



AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ PREZİDENTİ YANINDA ELMİN İNKİŞAFI FONDU

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında
Elmin İnkişafı Fondunun 2014-cü ilin əsas qrant müsabiqəsi
çərçivəsində təqdim olunmuş kompleks elmi-tədqiqat
proqramlarının (EIF-2014-9(24)-KETPL) qalibi olmuş
layihənin yerinə yetirilməsi üzrə

YEKUN ELMİ-TEXNİKİ HESABAT

Layihənin adı: **Yarımkeçirici materialların radiasiyaya davamlılığının tədqiqi və yeni tipli mikro-pikselli selvari fotodiodlar əsasında detektorların işlənilməsi**

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **Mehdiyeva Rəvan Nadir qızı**

Qrantın məbləği: **200 000 manat**

Layihənin nömrəsi: **EIF-2014-9(24)-KETPL-14/03/1-M-12**

Müqavilənin imzalanma tarixi: **30 iyul 2015-ci il**

Qrant layihəsinin yerinə yetirilmə müddəti: **24 ay**

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 avqust 2015-ci il – 01 avqust 2017-ci il**

Diqqət! Bütün məlumatlar 12 ölçülü Arial şrifti ilə, 1 intervalla doldurulmalıdır

Diqqət! Uyğun məlumat olmadığı təqdirdə müvafiq bölmə boş buraxılır

Hesabatda aşağıdakı məsələlər işıqlandırılmalıdır:

1 Layihənin həyata keçirilməsi üzrə yerinə yetirilmiş işlər, istifadə olunmuş üsul və yanaşmalar

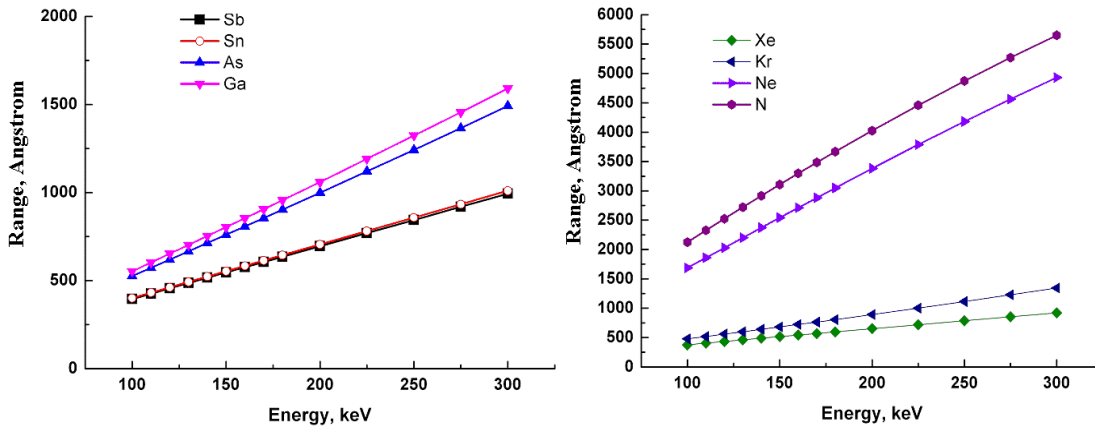
(burada doldurmalı)

Laylı və zəncirvari monokristallarda radiasiya effektlərinin tədqiq edilməsi, onların radiasiyaya davamlılığının artırılma üsullarının işlənilməsinə imkan verdi. Müəyyən edilmişdir ki, kiçik dozalı gamma və elektron şüaları ilə emal zamanı laylı və zəncirvari kristalların radiasiyaya davamlılığı, o cümlədən fotoelektrik xassələri yaxşılaşır. Rengenografiya, AGM, optik, Rezerfort səpilmə metodlarından istifadə etməklə kristalların elektrofiziki xassələri tədqiq edilmişdir. Alınmış nəticələr əsasında radiasiya texnologiya üsulu ilə yaradılacaq yarımkeçirici strukturların hazırlanma texnologiyası işlənilmişdir. İlk dəfə olaraq silisium əsaslı cəld və yüksək gücləndirmə əmsalına malik yeni tip qeydedicilər simulyasiya edilmiş və ilkin test variantları hazırlanmışdır. Qeydedicilərin parametrləri təyin edilərkən amplitud paylanma və təkrar impuls metodundan istifadə edilmişdir. Alınmış praktiki təkliflər yeni tipli selvari fotodiodların hazırlanmasına və tətbiq sahələrinin genişləndirilməsinə imkan yaradacaqdır.

