

**AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI
RADIASIYA PROBLEMLƏRİ İNSTİTUTU**

Əlyazması hüququnda

SAMİR SÜLEYMAN OĞLU SÜLEYMANOV

**MİKROPİKSELLİ SELVARİ FOTODİODLAR ƏSASINDA
YÜKSƏK HƏSSASLIQLI QAMMA-DETEKTOR MODULLARI
VƏ ONLARIN RADIASIYA DAVAMLILIĞI**

2225.01 – Radiasiya materialşünaslığı

Fizika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş
dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı-2016

Dissertasiya işi AMEA-nın Radiasiya Problemləri İnstitutunda yerinə yetirilmişdir

Elmi rəhbərlər:

F.-r.e.d.

Z.Y.Sadiqov

F.ü.f. d.

F.İ. Əhmədov

Rəsmi opponentlər:

F.-r.e.d., prof.

N.M. Mehdiyev

F.-r.e.d., prof.

H.S. Orucov

Aparıcı təşkilat:AMEA-nın **H. M. Abdullayev** adına Fizika İnstitutu (“Yarımkeçiricilərdə tarazlıqda olmayan elektron prosesləri”laboratoriyası)

Dissertasiyanın müdafiəsi «25»_noyabr **2016** cı il saat «15⁰⁰» -də Azərbaycan MEA-nın Radiasiya Problemləri İnstitutu nəzdində D.01.221 sayılı 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 «24»oktyabr **2016** cı ildə göndərilmişdir.

Dissertasiya Şurasının

Elmi katibi,

k.ü.e.d.

T.N. Ağayev

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Son dövrlərdə nüvə texnologiyaları və radioizotop maddələr elmdə, sənayedə, kənd təsərrüfatında və başqa sahələrdə geniş tətbiq edilir. Bu sahələrdə radiasiya təhlükəsizliyinin təmin edilməsi gündəmdə olan məsələlərdəndir. Hal-hazırda radiasiya təhlükəsizliyinin təmin edilməsi məqsədi ilə qaz kameralı sayğaclar, termoluminisent təbəqə və ssintilyatorəsashı detektor modulları geniş istifadə edilir. İstifadə edilən bu detektor modullarının bir sıra çatışmazlıqları mövcuddur. Məsələn, qaz kameralı sayğaclarla qeyd etmə effektivliyinin çox aşağı olması, termoluminisent təbəqə əsaslı qeydedicilərdə dozanın oxunması üçün əlavə oxuyucudan istifadə edilməsi, ssintilyator əsaslı detektor modullarında yüksək gərginlikdən istifadə edilməsi bu cihazların tətbiqi zamanı müəyyən problemlər yaradır. Sadalanan çoxsaylı bu çatışmazlıqlar detektor modullarının yeni nəsil fotoqeydedicilər əsasında inkişaf etdirilməsini aktual edir.

Dissertasiya işinin məqsədi silisium əsaslı yeni mikropikselli selvari fotodiodlarda signalın yaranma mexanizminə qamma şüaların və beta zərrəciklərin təsir xüsusiyyətlərinin müəyyən edilməsindən və onların əsasında ssintilyatorlu detektor modullarının işlənməsindən ibarətdir.

Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlərin həlli nəzərdə tutulmuşdur.

- MSFD tipli fotoqəbuledicinin qamma şüalara qarşı radiasiya davamlılığının öyrənilməsi;
- Qamma şüaları və beta zərrəcikləri qeyd etmək üçün MSFD fotodiod və ssintilyator əsaslı modulların işlənməsi və onların tədqiqi;
- MSFD fotodiodlar əsasında hazırlanmış ssintilyatorlu detektorların qamma şüaları və beta zərrəcikləri bir-birindən ayırd etmə effektivliyinin tədqiqi;
- Ssintilyatorlu dozimetrlər üçün elektron blokların işlənməsi və sınağı;
- MSFD fotodiodlar əsasında hazırlanan detektor modullarının parametrlərinin ölçülməsi;

İşin tədqiqat obyektı silisium əsaslı mikropikselli selvari fotodiodlar və ssintilyatorlar əsasında hazırlanmış detektor modullarıdır. Müxtəlif radiasiya şəraitində tədqiqat obyektindən alınan signalın amplitud spektrlərini tədqiq edərkən riyazi modelləşdirmə və təsvir etmə üsullarından istifadə edilmişdir.

Tədqiqat nəticəsində əldə edilən elmi yeniliklər aşağıdakılardan ibarətdir:

- MSFD tipli fotoqəbuledicilər 1,17MeV və 1,33MeV enerjili qamma şüaları ilə şüalandırıldıqda fotodiodun qaranlıq cərəyanı şüalanma dozasından asılı olaraq xətti artır;
- MSFD tipli fotoqəbuledicilərin analoqlarına nisbətən daha yüksək radiasiya davamlılığının birinci epitaksiya layındakı radiasiya defektləri tərəfindən yaranan əlavə yüklərin selvari proses gedən sahəyə düşə bilməməsi ilə əlaqədardır;
- MSFD fotodiodlar əsasında hazırlanmış ssintilyatorlu detektorlar qamma şüaları və beta zərrəciklərinin bir-birindən, onların ssintilyatorlarda yaratdığı işıq impulslarına görə, ayırd etməyə imkan verir;
- MSFD və LFS ssintilyator əsasında hazırlanmış detektorların enerjisi 26,3keV-1,33MeV intervalında olan qamma kvantları qeyd edərkən öz xəttliliyini saxlayır;
- Söndürücü müqaviməti ardıcıl birləşmiş səthi mikro p-n- keçidlərdən ibarət olan yeni MSFD tipli fotoqəbuledicinin konstruksiyası işlənmişdir.

İşin praktik əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, ilk dəfə olaraq MSFD tipli fotoqəbuledicilər əsasında yüksək həssaslıqlı qamma-detektor modulları işlənmişdir. Hazırlanmış detektor modulları analoqlarından fərqli olaraq çox geniş enerji oblastında ($\approx 26,3\text{keV}-1,33\text{MeV}$ enerji intervalında) qamma şüaların enerjilərini düzgün təyin etməyə imkan verir. Söndürücü müqaviməti ardıcıl birləşmiş səthi mikro p-n- keçidlərdən ibarət olan yeni MSFD fotodiodlar signalın selvari gücləndirmə əmsalını ən azı 3 dəfə artırmağa imkan verir. Yeni hazırlanmış detektor modulları yüksək enerjilər fizikasında, astronomiyada, tibbdə, qamma spektroskopiyada və sənayedə geniş istifadə oluna bilər.

