD-un quruluşu və işləmə prinsipi şəkil.2-də təsvir olunmuşdur. Mikrorezistorlu quruluşda piksellər arasındakı məsafə (yüksək aşqarlanmış n^+ tipli hissələr) 2.5 μm -ə qədər azaldılmışdır. Məsafənin azaldılması, n-tip keçiriciliyə malik epitaksial təbəqədə həcmi yüklər oblastlarının birləşməsinin qarşısını alır. Bunun nəticəsində hər bir piksel, altlığın həcmi ilə birləşən nazik kanalla (mikro-kanal) təmin olunur.

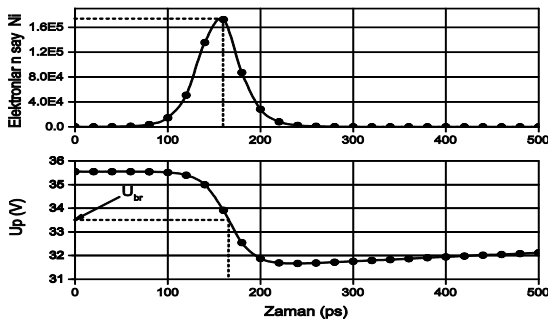


Şəkil.2. Mikro-rezistorlu MSFD. 1– n-tip keçiriciliyə malik silisium altlıq, 2– həcmi yüklər oblastı alınmamış n-tip keçiriciliyə malik epitaksial təbəqə (mikro-rezistor), 2'– n-tip keçiriciliyə malik epitaksial təbəqənin həcmi yüklər oblastı, 3– p-tip keçiriciliyə malik epitaksial təbəqə, 4– n+-tip keçiriciliyə malik nazik təbəqə, 5– n-tip keçiriciliyə malik yüksək aşqarlanmış hissələr (piksəllər), 6– p-tip keçiriciliyə malik yüksək

aşqarlanmış təbəqə, 7– metal kontaktlar, 8– n^+ -tip keçiriciliyə malik qoruyucu üzük, 9– omik kontaktlar vurmaq üçün n^+ -tip keçiriciliyə malik yüksək aşqarlanmış təbəqə

Potensial çuxurun itməsinə əsasən pikselin xarakterik bərpa olunma müddəti $R_m C_p \approx 1.5$ ns təşkil edir. Fotodiodun işığa həssas səthi bir birindən tamamilə asılı olmayan güclənmə kanallarına (piksellərə) bölündüyündən diodun bütün səthi fotonəssas olur. Bu tip diodlarda digər MSFD-larda və ya silisium əsaslı fotogücləndiricilərdə olan “ölü” zona olmur. Təklif olunan bu quruluş, piksellərin ölçüsünü azaltmağa imkan verir ki, bu da vahid səthdə piksellərin sıxlığını artırmaq imkanı yaradır. Piksellərin sıxlığının artması dioda düşən işıq fotonlarının selinə diodun fotocavabının xətti dinamik oblastının artırılmasına gətirib çıxarır. Təklif olunan bu quruluş, piksellərin sıxlığının 40000 piksel/mm² qədər artırılmasına imkan verir.

MPSF diodlarda baş verən selvari prosesin yaranmasının və sönməsinə təsvir edən modelin verilməsi selvari prosesin başa düşülməsi üçün vacib hesab olunur. Yaranan siqnalı təsvir və analiz etməklə, diodda baş verən boşalma prosesini və dioda birləşdirilən cihazların (gücləndirici və s.) təsirini ətraflı başa düşmək olar. Təklif olunan iterativ model, müəyyən sadə yaxınlaşmalardan başqa MSFD-larda selvari prosesi kifayət qədər yaxşı təsvir etmişdir. Verilmiş model ilə həm Heyger rejimdə (deşilmə gərginliyindən yuxarı gərginlikdə işləyən), həm də adi rejimdə (deşilmə gərginliyindən aşağı gərginlik) işləyən selvari fotodiodlarda selvari proses simulyasiya edilmişdir. MSFD-ların parametrlərinin tətbiq olunan gərginlikdən asılı olaraq dəyişmə qanunauyğunluğu bu modelə əsasən düzgün müşahidə olunmuşdur. Verilmiş model, eləcədə bir pikseldə selvari prosesin inkişaf mərhələsini tədqiq etməyə imkan vermişdir. Simulyasiyadan alınan nəticələr göstərmişdir ki, boşalma cərəyanının qalxma və enmə hissələrinin davam etmə müddəti 50 ps-dən kiçikdir (şək. 3.).



Şək.3. Selvari dövrdə yaranan elektronların sayının (a) və birbaşa pikseldə yaranan

potensiallar fərqlərinin ΔU_p) zamandan asılılığı (b)

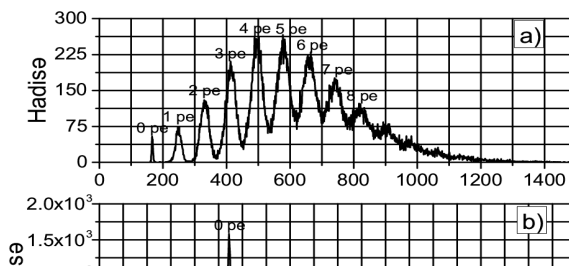
Təklif olunan model əsasən xarici yükləmə cərəyanının qalxma hissəsi üçün alınmış qiymət də 50 ps-dan kiçik olmuşdur. Bu modelə əsasən alınmış mühüm nəticələrdən biri də selvari prosesin pikselin katodu və anodu arasında yaranan potensiallar fərqlərinin qiymətinin dəşilmə gərginliyinin qiymətinə çatmasından sonra özünü necə aparmasıdır. Bu haldan sonra gərginlik düşməyə başlayır və sayları azalan yeni elektron-deşik cütləri yaranır. Dəşilmə gərginliyindən aşağı gərginlik düşküsündən sonra yaranan yükdaşıyıcıların sayı, dəşilmə gərginliyindən yuxarı gərginlik düşküsündə yarananların sayı ilə eyni olur. Nəticədə potensiallar fərqi, dəşilmə gərginliyindən aşağıda pikseldə artıq gərginliyin ΔU_p qiyməti qədər düşür. Yükün tətbiq olunan gərginlikdən xətti asılılığının meylinə tapılan pikselin effektiv tutumu (C_p) onun həqiqi tutumundan təqribən iki dəfə böyük olur.