2	Layihənin həyata keçirilməsi üzrə planda nəzərdə tutulmuş işlərin yerinə yetirilmə dərəcəsi (faizlə qiymətləndirməli)
	<i>(burada doldurulmalı)</i> İş planına uyğun olaraq layihənin yerinə yetirilməsi tam başa çatmışdır (~100 %).
3	Hesabat dövründə alınmış elmi nəticələr (onların yenilik dərəcəsi, elmi və təcrübə əhəmiyyəti, nəticələrin istifadəsi və tətbiqi mümkün olan sahələr aydın şəkildə göstərilməlidir)
	<p><i>(burada doldurulmalı)</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <i>1. Məyyən edilmişdir ki, laylı və zəncirvari quruluşa malik kristalların kiçik dozalı qamma və elektron şüaları ilə emal edilməsi zamanı struktur defektlərin miqراسiya nəticəsində kristallik qəfəsdə nizamlanma müşahidə olunur. Xüsusi mühitlərdə (S- kükürd, Se- selen) termik dəmlənmiş kristalların radiasiyaya davamlılığı 2-4 dəfə artır.</i> <i>2. İlk dəfə olaraq laylı və zəncirvari monokristallar üçün radiasiya aşqarlanma üsulu işlənmişdir. Belə ki, həmin üsulün köməyi ilə qeyd olunan yarımkeçirici materialların elektrik, optik və fotoelektrik xassələri məqsədyönlü idarə edilə bilər.</i> <i>3. Tədqiq edilən laylı və zəncirvari kristallar öz analoqlarından (Ge, GaAs, InP və s.) struktur quruluşlarının kəskin fərqlənməsi ilə bağlı xüsusi xassələrə malik olduğundan, fərdi texnoloji üsulların işlənməsi zərurəti yaranır. Onların fərdi xassələri kristal qəfəsdə olan struktur defektlərinin miqdarı ilə bağlı olduğundan, yerinə yetirilən tədqiqat işi zamanı bizim məqsədimiz radiasiya aşqarlanma metodu ilə defektlərin konsentrasiyasını idarə etmək olmuş və bu məsələni laylı kristallar üçün həll etmiş olduq. Alınmış nəticələr kifayət qədər elmi jurnallarda dərc edilmişdir.</i> <p><i>Layihənin əsas məqsədi yarımkeçirici materialların radiasiyaya davamlılığının artırılma yollarının işlənməsi və alınmış nəticələr əsasında yeni praktiki təkliflərin hazırlanması idi. Layihənin birinci mərhələsində sadə və mürəkkəb yarımkeçiricilərin davamlılığının radiasiya texnologiyası ilə tədqiqi olmuşdur. Alınmış nəticələr əsasında müəyyən edilmişdir ki, yarımkeçirici materiallarda mövcud olan qüsurlar təbiətinə və energetik parametrlərinə görə kəskin fərqlənirlər. Bu səbəbdən , biz, məsələnin həllinə bir neçə üsulla yanaşmışıq. İlk olaraq ionlaşdırıcı şüaların təsiri ilə materialların xassələrinin modifikasiya olunma üsulları işlənmişdir. Bu məqsədlə bircins və qüsursuz kristallar alınmış və onun parametrləri rengenografiya üsulu ilə müəyyən edilmişdir. Alınmış GaS və GaSe monokristallarının elektik, optik xassələri implantasiyadan əvvəl və sonra tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, kristallar spektrin görünən oblastında yüksək fotohəssaslığa malikdir. Eyni zamanda kvant çuxurlarının yaradılması məqsədi ilə enerjisi 50-300 keV olan ionların (proton, azot, hidrogen) GaS və GaSe kristallarına implantasiyası nəticəsində tormozlanmanın en kəsiyini hesablamaq üçün SRIM-2011 proqramından istifadə edilmişdir. Alınmış nəticələr əsasında GaS və GaSe kristallarında qeyd olunan enerjili ionlar üçün amorflaşma dozasının astana qiyməti hesablanmışdır. Nəzəri hesablamalar üçün alınan qiymətlər kvant çuxurların yaradılması üçün optimal rejimin seçilməsinə imkan verir. (Alınmış nəticələr «Физика и Техника полупроводников.» jurnalında nərc edilmişdir.)</i></p> <p><i>Yarımkeçirici kristallarda amorflaşma prosesini öyrənmək üçün mövcud olan ədəbiyyatlarda ağır metallardan və təsirsiz qazların ionlarından geniş istifadə edilir. Bu məqsədlə A³B⁶ kristallarda amorflaşma prosesinin tədqiqi üçün ağır metalların ionlarından Sb, Sn, As, Ga və təsirsiz qaz ionlarından Xe, Kr, Ne, N istifadə edilmişdir. İlk növbədə bu ionların GaS</i></p>

kristalında müxtəlif enerji intervalında (100-300 keV) qaçış yolları SRİM proqramı ilə hesablanmışdır.

Hesablamalar göstərmişdir ki, təsirsiz qazlarda N ionunun qaçış yolu 100 keV enerjisində $\approx 2120 \text{ \AA}$ -ə və 300 keV enerjide isə $\approx 5649 \text{ \AA}$ -ə uyğun gəlir. Ağır ionlardan isə Sb(Sn) ionlarının qaçış yolu 100 keV enerjide $\approx 400 \text{ \AA}$ və 300 keV enerjide isə $\approx 1000 \text{ \AA}$ -ə bərabər olmuşdur. GaS kristalında qeyd edilən enerjilərdə amorflaşmanın 30-100nm dərinlikdə baş verməsi üçün Sb, Sn, Xe ionları, 100-150nm dərinlikdə baş verməsi üçün As, Ga, Kr ionları və 150-560nm dərinlikdə baş verməsi üçün isə Ne və N ionlarından istifadə etmək daha əlverişlidir. Şəkil .1.(a,b) (Cədvəl 1). Ağır ionların GaS kristalında maksimum qaçış yolu $\sim 1000 \text{ \AA}$ olmuşdur. Yüngül ionların isə maksimum qaçış yolları $\sim 5649 \text{ \AA}$ tərtibində olduğu tapılmışdır.