Müdafiyyə çıxarılan elmi müddəalar aşağıdakılardan ibarətdir:

1. MSFD tipli fotoqəbuledicilərin qaranlıq cərəyanının 1,17 MeV və 1,33 MeV enerjili qamma şüaların dozasından asılı olaraq xətti artması;
2. Qamma kvantları ilə şüalanmış MSFD fotodiodlarda səthi və həcmi qaranlıq cərəyanlarını bir-birindən ayırmağa imkan verən yeni metodun işlənməsi;
3. MSFD fotodiodlarda radiasiya defektlərinin və xarici işıq fonunun təsiri ilə selvari gücləndirmə əmsalının azalma mexanizmi;
4. MSFD fotodiod və LFS ssintilyatoru əsasında işlənmiş detektor modulunun 26,3keV–1,33MeV enerjili qamma şüaları qeyd edərkən onun foto cavabının enerjiden asılı olaraq xətti artması;

5. İlk dəfə olaraq MSFD fotodiod, p-terfenil, stilben və fiber əsasında detektor modulları işlənmiş və onların alfa, beta və neytron zərrəciklərini qeydetmə həssaslığının məlum analoqlara nisbətən daha yüksək effektivliyə malik olması.

Dissertasiya işinin sınağı. Dissertasiya işinin əsas nəticələri VII Eurasian Conference Nuclear Science and Its Application (2015- Kazakıstan), Международная Конференция «Инженерия Сцинтилляционных Материалов и Радиационные Технологии» (2016- Minsk, Belarusiya), International Workshop on Radiation Imaging Detectors, iWoRID-2014, (2014- Trieste, Italy), International Workshop on Radiation Imaging Detectors, iWoRID-2016 (2016- Barcelona, Spain), Aviasiya problemlərinin həllində gənclərin yaradıcılıq potensialı” mövzusunda gənclərin 1-ci elmi-praktik konfransı (2015- Bakı) kimi beynəlxalq konfrans və seminarlarda müzakirə edilmişdir.

Çap edilmiş işlər. Dissertasiyanın mövzusu üzrə 15 elmi iş dərc olunmuşdur. Bu işlərdən 6-sı AAK-nin tələblərinə cavab verən jurnallarda, digərlərinin isə Beynəlxalq konfrans və seminarlarda müzakirəsi aparılmış və tezislər şəklində dərc edilmişdir.

Dissertasiyanın quruluşu və həcmi. Dissertasiya işi mündəricat, şərti işarələrin siyahısı, giriş, 4 fəsil, əsas nəticələr və 102 adda istifadə edilən ədəbiyyat siyahısı olmaqla ümumilikdə 158 səhifədən, o cümlədən 107 kompüter çap səhifəsi, 68 şəkil və 2 cədvəldən ibarətdir.

DİSSERTASIYA İŞİNİN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə dissertasiya işinin aktuallığı, məqsədin formalaşdırılması və əsas tapşırıqlar, elmi nəticələrin yenilikləri, işin təcrübi əhəmiyyəti göstərilmişdir. Burada həmçinin müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, təqdim edilən işlərin aprobeasiya siyahısını göstərilməklə yanaşı işin əsas məzmunu qısa şəkildə şərh olunmuşdur.

Birinci fəsildə radiasiya qeydediciləri barədə geniş məlumat verilmişdir. İonlaşdırıcı radiasiya detektorlarının növləri haqqında toplanan məlumatlardan sonra onların texnoloqiyası və qamma şüalarının qeyd edilməsi metodları araşdırılmışdır. Bununla yanaşı qeydedicilərin impuls və cərəyan rejimləri geniş şəkildə göstərilmiş və ionlaşdırıcı detektorları xarakterizə edən parametrlər haqqında məlumatlar verilmişdir. Fəsildə həmçinin müxtəlif ənənəvi qaz sayğacı, TLD və mikropiksel tipli detektorların quruluşuna və xassələrinə nəzər salınmışdır. Hər bir detektorların konstruksiyası ədəbiyyatlara istinad olaraq sxemlər və dövrlər vasitəsi ilə göstərilmişdir. Bu fəsildə həmçinin müxtəlif şirkətlərin istehsalı

olan MSFD fotodiodlar əsasında hazırlanmış detektor modullarının çatışmazlıqları araşdırılmışdır. Göstərilmişdir ki, Hamamatsu və SensL şirkətinin müxtəlif fotodiodları əsasında hazırlanmış detektor modulları yalnız 80keV-662keV enerji intervalındakı qamma şüaları xətti rejimdə işləyərək qeyd etməyə imkan verir. Detektorların enerji ayırd etməsi MSFD fotodiodlarda piksel sıxlığı artdıqca enerji ayırd etməsi pisləşmişdir. Həmçinin MSFD fotodiodlar əsasında hazırlanmış detektorların xəttiliyini artırmaq üçün matrislərdən də istifadə imkanları araşdırılmışdır. Göstərilmişdir ki, matris elementlərinin sayı artdıqca detektor modulunun enerji ayırd etməsi pisləşmiş və xəttiliyi isə 32 keV-dən 1274 keV-ə qədər davam etmişdir. Detektorun xəttiliyini artırmaq üçün təklif edilən çox elementli matrislərin hazırlanmasında bir sıra xüsusi çatışmazlıqlar göstərilmişdir. Matris elementlərindən istifadə edərək xəttiliyin artırılması metodu detektor modulunun qiymətinin dəfələrlə artmasına səbəb olmuşdur. Həmçinin MSFD fotodiodların parametrlərinə ionlaşdırıcı radiasiya şüalanmasının təsiridə geniş araşdırılmışdır. Beləliklə, bu fəsildə göstərilmişdir ki, radiasiya detektorların xəttiliyini və enerji ayırd etməsini yaxşılaşdırmaq üçün pikselləri dərinlikdə yerləşən MSFD fotodiodların istifadəsi daha önəmlidir.

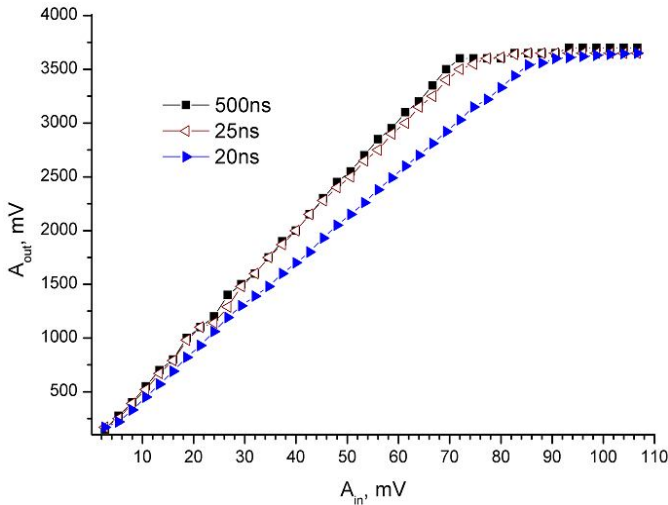
İkinci fəsildə istifadə edilən MSFD-3N1P, MSFD-3NK və MSFD-3D tip fotodiodların quruluşu və onların parametrləri haqqında informasiya verilmişdir. MSFD-3N1P fotodiodlarında piksel sıxlığı $15000 \text{ piksel/mm}^2$, MSFD-3NK fotodiodlarında piksel sıxlığı $10000 \text{ piksel/mm}^2$, MSFD-3D fotodiodlarında piksel sıxlığı isə 665 piksel/mm^2 olmuşdur. MSFD-3NK fotodiodun fotoqeyd etmə effektivliyinin (FQE) artması səbəbləri araşdırılmışdır.