Üçüncü fəsilə MSFD-ların gücləndirmə əmsalı tək fotoelektron paylanmasına görə təyin olunmuşdur. Puasson paylanmasına tabe olan tək fotoelektrona görə paylanma belə ifadə olunur: $P(n, \mu) = \frac{\mu^n e^{-\mu}}{n!}$ harada $P(n, \mu)$ - μ orta qiymətinə malik n sayda foto-elektronun foto-diodun çıxışında alınma ehtimalı, f - foto-dioda düşən fotonların sayıdır. Diodun foton qeyd etmə

effektivliyini təyin etmək üçün ifadəsindən istifadə olunmuşdur. Tək fotoelektron paylanması həmçinin də küy faktorunu (F) təyin etmək üçün istifadə edilir. Küy faktoru üçün $F=A/B$ ifadəsi alınmışdır: harada

$A = \frac{\sum_{i=1}^K (M_i)^2}{K}$ – güclənmə əmsallarının kvadratlarının orta qiymətidir,

$B = \left(\frac{\sum_{i=1}^K M_i}{K} \right)^2$ – güclənmə əmsallarının orta qiymətinin kvadratıdır. MSFD-ların gücləndirmə əmsalını təyin etmək üçün tək fotoelektrona görə amplitud paylanması təcrübədə ölçülmüşdür (şək.4). Bu paylanmaya görə gücləndirmə



$$M = K_1 - q P_0 \cdot K$$

əmsalını tapmaq üçün

ifadəsindən istifadə olunmuşdur: harada ki, P_1 – birinci pikə uyğun gələn kanal, P_0 – sıfırıncı pikə (pedestala) uyğun gələn kanal, $K_n = 0.25 \cdot 10^{-12}$ Kl – ARÇ-nin bir kanalına uyğun gələn yükün miqdarı, $K_a = 40$ -isə gücləndiricinin gücləndirmə əmsalıdır.

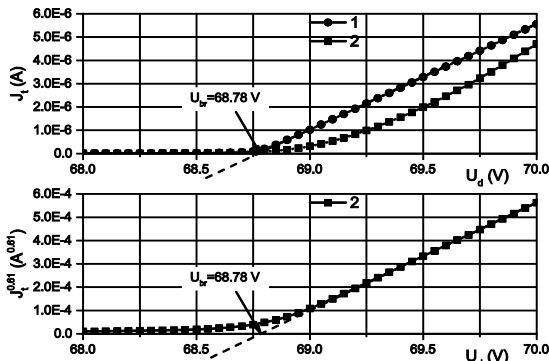
Şəkl.4. İki orta fotoelektron qiymətlərində MSFD-ın amplituda görə paylanma spektrləri

MPSFD-ların digər vacib parametrlərindən biri olandeşilmə gərginliyinin təyin etmək üçün riyazi və təcrübi metod verilmişdir. Riyazi metoda əsasən foto-cərəyanındeşilmə gərginliyindən asılılığı üçün Miller düsturundan

$$J_{ph} = \frac{K_1}{U_d} - \frac{K_2}{U_d^2} \sim \frac{K_1}{U_d} - \frac{K_2}{U_d^2}$$

ifadəsi alınmışdır. Harada $\delta > 1$. Təcrübdən alınan əyrilərdə asılılığını qurduqda asılılığın ekstrapolyasiyası U_{br} nöqtəsində X oxunu kəsir ki, bu dadeşilmə gərginliyini təyin etməyə imkan verir (şəkl.5).

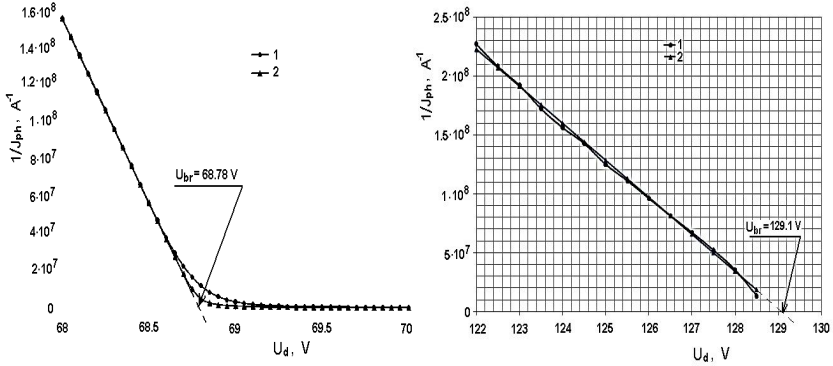
$$\sqrt{\delta} J_{ph} \sim U_d$$



Şəkl.5. Foto-cərəyanın tətbiq olunan gərginlikdən asılılığı. 1- təcrübə; 2- Miller düsturuna əsasən riyazi hesablama

Təklif olunan metodun yoxlanılması üçün müxtəlif firmaların istehsalı olan 2 növ MSFD istifadə olunmuşdur: Hamamatsu firmasının S10362-11-

025U tipli MSFD (şək.6 (sol)) və Zekotek firmasının istehsalı olan APD-33-

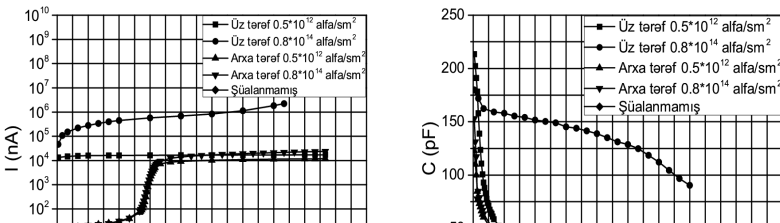


128V tipli MSFD (şək.6 (sağ)).