Şəkil.1 Müxtəlif enerjili ionların GaS kristalında qaçış yolunun enerjiden asılılığı.

Aparılan tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, GaS kristallarında 125nm-lik uzunluqlu kvant çuxuru yaratmaq üçün 250 keV enerjili Ga ionu və daha dərin (475nm) kvant çuxuru yaratmaq üçün isə 250 keV enerjili N ionundan istifadə olunması daha məqsədə uyğundur.

Eləcə də GaS kristallarında qeyd olunan ionlar üçün kritik doza hesablanmışdır. GaS kristalı üçün kritik (amorflaşma) dozasını tapmaq üçün (1)-ifadəsindən istifadə edilmişdir:

$$F_{\text{kritik}} = 1 \cdot 10^{21} \cdot R/E \quad (1)$$

Harada k, R ionun qaçış yolu, E ionun enerjisidir.

Məlum olmuşdur ki, yüngül ionlar üçün amorflaşma ağır ionlarla müqayisədə bir neçə dəfə yüksək dozada baş verir (Cədvəl 2, şəkil.2). GaS kristalında 70-100nm-lik dərinlikdə amorflaşma prosesini yaratmaq üçün 200 keV enerjili Sn, As, Ga ionun dozası $3-5 \cdot 10^{13} \text{ ion/sm}^2$, lakin daha dərinde (100-445nm) yaratmaq üçün 225 keV enerjili Ne, Kr və N ionun dozası $0.4-2 \cdot 10^{14} \text{ ion/sm}^2$ müəyyən edilmişdir.

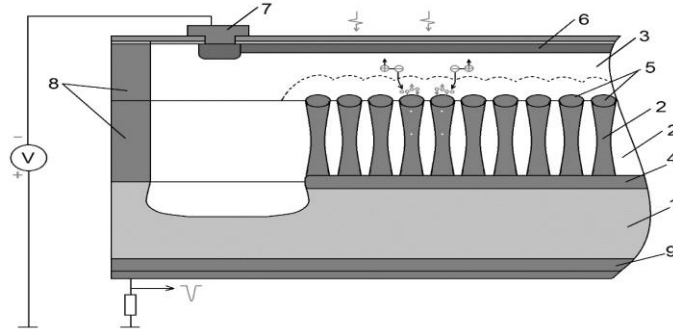
4. Mikro piksellli selvari fotodiodlarda baş verən selvari prosesin fiziki işləmə modelinin müəyyənləşdirilməsi və parametrlərinin (bərpa olunma müddətinin, gücləndirmə əmsalının, cəldliyinin, xəttiliyinin və deşilmə gərginliyinin) yaxşılaşdırılması üçün bir sıra yeni təkliflər verilmişdir.

İlk dəfə olaraq Mikro piksellli selvari fotodiodlarda baş verən selvari prosesin fiziki işləmə

modelinin müəyyənləşdirilməsi və parametrlərinin (bərpa olunma müddətinin, gücləndirmə əmsalının, cəldliyinin, xəttiliyinin və deşilmə gərginliyinin) yaxşılaşdırılması üçün bir sıra yeni təkliflər verilmişdir.

5. Mikro pikselləli selvari fotodiodların (MSFD) bərpa olunma müddətini azaltmaq üçün yeni tipli mikro-kanallı MSFD işlənmişdir:

Bərpa olunma müddəti diodların sayma sürətinin xəttiliy oblastını müəyyən edən əsas kəmiyyətlərdən hesab edilir. Bəzi modellərdə diodların bərpa olunma müddətinin yüksək olması bunların bir çox təcrübələrdə tətbiqinə imkan vermir. Məhz bu çatışmamazlığı aradan qaldırmaq üçün yeni tipli mikro-kanallı MSFD işlənmişdir. Bu diodun işləmə prinsipi Şəx 1-də göstərilmişdir.



Şəx.1. Mikro-rezistorlu MSFD. 1– n-tip keçiriciliyə malik silisium altlıq, 2– həcmi yüklər oblastı alınmamış n-tip keçiriciliyə malik epitaksial təbəqə (mikro-rezistor), 2¹– 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

Bu quruluşda yüksək aşqarlanmış n⁺-tipli piksellər arasındakı boş məsafə 5 µm-dən 2 µm-ə qədər azaldılmışdır. Məsafənin azaldılması, n-tip keçiriciliyə malik epitaksial təbəqədə həcmi yüklər oblastlarının birləşməsinin qarşısını almışdır. Bunun nəticəsində hər bir piksel, altlığın həcmi ilə birləşən nazik mikro-resistorla (mikrokanalla) təmin olunur. Bu mikro-kanalların müqaviməti R_m və pikselin tutumu C_p aşağıdakı düstürlərlə hesablanmışdır:

$$R_m \approx \rho \times \frac{4W_n}{\pi(d_m)^2} \approx 900k\Omega \quad (1)$$

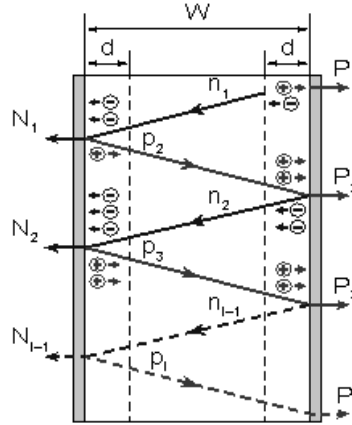
$$C_p \approx \frac{\epsilon_s \pi (d_m)^2}{4W_p} \approx 1.7fF$$