Bu fəsildə pikselləri səthdə yerləşən MSFD-3D fotodiodların gücləndirmə əmsalını və həndəsi faktoru artırmaq üçün yeni konstruksiya təklif edilmişdir. Yeni cihazda selvari prosesin sönməsi ardıcıl birləşmiş p-n keçidlərə düşən gərginlik hesabına baş verir. MSFD fotodiodların gücləndirmə əmsalının artırılması üçün məhz hər piksellə ardıcıl qoşulmuş p-n keçidlərin sayının artırılması təklif edilmişdir.

MSFD fotodiodların gücləndirmə əmsalını, FQE-sini, qaranlıq cərəyanını, ionlaşdırıcı radiasiyanı qeyd etmə həssaslığını tədqiq etmək üçün istifadə edilən təcrübə dövrə göstərilmişdir. MSFD fotodiodların və onların əsasında yaradılan ssintilyatorlu detektorların parametrlərinin təyin edilməsi zamanı iki tip analoq rəqəmsal çevricidən istifadə edilmişdir. İstifadə edilmiş çeviricilərin xassələri cədvəl şəkilində verilmişdir. Çevirilmiş bu siqnallar daha sonra C++ proqram dilində xüsusi proqram vasitəsi ilə inteqrallanmış

və kanalların sayının hadisələrin sayından asılılığı histoqramı qurulmuşdur. Spektrlər Root-5.34 və Origin-9 proqramlarında işlənilmişdir.

LFS ssintilyatorlarından buraxılan ssintilyasiya fotonlarının davametmə müdətinin böyük diapozonda dəyişməsi yüksək buraxma eni olan gücləndiricilərdən istifadə edilməsinə ehtiyac yaranmışdır. Bu səbəbdən təcrübələrdə iki tip gücləndiricilərdən istifadə edilmişdir: LT-1355 və LH6657. Yığılmış gücləndiricilərin buraxma zolağının eni 45 MHz olmuşdur (şək.1).



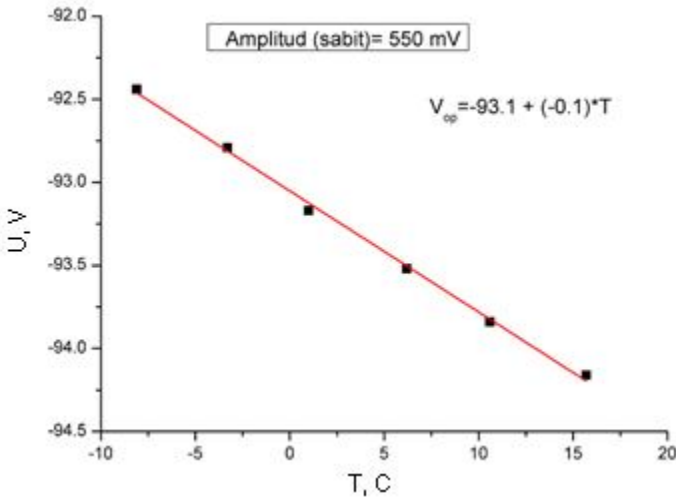
Şək. 1. Sıqnal gücləndiricisinin çıxış sıqnalının giriş sıqnalından və impulsun enindən asılılığı.

Bu tip gücləndiricilərin impuls eni 22 nsan böyük olan sıqnalları gücləndirməsi zamanı öz xəttiliyini tam 3.5V amplituda qədər qorumuşdur. Onların müqayisəli analizi, iş prinsipləri və ssintilyasiya detektorlarında tətbiqi öyrənilmişdir. Alınan nəticələrdən məlum olmuşdur ki, LH-6657 gücləndiriciləri əsasında hazırlanmış iki kaskadlı gücləndiricilər sənayedə, tibbdə və təcrübələrdə istifadə edilən əksər (BGO, NaI, CsI, LaBr, YAP və LFS) qeyri-üzvi ssintilyatorlardan alınan sıqnalların gücləndirilməsində istifadə oluna bilər.

Üçüncü fəsildə İonlaşdırıcı radiasiyanı qeyd etmək üçün istifadə edilən MSFD fotodiodlar haqqında məlumat verilmişdir. İonlaşdırıcı radiasiyanı qeyd etmək üçün MSFD-3N1P, MSFD-3D və MSFD-3NK kimi 3 tip fotodioddan və p-terfenil, stilben, LFS və NaI kimi 4 tip ssintilyatordan istifadə edilmişdir. İstifadə edilən diodlardan MSFD-3N1P və MSFD-3NK

fotodiodları oxşar qurluşa malikdirlər, belə ki, bu fotodiodların pikselləri epitaksial layın dərinliyində yerləşmişdir. Bu tip MSFD fotodiodlar n-tip silisium altlıqlar üzərində epitaksia üsulu ilə yetişdirilmiş və bu laylar arasında yerləşən n-tip aşqarlarla yüksək aşqarlanmış piksellərdən ibarətdir. Ona görə də bu tip diodlar yüksək piksel sıxlığı, geometrik faktorun yüksək olması və yüksək radiasiya davamlılığı kimi üstünlüklərə malikdirlər. MSFD-3D fotodiodları MSFD-3N1P və MSFD-3NK fotodiodlarından fərqli olaraq pikselləri səthdə yerləşir. Onlar yüksək qeydetmə effektivliyi, aşağı cərəyan axını və aşağı bərpa olunma müddəti kimi xassələrə malikdirlər.