Şək.6. *SI0362-11-025U (sol) və APD-33-128V (sağ) tipli SFD üçün foto-cərəyanın tərs qiymətinin ($1/J_{ph}$) tətbiq olunan gərginlikdən asılılığı. 1- təcrübə; 2- Miller düsturuna əsasən riyazi hesablama*

Alınan nəticələr göründüyü kimi ardıcıl müqavimətdəki gərginlik düşküünün nəzərə alındığı modifikasiya olunmuş Miller düsturu həm adi həm də mikro-pikselli selvari foto-diodların xarakteristikalarını kifayət qədər dəqiqliklə (10 %) təsvir edir.

Dördüncü fəsildə MSFD əsasında yaradılmış ssintilyasiya detektorları ilə müqayisə məqsədi üçün silisium əsaslı PAD detektorlara 3.5 MeV enerjili alfa zərrəciklərin və 1 MeV enerjili neytronların təsiri tədqiq edilmişdir. Alfa zərrəciklərlə PAD detektorlar həm arxa, həm də üz tərəfdən $0.5 \cdot 10^{12}$ və $0.8 \cdot 10^{14}$ alfa/sm² dozalarında şüalandırılmışdır. VAX-larından göründüyü kimi həm arxa, həm də üz tərəfdən şüalandırılmış detektorların qaranlıq cərəyanları kəskin dəyişir (şək.7). Qaranlıq cərəyanın dəyişməsinə səbəb detektorda yaranan defektlərdir. İonlaşdırıcı zərrəciklər silisium atomları ilə toqquşduqda silisium atomlarına böyük enerji verir. Silisium atomlarının aldığı enerji rabitə enerjisindən böyük olduqda Si atomları qəfəsin düyününü tərk edir və kristal daxilində daha sıx və stabil A-mərkəzləri (oksigen vakansiya mərkəzləri), E-

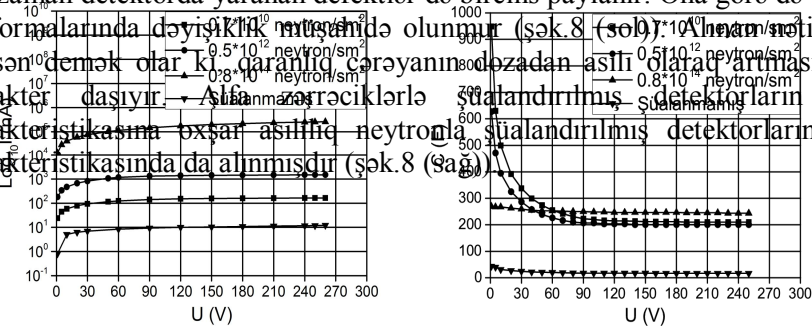


mərkəzləri (fosfor vakansiya mərkəzləri), mürəkkəb klasterlər və s. yaradırlar. Yaranan bu defektlər rekombinasiya, tutma və generasiya mərkəzləri rolunu oynayır. Nəticədə həcmi yüklər oblastında əlavə səviyyələr yaranır. Detektorun axma cərəyanının əsasını həcmi yüklər oblastında yaranan cərəyan təşkil etdiyindən qaranlıq cərəyanın artması müşahidə olunur.

Şəkl.7. Alfa zərrəciklərlə müxtəlif dozalarda şüalandırılmış alfa detektorların V-A (sol) və C-V (sağ) xarakteristikaları

Si əsaslı PAD detektorlar $0.7 \cdot 10^{10}$, $0.5 \cdot 10^{12}$ və $0.8 \cdot 10^{14}$ neytron/sm² dozalarda 1 MeV enerjili neytronlarla şüalandırılmışdır. $0.7 \cdot 10^{10}$ neytron/sm² dozada şüalandırılmış detektorun qaranlıq cərəyanı şüalanmamış detektorlarla müqayisədə 10 dəfə artmışdır. Yüksək dozalarda şüalandırılmış detektorlarda isə qaranlıq cərəyan artaraq böhran həddə çatmışdır. Buna baxmayaraq VAX-nın formasında dəyişiklik müşahidə olunmuşdur. Neytronlar yüksüz zərrəciklər olduğundan detektorların şüalanması demək olar ki, bircins olur. Bu zaman detektorda yaranan defektlər də bircins paylanır. Ona görə də VAX-nın formalarında dəyişiklik müşahidə olunmur (şəkl.8 (sol)).

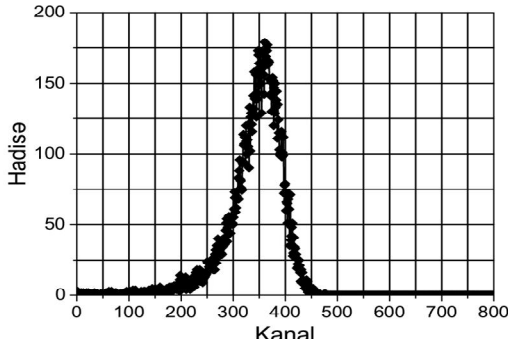
Şəkl.8 (sağ) VAX-nın formasında dəyişiklik müşahidə olunmur (şəkl.8 (sağ)). Şüalanmamış detektorların C-V xarakteristikasında isə qaranlıq cərəyanın dozadan asılı olaraq artması xətti xarakter daşıyır. Alfa zərrəciklərlə şüalandırılmış detektorların C-V xarakteristikasında isə əksinə neytronla şüalandırılmış detektorların C-V xarakteristikasında da alınmışdır (şəkl.8 (sağ)).