harada ki, ρ=250 Om·sm–mikro-kanalın (n-tip epitaksial təbəqənin) xüsusi müqaviməti, W_n=7 µm- həcmi yüklər oblastının qalınlığı (n-tip keçiriciliyə malik epitaksial təbəqənin qalınlığı), d_m- 5 µm bərabər olan mikrokanalın diametridir. Pikselin xarakterik bərpa olunma müddəti R_mC_p paramerti ilə təyin olunur (burada R_mC_p≈1.5 ns). MSFD-lar üçün sürətli bərpa olunma müddətinə malik təklif olunan yeni quruluş diodun bütün sahəsi üzrə 100% həssasdır. Belə konstruksiyalı MSFD-lar yüksək piksel sıxlığına (~10⁴ piksel/mm²) və aşağı bərpa olma müddətinə (~40ns) malik olduqlarına görə onlar yüksək tezlikli (~1×10⁷ zərrəcik/s. qədər) zərrəcik seli olan qurğularda

müvəffəqiyyətlə istifadə oluna bilər.

6. Yüksək effektivli mikropikselli selvari fotodiodun fiziki işləmə modeli hazırlanmışdır:

MPSF diodlarda selvari prosesi təsifir edən yeni model hazırlanmışdır. Yeni hazırlanmış model digər modellərdən fərqli olaraq selvari diodlarda selvari prosesin işləmə prinsipini, daxili və xarici cərəyanının dəyişməsinə və dəşilmə gərginliyini düzgün ifadə edə bilmişdir .



Şək.2. MSFD-un bir pikselinin işləməsinin sxematik modeli

Modelləşdirilmiş selvari prosesin uğurlu olduğu mərhələlər sxematik olaraq şək. 2. -də göstərilmişdir. $t=0$ zaman anında anodun yaxınlığında bir foto-elektron ($n_1 = 1$) yaranır. i təbəsiindən keçən elektron katodun yaxınlığında elektron-deşik cütləri yaradır. Bu prosesin baş vermə müddəti $\tau = (W/v)$ kimi ifadə olunur.

Bu zaman katodda toplanan elektronların sayını (N_1), anoda hərəkət edən deşiklərin sayı (p_1) və elektrik sahəsi (E_1) aşağıdakı düsturlarla ifadə olunmuşdur: harada elektrik sahəsi E - [V/sm], α və β - isə [1/cm] vahidləri ilə ifadə olunur.

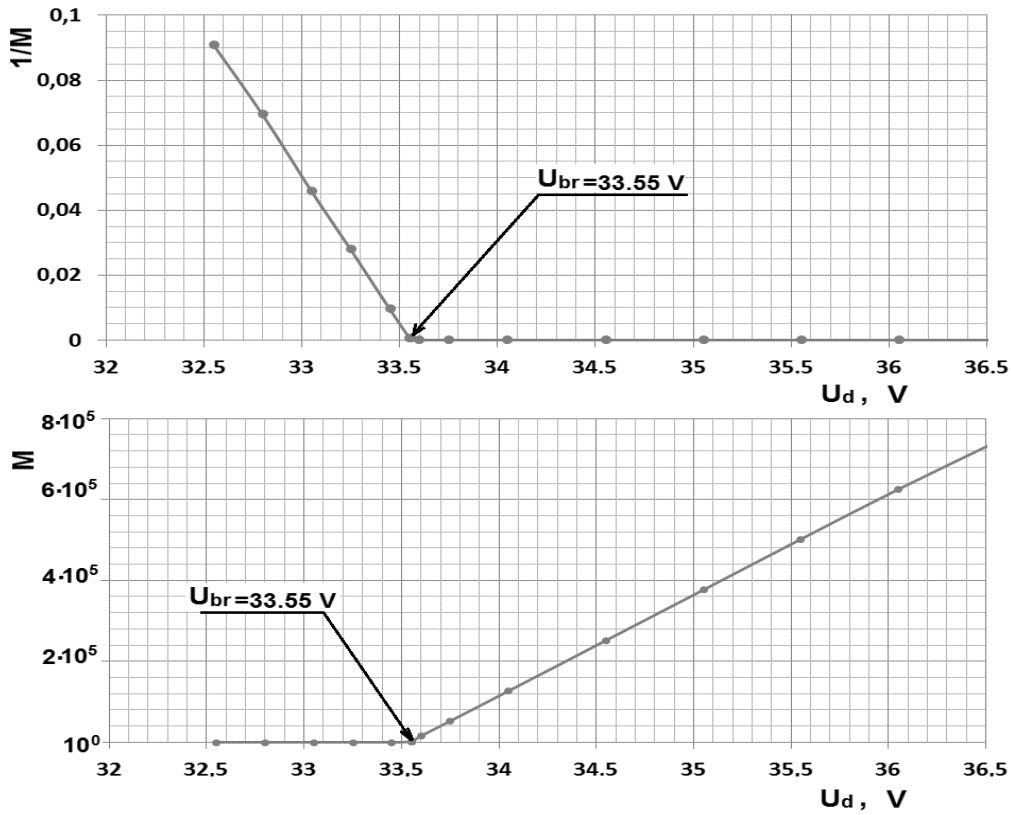
$$N_1 = \exp(\alpha_1 W), \quad p_1 = [\exp(\alpha_1 W) - 1], \quad E_1 = (U_1/W) \quad (2)$$

haradaki, $\alpha_1 = \alpha_1(E=E_1)$ və $U_1 = U_d$.