Bu fəsildə MSFD fotodiodların işləmə gərginliyinin -10^0 C- $+25^0$ C temperatur intervalında dəyişməsi tədqiq edilmişdir (Şək .2). Müəyyən edilmişdir ki, fotodiodun işləmə gərginliyi temperaturdan asılı olaraq xətti qanunla dəyişir, yəni $V_{pp}(\text{sabit amplitud}) = 93,1 - 0,1 \times T$. Bununla

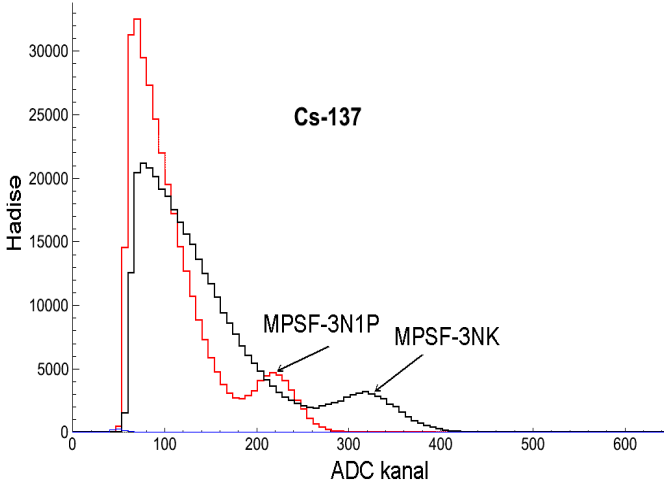


Şək .2 Sabit amplitudda işləmə gərginliyinin temperaturdan asılılığı.

yanəşi, MSFD fotodiodlarda fotosiqnalın amplituduna süni qaranlıq cərəyanın təsiri də öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, qaranlıq cərəyan 3,3 dəfə artdıqda fotosiqnalın amplitudu 1,6 dəfə azalır.

MSFD fotodiod və p-terfenil, LFS, NaI, stilben və fiber ssintilyatorlar əsasında hazırlanmış detektorların qamma şüalara, sürətli neytronlara, beta və alfa zərrəciklərə həssaslığı öyrənilmişdir. Fiber ssintilyatorlar əsasında hazırlanmış detektorların 400keV-dən böyük enerjili qamma şüaları qeyd edə bilməsi müəyyən edilmişdir. Beta zərrəcikləri və qamma şüaları p-

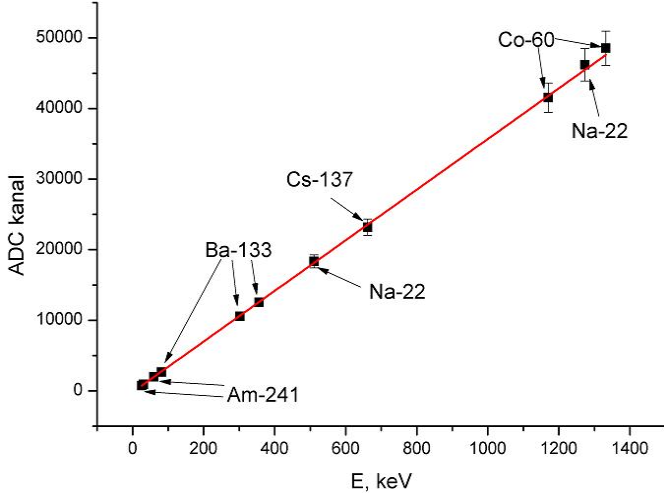
terfenil ssintilyatoru və MSFD fotodiodları ilə birbaşa qeydetmə həssaslığında müəyyən edilmişdir. Bu tip detektorlar 60keV enerjili qamma şüaları qeyd edə bilmişdir. MSFD-3NK fotodiodu MSFD-3N1P fotodiodundan fərqli olaraq Cs-137 izotopunun buraxdığı monoenergetik elektrona uyğun gələn siqnalın amplitudu təqribən 40% yüksək olmuşdur (şək 3). Bu isə birbaşa olaraq yeni hazırlanmış MSFD-3NK diodda antiqaytarıcı təbəqənin istifadəsi və gücləndirmə əmsalının artması ilə bağlı olmuşdur. Cs-137 izotopunun buraxdığı monoenergetik elektron üçün enerji ayırd etməsi 23% alınmışdır.



Şəkil.3. MSFD (3N1P və 3NK) fotodiod və plastik ssintilyator əsasında hazırlanmış detektorun Cs-137 izotoplarının buraxdığı ionlaşdırıcı şüalanmanın amplituda görə paylanma spektri .

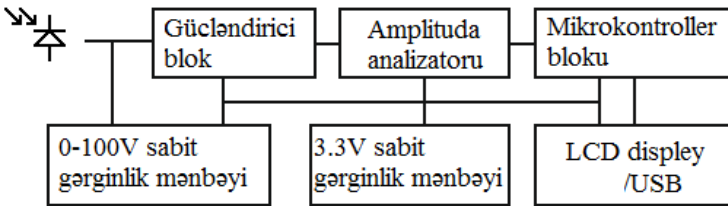
Həmçinin BCF-12 fiber ssintilyatoru və Zecotek Photonics şirkəti ilə birgə əməkdaşlıq çərçivəsində hazırlanmış MSFD-3N və MSFD-3D selvari fotoqeydedicilərdən və Rusiyanın CPTA şirkətinin istehsalı olan CPTA-143-30 fotodiodundan istifadə edərək 5,5 MeV enerjili alfa zərrəciyini qeydetmə performansını tədqiq edilmişdir. Məlum olmuşdur ki, Zecotek şirkətinin istehsalı olan MSFD-3N fotodiodları eyni bir təcrübə şəraitdə CPTA-143-30 fotodiodları ilə müqayisədə 30% və MSFD-3D fotodiodları ilə müqayisədə isə 21% daha çox hadisə qeyd etmişdir. Sürətli neytronların qeyd etmə performansının tədqiq etmək üçün stilben və p-terfenil ssintilyatorlarından istifadə edilmişdir.

LFS sintilyatorundan istifadə edərək hazırlanmış detektorlar 23,6 keV-1,33MeV enerji intervalında xətti işləmişdir və bu detektorun kalibrəmə əyrisi bu qanunla dəyişmişdir: $ADC(kanal) = -180 + 35,9 \times E(keV)$. (şək 4). Bu detektorun 662 keV enerjili qamma şüası üçün enerji ayırd etməsi 11,5% olmuşdur.



Şək. 4. LFS-3 ssintilyator + MSFD fotodiod əsasında hazırlanmış detektorun 26,3keV və 1,33MeV enerji intervalındakı xətti asılılığı.