Şəkl.8. Neytronlarla şüalandırılmış alfa detektorların V-A (sol) və C-V (sağ) xarakteristikaları

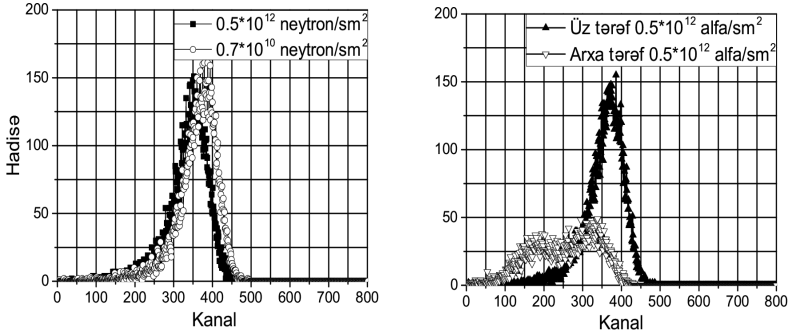
Detektorların alfa zərrəciklərə həssaslığını yoxlamaq üçün ²⁴¹Am (5.5 MeV) alfa mənbəyindən istifadə olunmuşdur. Detektorla mənbə arasında məsafə 2 sm olduğundan və təcrübə havada aparıldığından 5.5 MeV enerjili alfa zərrəciklərin havada enerji itkisi (2 MeV) nəzərə alınmışdır. Təcrübədə bütün detektorlara 250 V gərginlik tətbiq olunmuşdur. ²⁴¹Am alfa radioaktiv mənbəyindən buraxılan 3.5 MeV alfa zərrəciklərin amplituda görə paylanma

spektri alınmışdır (şək.9).



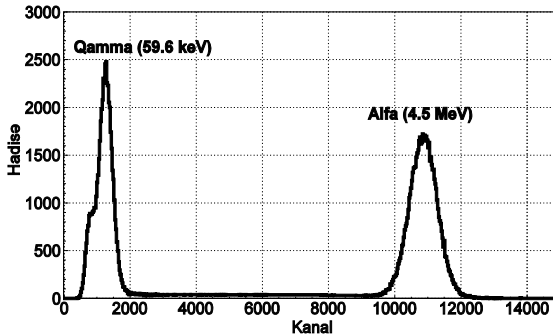
Şək.9. ²⁴¹Am (5.5 MeV) alfa radioaktiv mənbəyindən alfa detektorlarla çəkilmiş amplituda görə paylanmış spektri

3.5 MeV enerjili alfa zərrəciklər üçün şüalanmamış detektorların enerjiyə görə ayırdetməsi 22% olmuşdur. Ayırdetmənin pisləşməsində alfa zərrəciklərin havada enerji itkisinin statistik xarakterini də nəzərə almaq lazımdır. $0.5 \cdot 10^{12}$ alfa/sm² dozada şüalandırılma zamanı qaranlıq cərəyanın 10^3 dəfə artmasına baxmayaraq, detektorun alfa zərrəciklərə həssaslığı müşahidə olunmuşdur (şək.10 (sağ)). Üz tərəfdən şüalandırılmış alfa detektorlar üçün enerjiyə görə ayırdetmədə demək olar ki, dəyişmə müşahidə olunmamışdır. $0.5 \cdot 10^{12}$ alfa/sm² dozada arxa tərəfdən şüalanma zamanı isə detektorun enerjiyə görə ayırdetməsi 5 dəfədən də çox pisləşmişdir. Enerjiyə görə ayırdetmənin belə pisləşməsi ionlaşdırıcı şüaların qeyd edilməsi zamanı detektorda yaranan elektron-deşik cütlərinin yüksək səviyyədə rekombinasiyası ilə bağlıdır. Yüksək dozalarda detektorlar ümumiyyətlə alfa zərrəciklərə həssaslıqlarını itirmişdir. Alfa zərrəciklərlə şüalandırılmış detektorlardan fərqli olaraq, $0.5 \cdot 10^{12}$ neytron/sm² dozada neytronla şüalandırma zamanı detektorların enerji ayırdetməsi dəyişməmişdir (şək.10 (sol)). $0.8 \cdot 10^{14}$ neytron/sm² dozada isə detektor, alfa zərrəciklərə həssaslığını tamamilə itirmişdir.



Şək.10. Alfa zərrəciklərlə (sağ) və neytronlarla (sol) şüalandırılmış detektorlarla ^{241}Am (5.5 MeV) alfa radioaktiv mənbəyindən çəkilmiş amplituda görə paylanma spektrləri