Deşiklər anoda doğru hərəkət edərək zamanın digər τ periodunda anodun ətrafında yeni elektron-deşik cütləri yaradır.

$$N_i = \{ \prod_{j=2}^i [\exp(\alpha_{j-1} W) - 1] \times [\exp(\beta_{j-1} W) - 1] \} \times \exp(\alpha_i W) \quad i \geq 1$$

Selvari prosesin i -ci mərhələsindən sonra katodda toplanan elektronların sayı N_i kimi ifadə olunur. Bu zaman elektrik sahəsinin qiyməti isə



$$E_i = \left(\frac{U_i}{W} \right) = \frac{1}{W} \times \left[U_{i-1} - \frac{qN_{i-1} - \frac{U_d - U_{i-1}}{R_p} \times 2\tau}{C_p} \right] \quad (4)$$

bərabər olur. İlk tək foto-elektron gücləndirmə əmsalı aşağıdakı kimi hesablanır.

$$M = N_1 + \sum_{i=2}^{\infty} N_i. \quad (5)$$

Selvari foto diodlarda daxili boşalma və xarici əlavə cərəyanlar uyğun olaraq aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$I_i(t_i) = qN_{i-1}/2\tau \quad J_i(t_i) = (U_d - U_{i-1})/R_p \quad (6)$$

Bu üsul digər parameterlərin zamandan asılılığını da tədqiq etməyə imkan vermişdir. Aşağıda göstəriləyi kimi təklif olunan model, yalnız Heyger rejimdə işləyən selvari foto-diodların deyil, həmçinin də deşilmə gərginliyindən aşağı gərginlikdə işləyən adi selvari foto-diodların xarakteristikalarını da təsvir edə bilər.

Tətbiq olunan gərginliyin (U_d) (5) düsturuna əsasən hesablanmış gücləndirmə əmsalından (M (aşağı)) və gücləndirmə əmsalının tərs qiymətindən ($1/M$ (yuxarı)) asılılığı şəx 3-də göstərilmişdir.

Şəx.3. Tətbiq olunan gərginliyin U_d , gücləndirmə əmsalından (M (aşağı)) və gücləndirmə əmsalının tərs qiymətindən ($1/M$ (yuxarı)) asılılığı

Hər iki asılılıq deşilmə gərginliyindən (U_d) aşağıda və yuxarıda xətti xarakter daşıyır. Şəkildən görüldüyü kimi hər iki halda düz xəttin interpolyasiyası x oxunu eyni nöqtədə kəsir. Bu o deməkdir ki, bu asılılıqlar deşilmə gərginliyini (U_d) təyin etmək üçün eyni hüquqludur. Deşilmə gərginliyi üçün düz xəttin interpolyasiyasından alınan qiymət 33.55 V olmuşdur.

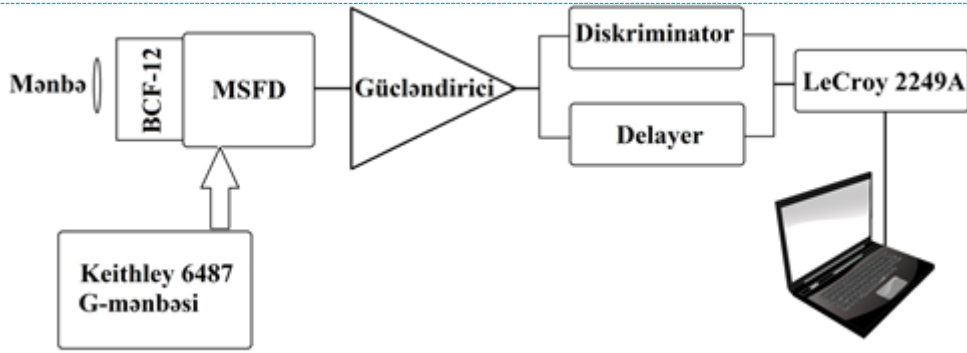
Beləliklə yeni yaradılmış model selvari fotodiodlarda selvari prosesin işləmə prinsipini, daxili və xarici cərəyanının dəyişməsinə və deşilmə gərginliyini düzgün ifadə edə bilmişdir.