Dördüncü fəsildə MSFD fotodiodu əsasında detektor modulunun (DM) blok dövrəsi hazırlanmışdır (şək 5). DM -nin



Şək 5. Detektor modulunun blok dövrəsi.

ssintilyatorlu detektorunun hazırlanması zamanı MSFD-3NK fotodiodundan və NaJ ssintilyatorundan istifadə edilmişdir. MSFD-3NK fotodiodunun sahəsi $3,7 \times 3,7 \text{ mm}^2$, işləmə gərginliyi 91V, gücləndirməsi 100000 və FQE-si 40 % olmuşdur. MSFD fotodiodlar yüksək gərginlik rejimində işlədiyi üçün

elektrik sxeminin əsas hissəsi gərginlik gücləndiricisindən ibarətdir. DM –nin əsas hissələrindən biri də gərginlik çevirici hissəsidir. Bunun üçün ATMEGA1281 mikro çipinin bir çıxışı impuls generatoru kimi istifadə edilmişdir. Alınan impuls proqram vasitəsi ilə idarə oluna bilər. İmpuls düzbucaqlı formalı olub, tezliyi 15000 Hz (rezonans tezliyi-LC), amplitudu 3V, davam etmə müddəti isə 30 mksan-yə seçilmişdir. Bu impulslar induktivliyi 3700 mH olan sarğıya verilir. Bu zaman induktiv sarğacda toplanan enerji tezlikdən asılı olaraq BAV.102 (işləmə gərginliyi 500 V) diodun vasitəsi ilə tutumları 10 nF (işləmə gərginliyi 500 V) olan kondensatora boşalır. Kondensatorda toplanan yükün boşalması çıxış gərginliyin yenidən artmasına səbəb olur. Yarımkeçirici diod yükün geri qayıtmasının qarşısını almaq üçün istifadə olunmuşdur. Beləliklə kondensator-diod cütünün sayını artırmaqla çıxış gərginliyi artırılır. Bu gərginlik çevirici vasitəsi ilə 3.5-5V intervalında olan sabit gərginliyi +94V gərginliyə çevirmək mümkündür. Çıxış gərginliyinin fluktuasiyası 0,01V az olmuşdur.

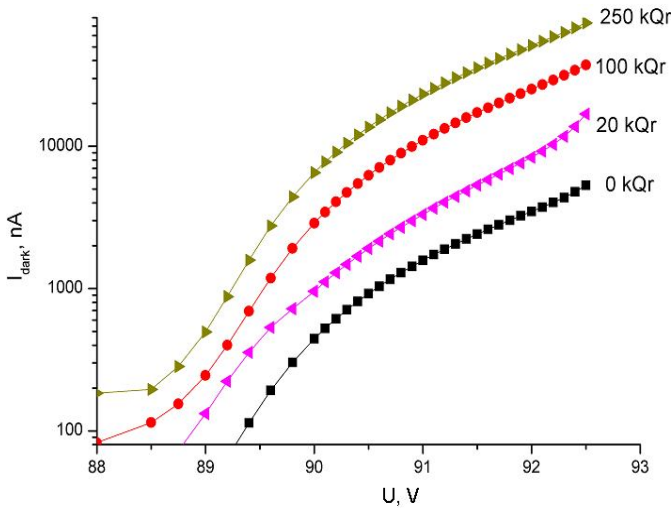
Dozimetr blokunun ikinci hissəsi siqnal gücləndirici bloktur. Gücləndirici yığılmasında LT-1357 və LH6655 gücləndiricilərindən istifadə edilmişdir.

Dozimetr blokunun üçüncü hissəsi analizator bloktur. Analizator blokunun əsas hissəsi Analox-rəqəm çeviricisidir (ARÇ). ARÇ-nin hər bir kanalı bir amplituda uyğun gəlir. Əksər ARÇ-ində analox siqnalın diskret koda çevirmə müddəti adətən 1 mksan. olur ki, bu da bizim halda giriş siqnallarının eni 10-20 nsan olan siqnalları koda çevirməyə kifayət etmir. Bu səbəbdən də detektorlardan alınan siqnallar amplitud detektorları vasitəsi ilə gücləndirilir. Amplitudaları fərqli olan analox siqnalları rəqəmsal kodlara çevirərək çox kanallı analizatorun kanallarında yerləşdirilir. Detektor blokuna düşən qamma şüaların enerjisindən asılı olaraq çox kanallı analizatorun kanallarına düşən hadisələrin də sayı dəyişir. Bu analizator blokunda 1024 kanallı analizator istifadə edilmişdir. Daha sonra analizator blokuna daxil olan siqnalların amplitudu analiz olunaraq rəqəm kodu şəklində mikrokontroller blokuna daxil olan çox kanallı sayğaca yerləşdirilir. Mikrokontroller bloku əvvəlcə çoxkanallı sayğacın hər bir kanalında toplanmış amplituda görə paylanmış siqnalların rəqəm kodları üzərində, daha sonra ümumi hesablama əməliyyatı apararaq yekun nəticəni LCD displeyə ötürür.

Xüsusi yazılmış proqram vasitəsi ilə ATMEGA 1281 mikro-çipinin sayğac girişindəki impulslar (İmp/saniyə) hesablanır və impulslara ekvivalent olan doza tapılır (mkZv/saat). Hər iki kəmiyyət dozimetrim

displayində göstərilir. Mikro-çipi proqramlaşdırmaq üçün C++ proqramlaşdırma dilində proqram yazmağa imkan verən CodeVisionAVR kompilyatorundan istifadə olunmuşdur. Proqramın mikro-çipə yazılması üçün isə FT232-USB-UART proqramatorundan istifadə edilmişdir. Bununla yanaşı şüalanma dozası təhlükəli həddə çatdığı zaman cihazın xəbərdarlıq etməsi üçün dövrəyə səs verici birləşdirilmişdir. MSFD fotodiod əsaslı ssintilyator detektorunun üzərinə düşən qamma şüalarının sayı təbii fondan 4 dəfə böyük olduqda xəbərdaredici signalı qoşulur.

Bu fəsilə həmçinin MSFD fotodiodlar və gücləndirici modul yüksək qamma radiasiya fonunda tədqiq edilmişdir. Qamma şüalarla şüalandırma üçün dörd ədəd MSFD-3NK fotodiodundan istifadə edilmişdir. Hər dörd fotodiodun qaranlıq cərəyanları və işləmə gərginliyi bir-birinə yaxın seçilmişdir. Şüalanmış fotodiodun xassələri ölçülərkən hər dəfə etalon fotodioddan istifadə edilmişdir. Qamma şüa mənbəsi olaraq AMEA- nın Radiasiya Problemləri İnstitutunun nəzdində olan yüksək aktivlikli Co-60 mənbəsindən istifadə edilmişdir. MSFD-3NK fotodiodlarının şüalanması 3 mərhələdə yerinə yetirilmişdir: 20 kQr, 100 kQr, 250 kQr və nəticələr qrafik şəkilində göstərilmişdir (şək 6). Şüalanmadan sonra MSFD



Şəkil. 6. Mikropikselli selvari fotodiodun qaranlıq cərəyanının müxtəlif dozalarda gərginlikdən asılılığı

fotodiodun qaranlıq cərəyanı 15 dəfə artmışdır. Detektorun həcmində və səthində əmələ gələn radiasiya defektlərinin MSFD-nin ümumi qaranlıq cərəyanına ($\dot{I}_{\text{tot.}}$) təsiri müxtəlif olur. Məsələn, şüalanma zamanı metal-oksid-yarımkeçirici əsaslı cihazlarda səthi cərəyanın ($\dot{I}_{\text{s.g.}}$) artımı həcmi cərəyanın ($\dot{I}_{\text{v.g.}}$) artımından xeyli çox olur. Ona görə də, şüalanmadan sonra MSFD-də məhz hansı cərəyanın və nə qədər artmasını müəyyən etmək elmi cəhətdən böyük maraq doğurur.