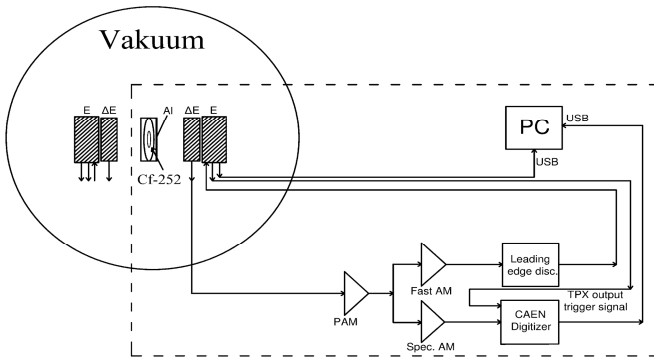
PAD detektorların radiasiyaya davamlılığı aşağı olduğundan onların radiasiyaya davamlı ssintilyasiya detektorlarla əvəz olunması məqsədə uyğun hesab olunur. Geniş yayılmış üzvi ssintilyatorlardan biri olan LFS-3 ssintilyatorunun radiasiyaya davamlılığı $4.4 \cdot 10^{12}$ proton/sm² dozadan yüksəkdir. Bunu nəzərə alaraq PAD detektorlara alternativ ssintilyasiya detektoru işlənib hazırlanmışdır. Təklif olunan ssintilyasiya detektoru LFS-3 ssintilyatoru və MSFD əsasında yaradılmışdır. Şəkil 11-də 94.2 V gərginlikdə ssintilyasiya detektoru ilə ^{241}Am radioaktiv mənbəyindən buraxılan alfa (5.5 MeV) və qamma şüaların (59.6 keV) amplituda görə paylanma spektri verilmişdir. Spektrdə birinci pik 59.6 keV enerjili qamma şüalar, ikinci pik isə alfa zərrəciklər hesabına yaranır. 59.6 keV enerjili qamma və 4.5 MeV enerjili alfa zərrəciyi üçün enerji ayırdetməsi uyğun olaraq 29% və 8.5% alınmışdır.



Şək.11. Ssintilyasiya detektoru ilə 4.5 MeV alfa zərrəciklərin amplituda görə çəkilmiş spektri

Əldə olunmuş nəticələr, MSFD-lar əsasında yaradılmış ssintilyasiya detektorlarının PAD detektorlarla müqayisədə bir çox üstünlüklərə malik olduğunu göstərir. Bu detektorların sürətli olması, enerji ayırdetməsi və radiasiya davamlılığı PAD detektorlarla müqayisədə yüksəkdir.

Beşinci fəsildə Timepix mikropikselli (300 μm) və nazik PAD (12 μm) detektorlardan istifadə edərək çox parametrlı qeyd etmə sistemi qurulmuşdur. Yaradılmış ΔE -E teleskopu zamana, enerjiyə, koordinata və zərrəciklərin növü haqqında məlumat almağa imkan vermişdir. ²⁵²Cf spontan bölünmə mənbəyindən üç və dördqat bölünmə məhsulları ΔE -E teleskopu ilə qeyd olunmuşdur. Ümumiyyətlə təcrübədə analoji iki teleskopdan istifadə edilmişdir (şək.12).

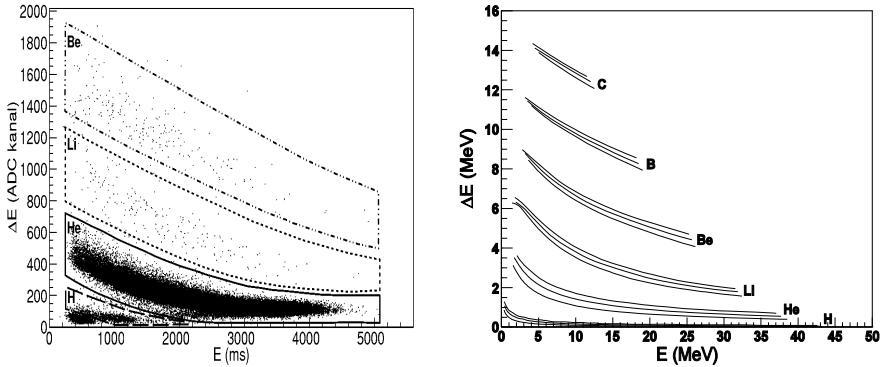


Şək.12. Üç və dördqat bölünmə məhsullarını qeyd etmək üçün istifadə olunan təcrübə dövrənin sxemi

Şək.12-dən göründüyü kimi ΔE detektorundan alınan siqnal gücləndirmə əmsalı 35 olan yükə həssas ilkin gücləndiricidə gücləndirildikdən sonra iki hissəyə bölünmüşdür. İlkin gücləndiricidən alınan siqnalın amplitudu kiçik (orta hesabla 15 mV) olduğundan əlavə gücləndiricilər istifadə olunmuşdur. Sürətli gücləndiricidən istifadə edilərək triqger siqnalı gücləndirilmişdir. Bu zaman gücləndirmə əmsalı 200 olmuşdur. Gücləndirilmiş siqnal Timepix detektorunu üçün triqger siqnalı yaratmaq məqsədilə diskriminatora verilmişdir. Digər siqnal isə ΔE detektoru üçün amplituda görə paylanma spektri almaq məqsədilə spektroskopik gücləndiricidə gücləndirilmişdir. CAEN analoq rəqəmsal çevricisi (ARÇ) üçün giriş siqnalının maksimum amplitudu 2 V olduğundan, bu limiti aşmamaq üçün spektroskopik gücləndiricidə siqnal 20 dəfə gücləndirilmişdir. Timepix detektorunun ΔE -dən triqger edilməsinə baxmayaraq hər iki detektorla toqquşan zərrəcikləri təyin etmək üçün CAEN ARÇ-nin hər siqnal üçün verdiyi vaxtdan da istifadə olunmuşdur. Ona görə də Timepix detektorunun

triqker üçün istifadə olunan çıxışından CAEN ARÇ-nin 2-ci kanalına signal verilmişdir. Bu üsulla hadisələrin dəqiqliyi iki qat yoxlanılmışdır. Təcrübədə $60 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ qalınlıqlı Al_2O_3 altlığının üzərinə çökdürülmüş və nazik qızıl təbəqəsi ($10 \text{ mg}/\text{cm}^2$ kiçik) ilə örtülmüş ^{252}Cf spontan bölünmə mənbəyindən istifadə olunmuşdur. Mənbə hər iki tərəfə şəffaf olub 100 Bq aktivliyə malik olmuşdur. Mənbənin bircinsliliyi təqribən 20% olmuşdur.