7. MSFD diodların müxtəlif ssintilyatorlarla ionlaşdırıcı radiasiya qeydetmə performansının yoxlanması və anaoloqları ilə müqayisəsi :

Layihənin yerinə yetirilmə mərhələsində əsasən iki tip (MAPD-3N və MAPD-3D) Mikropikselli Selvari Fotodiodların (MSFT), Rusiyanın CPTA şirkətinin istehsalı olan CPTA-143-30 diodlarının və Vinston konus toplayıcısının parametrləri tədqiq edilmişdir. BCF-12 fiber ssintilyatorundan alınan foto siqnalları qeyd etmək üçün Kanadanın Zecotek Photonics firması ilə birgə əməkdaşlıq çərçivəsində hazırlanmış MAPD-3N və MAPD-3Dselvari fotoqeydedicilərdən və CPTA-143-30 diodundan istifadə edilmişdir. BCF-12 fiber ssintilyatorunun diametri -1mm, parçalanma müddəti 3.2 nsn, maksimum şüalanma dalğa uzunluğu 435 nm və işıq çıxışı 8000 foton/MeV-dir. Fotoqeydedici kimi istifadə edilən Zecotek şirkətininMAPD-3N diodlarının piksel sıxlığı-15000 pik/mm², gücləndirmə əmsalı-50000 , sahəsi- 1mm² və foto qeydetmə effektivliyi - 30%(435nm)tərtibindədir. MAPD-3D diodlarının sahəsi -1.1 mm², piksel sıxlığı-665 pik/mm² və foto qeydetmə effektivliyi-12% (435nm)və gücləndirmə əmsalı-3.10⁵ olmuşdur. CPTA şirkətinin istehsalı olan CPTA-143-30 diodunun sahəsi -1.1 mm², piksel sıxlığı-556 pik/mm² və foto qeydetmə effektivliyi-12% (435nm)və gücləndirmə əmsalı-3.10⁵ olmuşdur.

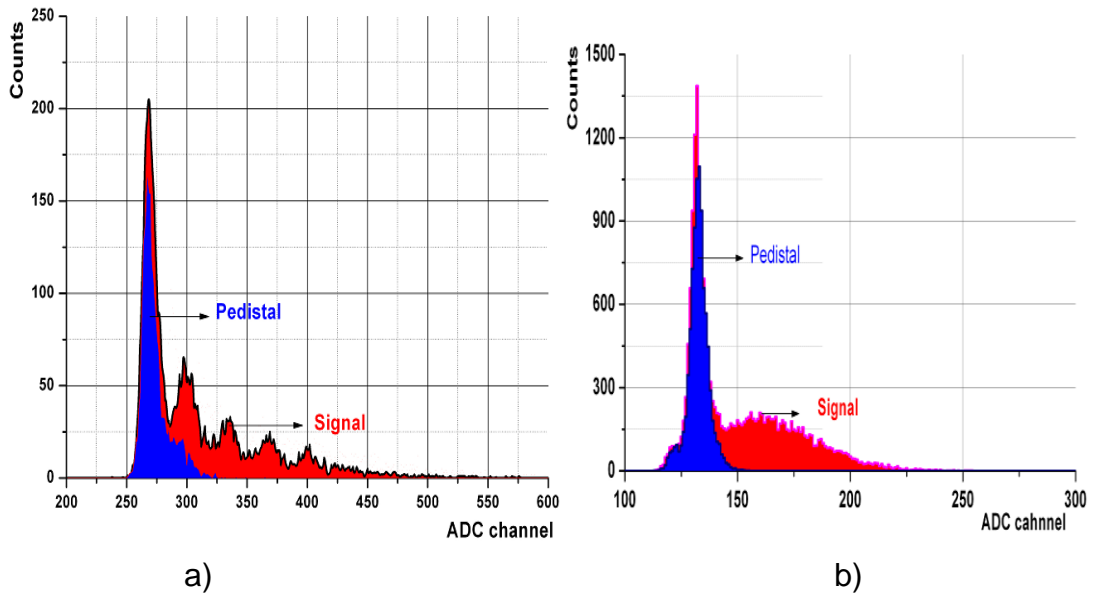
İonlaşdırıcı radiasiya mənbəyi kimi 5.5MeV enerjili alfa zərrəcikləri şüalandıran Am-241 izotopundan istifadə edilmişdir. BCF-12 fiber ssintilyatoru ilə mənbə arasındakı məsafə 1sm seçilmişdir və havada enerji itkisi 1MeV tərtibində nəzərə alınmışdır. Fiber ssintilyatoru selvari fotodioda xüsusi şəffaf vakuum yağı vasitəsi ilə birləşdirilmişdir və kənar işıq fonunun təsirindən qorunmaq üçün onun səthi teflon vasitəsi ilə tam örtülmüşdür. Məlumdur ki, 5.5MeV enerjili alfa zərrəciyi plastik ssintilyator daxilində25 μ məsafə qət edə bilər. Alfa zərrəciklər fiber ssintilyatorun səthinə perpendikulyar istiqamətdə düşdükdə, fiberin qoruyucusunun qalınlığı 100 μ olduğundan, onların ssintilyatorun daxilinə nüfuz etməsinə mane olur və alfa zərrəcikləri ssintilyasiya fotonları yaratmadan qoruyucu səthdə udulur. Bu səbəbdən də alfa zərrəcikləri qeyd etmək üçün zərrəciklərin fiber ssintilyatorların en kəsinə perpendikulyar istiqamətdə düşməsi təmin edilmişdir.