Səthi və həcmi defektlərin MSFD-nin ümumi cərəyanının qiymətinə necə təsir etdiyini bilmək üçün $\dot{I}_{\text{s.g.}}$ və $\dot{I}_{\text{v.g.}}$ cərəyanlarını bir birindən ayırmaq lazımdır. Bunun üçün tərəfimizdən aşağıda təsvir olunan yeni metod təklif edilmişdir. Məlumdur ki, MSFD-nin ümumi (tam) qaranlıq cərəyanını aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$\dot{I}_{\text{tot}} = \dot{I}_{\text{s.g.}} + \dot{I}_{\text{av.}} = \dot{I}_{\text{s.g.}} + M \times \dot{I}_{\text{v.g.}}$$

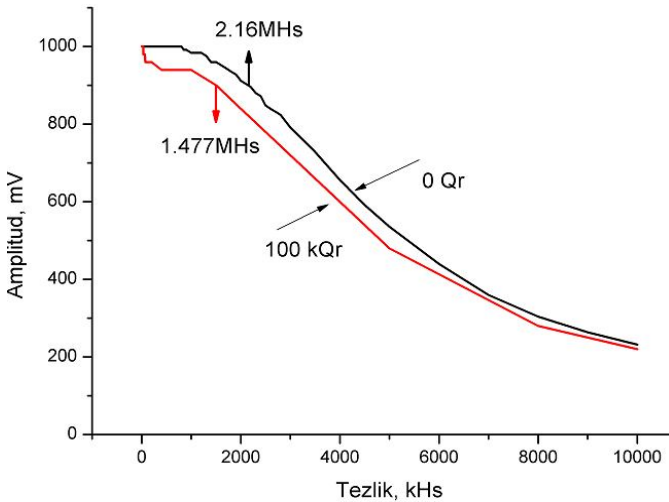
burada M – selvari prosesin gücləndirmə əmsalıdır, $\dot{I}_{\text{v.g.}}$ – fotodiodun həcmində yaranan və selvari güclənmədə iştirak edən qaranlıq cərəyandır, $\dot{I}_{\text{s.g.}}$ – səthi qaranlıq cərəyandır. Səthi generasiya cərəyanı $\dot{I}_{\text{s.g.}}$ sel prosesdə güclənə bilmir, ona görə ki, bu cərəyan sel oblastından keçmir. Bununla yanaşı, fotodiodun həcmində yaranan $\dot{I}_{\text{v.g.}}$ cərəyanı yalnız selvari güclənmədə iştirak edir.

Təklif olunan metod MSFD-in impuls rejimində ölçülən gücləndirmə əmsalının ona düşən sabit işıq selinin gücündən asılı olaraq monoton azalmasına əsaslanır. Bu zaman etalon (şüalanmamış) MSFD-dən istifadə etmək lazım gəlir. Işıq mənbələri kimi dalğa uzunluğu təqribən 1 mkm olan iki yarımkeçirici işıq diodu istifadə etmək lazımdır ki, fotoelektronlar MSFD-nin həcmində eynicins yaransın (radiasiya defektlərinin yaratdığı generasiya cərəyanı kimi). Işıq diodlarından biri impuls gərginlik rejimində, o biri isə sabit gərginlik rejimində işləyir. Birinci işıq diodu gücləndirmə əmsalını ölçmək üçün, ikinci isə MSFD-nin həcmində bircins fotogenerasiya cərəyanı yaratmaq üçün istifadə edilir. Şüalanmadan sonra MSFD-də həcmi generasiya cərəyanı aşağıdakı ardıcılıqla ölçülür.

- Birinci, müəyyən qamma seli ilə şüalanmış MSFD-nin verilmiş sabit gərginlikdə (bizim halda, 90,5V) gücləndirmə əmsalı $M_{\text{şua.}}$ və qaranlıq cərəyanı $\dot{I}_{\text{t.şua}}$ ölçülür.
- İkinci, etalon MSFD-yə elə gərginlik verilir ki, onun gücləndirmə əmsalı şüalanmamış MSFD-nin gücləndirmə əmsalına bərabər olsun.
- Üçüncü, etalon MSFD-yi işıq diodundan istifadə edərək elə işıqlandırırırlar ki, onun tam cərəyanı ($\dot{I}_{\text{t.ışıq}}$) şüalanmış MSFD-nin tam cərəyanına bərabər olsun (yəni, $\dot{I}_{\text{t.ışıq}} = \dot{I}_{\text{t.şua}}$). Bu halda, şüalanmış MSFD-nin həcmi generasiya cərəyanı $\dot{I}_{\text{v.g.}} = \dot{I}_{\text{t.ışıq}} / M_{\text{şua.}}$

Tərəfimizdən aparılan tədqiqatlar göstərir ki, şüalanmadan sonra MSFD-nin tam qaranlıq cərəyanının artması əsasən həcmi generasiya cərəyanının artması ilə əlaqədardır. Eyni zamanda, səthi cərəyanın artımı aşkar edilməmişdir. Məhz bu səbəbdən də radiasiya hesabına yaranan generasiya cərəyanı artdıqca MSFD fotodiodun qaranlıq cərəyanı xətti olaraq artır. MSFD diodun gücləndirmə əmsalını bərpa etmək üçün MSFD-yə verilən gərginliyi təqribən 1% artırmaq kifayətdir. Qeyd etmək lazımdır ki, qaranlıq cərəyanın 15 dəfə artmasına baxmayaraq MSFD-3NK fotodiodları 250 kQr dozadan sonra öz işlək parametrlərini saxlamışdır.

Elektron signal gücləndiricilərin şüalanması zamanı 100 kQr dozada buraxma zolağı 30 % azalmışdır (Şək.7). Başqa sözlə, artıq bu tip gücləndiricilər ssintilyatordan buraxılan və davamətmə müddəti 470 nsan olan siqnalları normal gücləndirə bilməmişdilər. Bu səbəbdəndə şüalanma dozasının 100 kQr qiymətindən sonra belə gücləndiricilərin NaJ, LFS və BGO



Şək.7 Gücləndiricinin buraxma zolağının tezlikdən asılılığı.

ssintilyatorlarından oxunan siqnallarda istifadəsi əlverişsiz sayılır. Şüalanmadan sonra gücləndiricini təşkil edən digər element hissələri olan tutumların və rezistorların qiymətində heç bir dəyişmə müşahidə edilməmişdir. Beləliklə, gücləndiricinin xassəsinin belə dəyişməsi yalnız

LT-1357 gücləndiricisini təşkil edən çoxsaylı metal-oksüd-yarımkeçirici (MOY) və digər tip tranzistorlarda radiasiya hesabına yaranan effektlərlə bağlı olmuşdur.