Şək.14-də ΔE -E teleskopu ilə çəkilmiş və SRİM proqramında simulyasiya olunmuş ΔE -E spektrlər verilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi teleskoplar hidrogendən (H) berilliuma (Be) kimi üçqat bölünmə zərrəciklərini ayırmağa imkan verir.



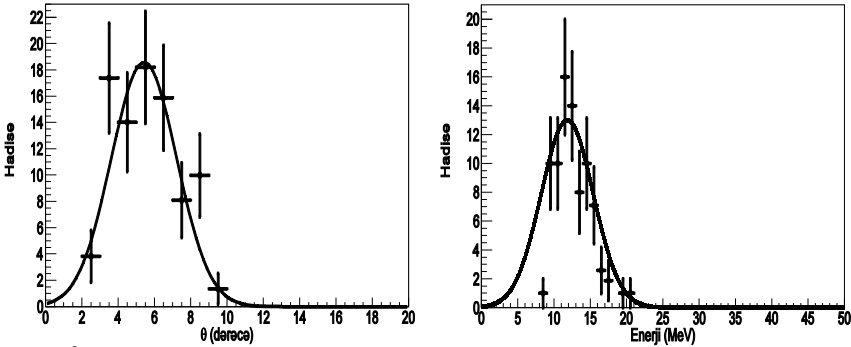
Şək.13. ^{252}Cf üçqat bölünmə zərrəciklərinin teleskoplarla çəkilmiş (sol) və simulyasiya olunmuş (sağ) 2 ölçülü ΔE -E spektri. Simulyasiya SRİM proqramından alınan məlumatlar əsasında edilmişdir

H izotopları üçün teleskopların və Al folqanın qalınlığı kiçik olduğundan spektrlərdə hər iki tərəfdən kəsilmələr müşahidə olunmuşdur. Ona görə də ümumiyyətlə H izotoplarına baxılmamışdır. Üçqat bölünmə zərrəciklərinin enerji spektrini qurmaq üçün ROOT proqramında cut-off üsulundan istifadə edilmişdir. Üçqat bölünmə zərrəciklərindən alfa zərrəciklərin, yüksək çıxıma $3.8 \cdot 10^{-3}$ (ikiqat bölünməyə nisbət) malik olması aşkar olunmuşdur. Alfa zərrəciklərin enerji üçün $15.8 (0.1) \text{ MeV}$ alınmışdır.

Be və Li üçün uyğun olaraq $8.6 \cdot 10^{-5}$ və $2.0 \cdot 10^{-5}$ çıxımları (ikiqat bölünməyə nisbət) alınmışdır. Bu üçqat bölünmə məhsullarının enerjiləri uyğun olaraq $18.1(1.6) \text{ MeV}$ və $15.3(0.6) \text{ MeV}$ olmuşdur. Be üçün çıxımın çox alınması dayanıqlı nüvəyə əsasən izah olunur. $^4\text{Be}^{10}$ nüvəsi $^3\text{Li}^7$ nüvəsinə nəzərən dayanıqlı olduğundan Be-un çıxımı Li-un çıxımından çoxdur. Ümumiyyətlə cüt-cüt nüvələr tək-cüt və tək-tək nüvələrə nəzərən dayanıqlı olur.

Hadisələrin sayının az olmasına baxmayaraq həyəcanlanma halları

üçün də enerjiyə və bucağa görə paylanma spektrləri tədqiq olunmuşdur. Aralarındakı bucaq 11^0 -dən kiçik olan (α , α) cütlər, ${}^8\text{Be}$ izotopunun əsas haldan bölünməsinə uyğundur (şək.15).



Şək.14. ${}^8\text{Be}$ izotopunun əsas halında (α , α) cütləri üçün bucağa (sol) və enerjiyə (sağ) görə paylanma spektrləri

Qeyd edək ki, zərrəciyin 1-ci həyəcanlanma halından bölünmə ehtimalı böyük olduğundan, 11^0 -dən böyük bucaqları 1-ci həyəcanlanmış hal üçün qəbul olunmuşdur. ${}^8\text{Be}$ izotopunun əsas haldan bölünməsi zamanı yaranan (α , α) cütləri üçün 11.8 (0.3) MeV enerji və $1.3 \cdot 10^{-6}$ (ikiqat bölünməyə nisbət) alınmışdır. Bu zaman (α , α) cütləri arasındakı bucaq isə $5.5^0(0.3)$ olmuşdur. ${}^8\text{Be}$ izotopunun həyəcanlanmış haldan bölünməsi zamanı isə əmələ gələn (α , α) cütləri üçün 14.5 (2.0) MeV enerji və $3.6 \cdot 10^{-6}(0.9)$ çıxım alınmışdır. Bu zaman (α , α) cütləri arasındakı bucaq $10-45^0$ arasında dəyişmişdir.

Əsas nəticələr

1. Nüvənin aşağı tezlikli bölünmə məhsullarını qeyd etmək üçün 7 μm qalınlıqlı n-tip epitaksial təbəqə və 4 μm qalınlıqlı p-tip epitaksial təbəqə əsasında qurulmuş sahə induksion potensial çuxurlu yeni mikropikselli selvari fotodiodun foton qeydetmə effektivliyi 25%-dən 40%-ə artırılıb.
2. Nüvənin yüksək tezlikli bölünmə məhsullarını qeyd etmək üçün müqaviməti piksellərin altında yerləşən n-tip epitaksial təbəqə və həcmi yüklər oblastı arasındakı məsafə ilə təyin olunan sahə induksion resistorlu yeni mikropikselli selvari fotodiodun bərpa olma müddəti $3 \cdot 10^5$ ns-dən 40 ns-yə qədər təkmilləşdirilib.
3. Mikropikselli selvari fotodiodların deşilmə gərginliyini təyin etmək üçün stasionar selvari cərəyanın gərginlikdən asılılığını kifayət qədər

dəqiqliklə (~10%) təsvir edən modifikasiya olunmuş Miller düsturu alınıb.