Fotodioddan siqnalın qeyd edilməsi üçün şəkil 4-də göstərilmiş təcrübə dövrədən istifadə edilmişdir.Diodları gərginliklə təmin etmək üçün Keithley-6487 gərginlik qida mənbəsindən istifadə edilmişdir. Dioddan alınan siqnal gücləndirici vasitəsi ilə gücləndirilmiş (gücləndirmə ~ 100)və daha sonra Diskriminator–Delayer cütliyindən keçirilmişdir. Bu zaman siqnalı inteqrallanma zolağı tam əhatə edilmişdir. Daha sonra siqnal LeCroy-2249A analoq rəqəmsal çeviriciyə ötürülmüşdür.



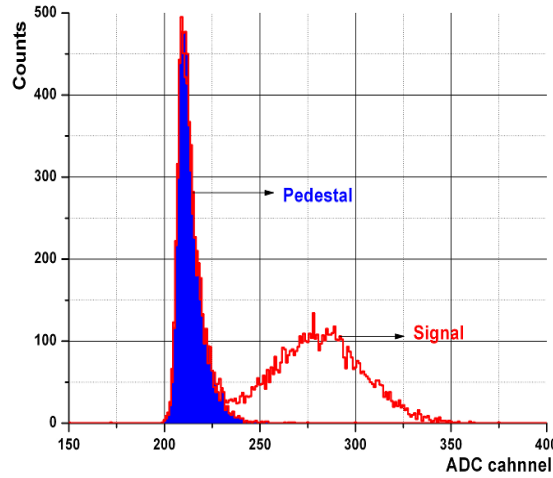
Şəkil 4. Spektrlərin çəkilməsi üçün istifadə edilmiş təcrübi dövrə

Şəkil 5. a-da CPTD-143-30 tipli selvari dioddan oxunan signalın spektri verilmişdir. Spektren çəkilməsi zamanı dioda +45V gərginlik tətbiq edilmişdir. Spektrdə pyedestal və alfa zərrəciyinə uyğun gələn signal göstərilmişdir. Alfa zərrəciyinə uyğun gələn hadisələri tapmaq üçün siqnala uyğun gələn hadisələrin sayından pyedestala (küyə) uyğun gələn hadisələrin sayı çıxılmışdır:- $N_{\text{alfa}} = N_{\text{tam}} - N_{\text{pyedistal}}$. Pyedestala uyğun gələn hadisələr diodun qaranlıq cərəyanı, istifadə edilən elektronkada yaranan küy və xarici təsirlər hesabına formalaşır. Təcrübədən $N_{\text{tam}} \sim 11912$ və pyedestala uyğun gələn hadisələrin sayı isə $N_{\text{pyedistal}} \sim 7217$ -dir. Beləliklə CPTA-143-30 diodu 4695 sayda alfa zərrəciyi qeyd etmişdir. **Şəkil 5. b-də** MAPD-3D tipli selvari dioddan + 34.5V gərginlikdə oxunan signalın spektri verilmişdir. Spektrdən göründüyü kimi tam hadisələrə uyğun gələn say $N_{\text{tam}} \sim 12475$ və pyedestala uyğun gələn hadisələrin sayı isə $N_{\text{pyedistal}} \sim 7440$ olmuşdur. Beləliklə, bu tip fotoqeydedici ilə qeydedilən alfa zərrəciyin sayı 5035 olmuşdur.



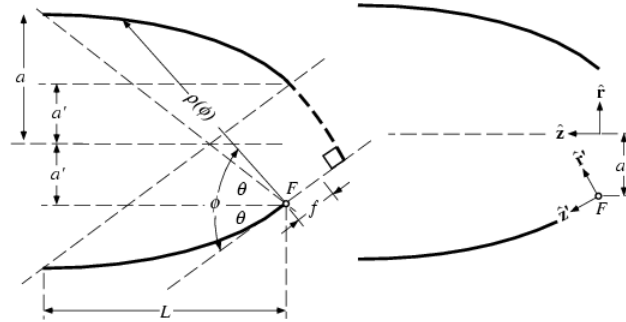
Şəkil 5. Am-241 izotopundan buraxılan 4.5MeV enerjili alfa zərrəciklərinin CPTA143-30 (a) və MAPD-3D (b) diodları çəkilmiş spektri

Şəkil 6-da MAPDD-3N tipli selvari dioddan oxunan signalın spektri verilmişdir. Spekrtdən tam hadisələrə uyğun gələn say $N_{tam} \sim 11892$ və pyedestala uyğun gələn hadisələrin sayı isə $N_{pyedestal} \sim 5786$. Bu zaman MAPD-3N diodu 6106 sayda alfa zərrəciyi qeyd etmişdir.



Şəkil 6. Am-241 izotopundan buraxılan 4.5MeV enerjili alfa zərrəciklərinin MAPD-3N diodu və BCF-12 fiber ssintilyatorları ilə çəkilmiş spektri.

Ssintilyatorada yaranan fotonların itirilməməsi səbəbindən xüsusi işıq toplayıcısı hazırlanmışdır. Həmin toplayıcı məlum olan quruluşa əsasən hesablanmışdır Şəkil 7.



Şəkil 7. Vinston toplayıcısının sxematik diaqramı.

Hazırlanan Vinston konusu 96% işıq keçiriciliyə və 95% toplama qabiliyyətinə malikdir. Onun ölçüləri: $L=10,12\text{mm}$; $d_1=7,2\text{mm}$; $d_2=3,3\text{mm}$ kimi seçilmişdir Şək. 8.