Bu fəsilin sonunda həmçinin DM-nin qamma korataj qurğusunda sınağı həyata keçirilmişdir.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

Dissertasiya işində əldə edilən elmi yeniliklər və əsas nəticələr ümumiləşdirilərək 6 bənddə öz əksini tapmışdır:

1. MSFD-3NK tipli yeni fotodiodların radiasiyaya davamlığı öyrənilmiş və müəyyən edilmişdir ki, bu fotodiodlar 1,17MeV və 1,33MeV enerjili qamma şüaları ilə 250 kQr dozaya qədər şüalandırıldıqda onların qaranlıq selvari cərəyanı 15 dəfə artmış və gücləndirmə əmsalı kəskin azalmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, şüalandırılmış fotodiodların ilkin gücləndirmə əmsalını bərpa etmək üçün onun işlək gərginliyini təqribən 1% artırmaq kifayətdir.
2. MSFD fotodiodlar əsasında hazırlanmış detektor modullarında istifadə üçün işlənmiş elektrik signal gücləndiricisinin parametrlərinə 1,17MeV və 1,33MeV enerjili qamma şüaların təsiri öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, 100kQr şüalanmadan sonrasignal gücləndiricisinin xəttiliyi sabit qalır, lakin onun buraxma zolağının eni ~30 % azalır və bu azalma gücləndiricidə istifadə edilən metal-oksid-yarımkeçirici əsaslı tranzistorların dielektrik təbəqəsində müsbət yüklərin toplanması ilə bağlıdır.
3. Qamma kvantlarla şüalandırılmış MSFD fotodiodlarda səthi və həcmi qaranlıq cərəyanlarını bir-birindən ayırmağa imkan verən yeni metod işlənmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, şüalanma zamanı yaranan radiasiya defektləri cihazın səthi qaranlıq cərəyanını yox, ancaq onun həcmi qaranlıq cərəyanını artırır.
4. MSFD fotodiodlarda radiasiya defektlərinin və xarici işıq fonunun təsiri ilə gücləndirmə əmsalının azalma mexanizmi tədqiq edilmişdir. Məlum olmuşdur ki, gücləndirmə əmsalının radiasiya defektlərinin və xarici işıq fonunun təsiri ilə azalması, piksellərin potensial çuxurunun elektronlarla nisbən dolması və onun enerji dərinliyinin azalması ilə əlaqədardır.
5. MSFD əsaslı ssintilyatorlu detektorlar enerjisi 26,3keV-1,33MeV intervalında olan qamma kvantları amplituda görə ayırmaq mümkün verir. Müəyyən edilmişdir ki, detektorların kalibrəlmə əyrisi $ADC(kanal) = -180 + 35,9 \times E(keV)$ xətti formul ilə təsvir olunur.
6. İlk dəfə olaraq MSFD fotodiod, p-terfenil, stilben və fiber əsasında detektor modulları işlənmiş və onların alfa, beta və neytron zərrəciklərini qeydetmə həssaslığı tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki,

MSFD fotodiodlar əsaslı ssintilyatorlu detektorları məlum analoqlara nisbətən ~ 15÷30% yüksək effektivliyə malikdir.

DİSSERTASIYANIN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ ÜZRƏ ÇAP OLUNMUŞ İŞLƏRİN SİYAHISI

1. F.Ahmadov, G.Ahmadov, X. Abdullayev, A.Garibov, E.Guliyev, S.Khorev, R.Madatov, R. Mukhtarov, J.Naghiyev, A.Sadigov, Z.Sadygov, Suleymanov S., F. Zerrouk, Development of compact radiation detectors based on MAPD photodiodes with Lutetium Fine Silicate and Stilbene scintillators, Journal of Instrumentation, vol.10,2015, p.1-7
2. S.Suleymanov, A. Sadigov, F.Ahmadov, R.Akberov, G.Ahmadov, S. Ismayilov, C.Naghiyev, N. Heydarov, M.Nazarov R.Valiyev, I.Nuriyev, Preparation of detector for gamma-gamma logging facility, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının 70 illiyinə həsr olunmuş multidissiplinar form. 02-04 Noyabr 2015, Bakı, səh 54-55.
3. F.Ahmadov, G.Ahmadov, R.Madatov, A.Sadigov, Z.Sadigov, S.Suleymanov, F. Zerrouk, Study on possibilities of establishing radiation dosimeters based on silicon micro-pixel avalanche photodiode, Third International Conference on Radiation and Applications in Various Fields of Research, June 8-12, 2015, Budva, Montenegro, p 383-385.
4. Садыгов А., Ахмедов Ф., Ахмедов Г., Садыгов З., Мадатов Р., Сулейманов С., Акберов Р., Концепция дозиметра на базе кремниевых фотоумножителей, 10-ая Международная конференция ЯДЕРНАЯ И РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА. 8-11 Сентябрь, 2015, Астана, Казахстан, с 168-169
5. A.Sadigov, F.Ahmadov, S.Suleymanov, R.Akberov, G.Ahmadov, S.Ismayilov, N.Heydarov, Nazarov. M, R. Valiyev , Nuriyev. İ, Preparation of new generation of radiation dosimeter based on MAPD, AMEA-nin 70 illiyi, 2015, Bakı, səh 49-50.
6. Р. Мадатов, Р. Акберов, Ф. Ахмадов, Г. Ахмадов, А.Садыгов, С. Сулейманов, М. Назаров, Н. Гейдаров, Разработка детектора гамма излучения на основе микропиксельного лавинного фотодиода, Fövqəladə Hallar Nazirliyinin yaradılmasının 10 –liyinə həsr edilmiş “Fövqəladə hallar və təhlükəsiz həyat” mövzusunda beynəlxalq elmi-praktik konfrans, 2015, Bakı, səh 355-358.