4. Alfa zərrəcikləri qeyd etmək üçün ənənəvi PAD tipli detektorlara nisbətən radiasiya davamlılığı, qeydetmə sürəti və enerji ayırdetməsi yüksək olan MSFD və LFS-3 ssintilyatoru əsasında yeni tip ssintilyasiya detektoru işlənib hazırlanıb.
5. Timepix mikropikselli (300 μm) və PAD tipli nazik detektorlar (12 μm) əsasında yeni çox parametrlı qeydetmə sistemi yaradılıb. Alınmış çoxparametrlı ΔE -E teleskopu ilə üçqat və dördqat bölünmə proseslərindən alınmış zərrəciklərin enerjiləri və çıxımları təyin olunub. Belə ki, Cf^{252} spontan bölünmə mənbəyindən üç və dördqat bölünmə məhsulları olan He, Be və Li-un enerjiləri üçün 15.8 MeV, 18.1 MeV, 15.3 MeV, çıxımları üçün isə $3.8 \cdot 10^{-3}$, $8.6 \cdot 10^{-5}$, $1.2 \cdot 10^{-5}$ alındığı halda, ^8Be izotopunun əsas və həyəcanlanmış hallardan bölünməsi nəticəsində yaranan (α , α) cütləri üçün 11.8 MeV və 14.5 MeV, çıxımları üçün isə $1.3 \cdot 10^{-6}$, $3.6 \cdot 10^{-6}$ qiymətləri alınıb.

Əsas nəticələrin çap olunduğu işlər

1. Ahmadov F., Abdinov O., **Ahmadov G.** et al Alpha particle detector based on micropixel avalanche photodiodes // Physics of Particles and Nuclei Letters, 2013, v. 10, n. 7, p. 778-779
2. Ahmadov F., **Ahmadov G.**, Anfimov N. et al New Alpha Particle Counter Based On Micro-Pixel Avalanche Photodiode // Journal of Radiation Researches, 2014, v. 1, n. 1, p. 33-36
3. Абдуллаев Х. И., Ахмедов Ф. И., **Ахмедов Г.С.** и др Кремниевый детектор альфа частиц с низким темновым током // Azərbaycan hava yolları QSC Milli Aviasiya Akademiyası Elmi məcmuələr, 2015, c. 17, n. 1, s. 44-47
4. Ahmadov F., **Ahmadov G.**, Garibov A., Guliyev E. et al Development of compact radiation detectors based on MAPD photodiodes with

- Lutetium Fine Silicate and Stilbene scintillators // Journal of Instrumentation, 2015, vol.10,p.1-7
5. Ahmadov F., Abdinov O., Ahmadov G. et al Alpha particle detector based on micropixel avalanche photodiodes // Functional materials, 2013, v. 20, n.3, p. 390-392
 6. **Ahmadov G.**, Jafarova E. , Ahmadov F., Madatov R. et al Investigation of the performance of alpha particle counting and alpha-gamma discrimination by pulse shape with micro-pixel avalanche photodiode // Fizika jurnalı, 2015, vol.21, n.1, sec E, səh. 33-36.
 7. Ahmadov F., **Ahmadov G.**, Madatov R., Sadygov Z. et al Micropixel Avalanche Photodiode As Alpha Particle Detector / 19th International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei(ISINN), Russia, Dubna, May 25-28, 2011, p. 231-234
 8. Ahmadov F., **Ahmadov G.**, Madatov R., Sadygov Z. et al Silicon Micro-Pixels Avalanche Photodiodes and Scintillation Detectors / 20th International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei(ISINN), Ukraine, Alushta, May 21-26, 2012, p. 205-209
 9. **Ahmadov G.S.**, Ahmadov F.I., Kopach Yu.N., Telezhnikov S.A. et al Time Coincidence Technique and the ΔE -E method with thin ΔE Detector and the Timepix Pixel Detector / 21th International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei(ISINN), Ukraine, Alushta, May 20-25, 2013, p. 207-213
 10. Telezhnikov S.A., **Ahmadov G.**, Kopatch Yu.N., Granja C. et al Energy calibration of timepix pixels below 60 keV / 22th International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei(ISINN), Russia, Dubna, May 27-30, 2014
 11. Telezhnikov S.A., **Ahmadov G.**, Kopatch Yu.N., Granja C. et al Registration of ternary particles from ^{252}Cf spontaneous fission source with Timepix detector / 22th International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei(ISINN), Russia, Dubna, May 27-30, 2014
 12. **Ahmadov G.S.**, Ahmadov F.I., Kopatch Yu.N., Telezhnikov S.A. et al A ΔE -E Telescope Based On Timepix Pixelated Silicon Detector For Rear Fission Mode Processes / VII Eurasian Conference Nuclear Science and Its Application, Azerbaijan, Baku, Oktober 21-24, 2014, p. 80-81
 13. Ahmadov F., **Ahmadov G.**, Garibov A., Guliyev E. et al Micro-Pixels Avalanche Photodiodes As Radiation Detector / VII Eurasian Conference Nuclear Science And Its Application, Azerbaijan, Baku, Oktober 21-24, 2014, p. 291-292

14. **Ahmadov G.S.**, Ahmadov F.I., Kopatch Yu.N., Telezhnikov S.A. et al Detection of the Ternary Alpha Particles From Cf^{252} Spontaneous Source With Timepix Pixeleded Detector / Radiasiya Tədqiqatları Və Onların Praktiki Aspektləri 8-ci Konfrans Azərbaycan, Bakı, November 21-22, 2013, p. 103
15. Garibov A., Sadygov Z., Madatov R., **Ahmadov G.** et al New Generation Of Alpha And Gamma Detectors / Nüvə Enerjisinin Dinc Məqsədlərlə İstifadəsi Perspektivləri 5-ci Beynəlxalq Konfransı Azərbaycan, Bakı, November 21-24, 2012, p. 32

ГАДИР САТТАР оглы АХМЕДОВ

**РАЗРАБОТКА НОВЫХ МИКРОПИКСЕЛЬНЫХ
ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ПРОДУКТОВ
ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР**

РЕЗЮМЕ

Разработан и исследован новый тип микро-пиксельных лавинных фотодиодов (МЛФД) с полевой индуцированной потенциальной ямой для регистрации продуктов деления ядер с низкой интенсивности. Эта конструкция позволяет повысить эффективность регистрации фотонов (ЭРФ) от 25% до 40%. При этом время восстановления пикселей

составляет 300 мкм. Также разработан и исследован другой тип МЛФД с полевым индуцированным резистором для регистрации продуктов деления ядер с высокой интенсивности. Благодаря отсутствию потенциальных ям в этой конструкции, время восстановления пикселей уменьшается от 300 мкс до 40 нс. При этом ЭФ составляет 25%. Показано, что модифицированная формула Миллера с достаточной точностью ($\sim 10\%$) описывает зависимости коэффициента усиления и стационарного лавинного тока от приложенного напряжения к МЛФД, работающему как в режиме Гейгера (выше напряжения пробоя), так и в обычном (ниже напряжения пробоя) режиме. Напряжение пробоя определяется с помощью линейной экстраполяции стационарных ВАХ МЛФД. Исследовались радиационная стойкость PAD детекторов альфа-частиц, предназначенных для применения в мобильных нейтронных генераторах. Детекторы облучались с нейтронами (1 МэВ) и альфа-частицами (3,5 МэВ). Установлено, что при одинаковой дозе облучения ($5 \cdot 10^{11}$ частица/см²) нейтронами и альфа-частицами темновой ток детекторов увеличивается 10^2 и 10^3 раз, соответственно. Предложен альтернативный сцинтилляционный детектор на основе МЛФД и кристаллического сцинтиллятора LFS. Радиационная стойкость этого детектора в 10 раз больше по сравнению с PAD детектором. Исследовались тройное и "псевдо" четверное деления Cf^{252} с помощью ДЕ-Е телескопа, созданного на основе микропиксельного детектора «Timerix». Установлено, что энергии выход продуктов тройных делений (т.е. He, Li, Be) составляют 15.8 МэВ, 15.3 МэВ, 18.1 МэВ и $3.8 \cdot 10^{-3}$, $1.2 \cdot 10^{-5}$, $8.6 \cdot 10^{-5}$, соответственно. Энергии и выходы (α , α) пар при делении изотопа ^8Be с основного и возбужденного состояния составляют 11.8 МэВ, 14.5 МэВ и $1.3 \cdot 10^{-6}$, $3.6 \cdot 10^{-6}$, соответственно. Угол между (α , α) парами в основном состоянии равен 5.6° .

GADIR SATTAR ogly AHMADOV

DEVELOPMENT OF NEW MICROPIXEL DETECTORS FOR REGISTRATION OF FISSION PRODUCTS

ABSTRACT

New type of micro-pixel avalanche photodiode (MAPD) with field induced potential well was developed and investigated for registration low intensity nuclear fission products. This construction allows to enhance photon detection efficiency (PDE) from 25% to 40%. Recovery time is 300 μm for this construction. Another type of micro-pixel avalanche photodiode (MAPD) with field induced resistor was developed and investigated, too. Recovery time

was enhanced from $3 \cdot 10^5$ ns up to 40 ns due to nonexistence of potential wells in these types of MAPD and PDE is 25 % for this type of the MAPD. Modified Miller formula describes dependence of the MAPD gain and stationary avalanche current on applied voltage with enough precision ($\sim 10\%$) for avalanche photodiodes both in Geiger mode (above breakdown voltage) and in regular one (below breakdown voltage). Breakdown voltage is determined by this formula using a linear extrapolation of stationary VAX characteristics. PAD detectors for mobile neutron generators were irradiated with neutrons (1 MeV) and alpha particles (3.5 MeV) at different fluxes and radiation hardness of PAD detectors was studied. Dark current of irradiation detector with both neutron and alpha particles at same dose of $5 \cdot 10^{11}/\text{sm}^2$ was increased 10^2 and 10^3 times, respectively. An alternative scintillation detector (LFS) based on the MAPD was produced. Radiation hardness of this detector is 10 times more than the PAD detector. Ternary and “Pseudo” quaternary fission particles from Cf^{252} spontaneous fission source were detected using ΔE -E telescope based on Timepix mixropixel detector. The emission probabilities (to binary fission) and the energy of ternary particles (He, Li, Be) are obtained 15.8 MeV, 15.3 MeV, 18.1 MeV and $3.8 \cdot 10^{-3}$, $1.2 \cdot 10^{-5}$, $8.6 \cdot 10^{-5}$, respectively. The energies and yields of (α, α) pairs from ^8Be isotope in both ground and first excited state are 11.8 MeV, 14.5 MeV and $1.3 \cdot 10^{-6}$, $3.6 \cdot 10^{-6}$, respectively. Angle between (α, α) pairs in ground state is 5.6° .

AMEA-nın mətbəəsində çap olunub
Tiraj - 100

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА
ИНСТИТУТ

К ПРОБЛЕМ

На правах рукописи

ГАДИР САТТАР оглы АХМЕДОВ

***РАЗРАБОТКА НОВЫХ МИКРОПИКСЕЛЬНЫХ
ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ПРОДУКТОВ
ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР***

2225.01 – Радиационное материаловедение

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени доктора
философии по физике

БАКУ – 2015