7. Абдуллаев Х., Мухтаров Р. Ахмедов Г., Ахмедов Ф., Садыгов А., Садыгов З., Сулейманов С., Акберов Р, Методика сборки сцинтилляционного детектора гамма излучения на основе микропиксельного лавинного фотодиода, Milli Aviasiya akademiyasının elmi əsərləri №1. 2015
8. Р. Акберов, Ф. Ахмадов, Г. Ахмадов, Р. Мадатов, А. Садыгов, С. Сулейманов, М. Назаров, Н. Гейдаров, Р. Валиев, И. Нуриев, Разработка детектора гамма излучения на основе микропиксельного лавинного фотодиода., BDU-nin Fizika Problemləri İnstitutunun yaradılmasının 10 illiyinə həsr olunmuş , Optp, nanoelektronika , kondensə olunmuş mühit və yüksək enerjilər fizikası, Beynəlxalq Konfrans, 2015, Bakı, səh 523
9. A.Sadigov; F.Ahmadov; G.Ahmadov; A.Ariffin; S.Khorev; Z.Sadygov; S.Suleymanov; F.Zerrouk, A micropixel avalanche phototransistor for time of flight measurements, [Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment](https://doi.org/10.1016/j.nucstr.2016.06.001), Available online 16 June 2016
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900216306441>
10. F. Ahmadov, G. Ahmadov, A. Sadigov, Z. Sadygov, R. Madatov, S. Suleymanov, R. Akberov, F. Zerrouk , New phoswich detector based on MAPD and LFS & P-terphenyl scintillator , Fifth International Conference "Engineering of Scintillation Materials and Radiation Technologies", 26 - 30 September, 2016, Minsk, Belarus, p 13.
11. А.Садыгов, С. Сулейманов, Р. Акберов, Ф. Ахмадов, Г. Ахмадов, М. Назаров, Н. Гейдаров, Изготовление кремниевых фотоумножителей и их применение , Fövqəladə Hallar Nazirliyinin yaradılmasının 10 –liyinə həsr edilmiş “Fövqəladə hallar və təhlükəsiz həyat” mövzusunda beynəlxalq elmi-praktik konfrans, Bakı, 2015, səh 352-354
12. F.Ahmadov, G.Ahmadov, R. Madatov, E. Guliyev, A.Sadigov, Z.Sadygov, S.Suleymanov, F. Zerrouk, New gamma detector module based on new modul micropictel avalance photodiode, International Workshop on Radiation Imaging Detectors, iWoRID-2016, 2016, Barcelona, Spain, p 78
13. F. İ. Əhmədov, S. S. Süleymanov, R. S. Mədətov, Q. S. Əhmədov, A. Z. Sadiqov, N. N. Heydərov, M. S. Nəzərov, R. V. Vəliyev, R. Ə.

Əkbərov, M. M.Cahangirov, Alfa zərrəciklərinin BCF-12 fiber ssintilyatoru və selvari fotodiodlar vasitəsi ilə qeyd edilməsi, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri, Fizika– riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya , Bakı-2016, N5., s.36-39

14. F.Ahmadov, Z. Sadygov, E. Jafarova, R. Madatov, A. Dovlatov, G.Ahmadov, A.Sadigov, S.Suleymanov, R.Akberov, N.Heydarov, M.Nazarov, Investigation of disadvantages of LES scintillator, Azerbaijan Journal of Physics, Volume XXXVI, Number 5, section: en, 2016, pp 20-22
15. S. Süleymanov, F.Əhmədov, R.Mədətov, M.Nəzərov, R. Ələkbərov, A. Sadıqov, Q. Əhmədov, R.Vəliyev, M. Cahangirov. Ssintilyatorlu radiasiya detektor modulları üçün yeni gücləndiricilərin işlənməsi, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri, Fizika– riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya, V 21, N3 sec-En., 2016, s.20-24

САМИР СУЛЕЙМАН оглы СУЛЕЙМАНОВ

**ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ГАММА-ДЕТЕКТОРНЫЕ
МОДУЛИ НА ОСНОВЕ МИКРОПИКСЕЛЬНЫХ ЛАВИННЫХ
ФОТОДИОДОВ И ИХ РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ**

Аннотация

Диссертационная работа посвящена разработке детекторного модуля на основе Микропиксельных Лавинных Фотодиодов (МЛФД) и исследованию их характеристик в высокой дозе гамма излучений. Было установлено, что детекторный модуль сохраняет свою линейность в интервале 26,3кэВ-1,32 МэВ. В данном интервале, детекторный модуль различает гамма излучения по энергиям. В качестве источника гамма излучений был использован Со-60 с энергиями 1,17 МэВ и 1.32МэВ.

Установлено, что при облучении МЛФД фотодиода дозой 250кГр, его темновой ток увеличился в 15 раз. Исследование показывает, что увеличение темнового тока МЛФД после облучения связано с увеличением тока объемной генерацией носителей заряда. Увеличение тока объемной генерацией является причиной увеличения темнового тока, который имеет линейный характер. Следует отметить, что несмотря на увеличения темнового тока в 15 раз МЛФД-3НК после облучения дозой 250 кГр, сохраняет свои рабочие параметры.

В работе все эксперименты проводились при комнатной температуре. Анализ результатов проводились путем математической обработки амплитудного спектра выходных сигналов, полученных от микро-пиксельных лавинных фотодиодов.

SAMIR SULEYMAN oglu SULEYMANOV

**HIGH SENSITIVE GAMMA-DETECTOR MODULES ON THE
BASIS OF MICROPIXEL AVALANCHE PHOTODIODES AND
THEIR RADIATION HARDNESS**

Abstract

The dissertation work dedicated to development of the detector module based on micropixel avalanche photodiode (MAPD) and study their characteristics in the high dose of gamma radiation. It was found that detector module remains the linearity in the range of energies from 26,3keV up to 1.32 MeV. In this range, the detection module discriminates gamma radiation by energies As a source of gamma radiation was used a Co-60 with energies of 1.17 MeV and 1.32MeV.

It was found that irradiation dose of 250kGr to the MAPD photodiode, its dark current is increasing 15 times. The study shows that increasing the dark current of MAPD after irradiation associated with the increasing the current generation of bulk carriers. Increasing the current generation volume causes an increase in dark current, which has a linear character. It should be noted that despite the increasing the dark current of 15 times MAPD-3NK after irradiation with 250 kGy, keeps its working parameters.

All experiments in this work were performed at room temperature. Analysis of the results carried out by digital processing of the amplitude spectrum of the output signals received from the MAPD.

Kağız formatı 60x84, 1/16
Fiziki çap vərəqi 1,5
Tiraj 100
AMEA-nın mətbəəsində çap olunmuşdur

На правах рукописи

САМИР СУЛЕЙМАН ОГЛЫ СУЛЕЙМАНОВ

**ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ГАММА-ДЕТЕКТОРНЫЕ
МОДУЛИ НА ОСНОВЕ МИКРОПИКСЕЛЬНЫХ ЛАВИННЫХ
ФОТОДИОДОВ И ИХ РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ**

2225.01 – Радиационное материаловедение

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени доктора философии по
физике

Баку – 2016