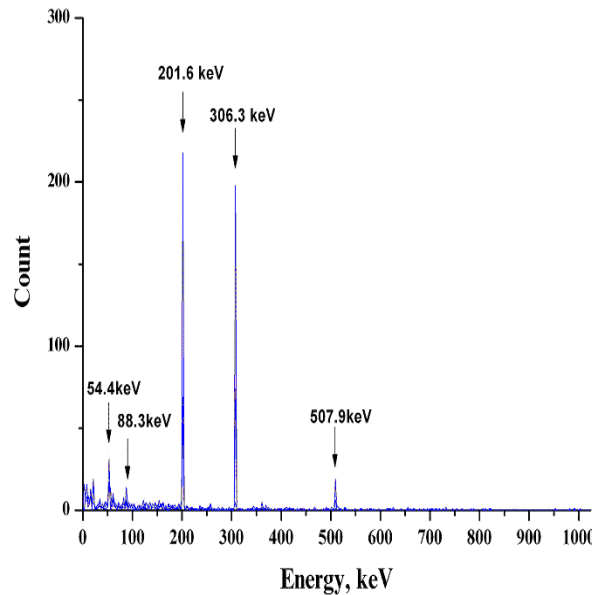
Şəkil 8. Hazırlanan Vinston konusu

Beləliklə, alınan nəticələrdən məlum olmuşdur ki, Zecotek şirkətinin istehsalı olan MAPD-

3N diodları eyni bir təcrübi şəraitdə CPTA-143-30 diodları ilə müqayisədə 30% və MAPD-3D diodları ilə müqayisədə isə 21% daha çox hadisə qeyd etmişdir. MAPD-3N diodlarının digər analoqlar ilə müqayisədə daha çox zərrəcik qeyd etməsinə əsas səbəb isə, bu diodların həndəsi faktorunun 100% olmasıdır. Bu isə öz növbəsində diodun səthinə düşən fotonların əksəriyyətinin qeydedilməsinə imkan verir. Lakin MAPD-3D və CPTA-143-30 diodlarında isə həndəsi faktor 50-60% arasında dəyişir və əksər fotonlar söndürücü rezistorlar və birləşdirici xətlər tərəfindən udulur və nəticədə bu fotonlar qeyd edilmir. Seçilmiş MAPD-3N fotodiodu üçün xüsusi optik toplayıcı hazırlanmışdır. Həmin toplayıcı vasitəsi ilə fotodiodlar 7,2 mm diametri olan ssintilyatorları ilə birləşdirilir. Bu isə öz növbəsində detektor modulunun ümumi effektivliyini 25% - ə kimi artırır.

8. Ssintilyatorlu detektorlarda istifadə edilən LFS qeyr-üzvi ssintilyatorunun çatışmamazlıqlarının tədqiqi:

LFS ssintilyatorları son dövrlərdə PET tomoqrafiyada və digər kompakt detektorların hazırlanmasında geniş tətbiq edilmə imkanlarına malikdirlər. Həmçinin də LFS ssintilyatorlar bu layihədə qamma şüaları qeyd etmək üçün istifadə edilmişdir. LFS ssintilyatorların digər ssintilyatorlardan fərqli olaraq daxili radioaktiv fonu mövcuddur. Bu fon Lu-176 izotopu hesabına formalaşır. LFS-3 ssintilyatorunun daxili fonunun təşkil edən piklərin enerjilərini və payını dəqiq müəyyən etmək üçün ölçüləri $3 \times 3 \times 10$ mm³ olan ssintilyator istifadə edilmişdir. LFS ssintilyatorun spektrinə çəkilməsi üçün Canberra firmasının yüksək təmizlikli germanium (YTGe) spektrometrik detektorundan istifadə edilmişdir. LFS-8 ($3 \times 3 \times 10$ mm³) ssintilyatorunun daxili fonunun qamma spektri Şəkil. 9-da verilmişdir. HPGe detektorla ölçmə müddəti 20000 san seçilmişdir. YTGe detektordan çəkilən spektrdən radionuklidlərin buraxdığı qamma şüaların

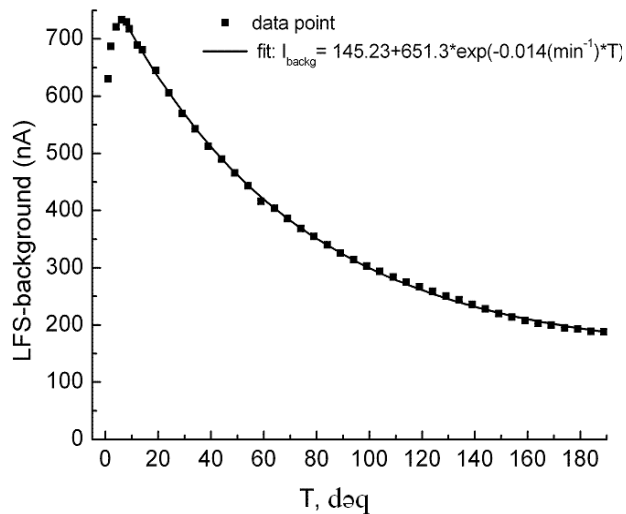


Şəkil.9. YTGe detektoru ilə çəkilmiş LFS ssintilyatorunun daxili fonunun enerji spektri.

enerjisini, radioizotopun növünü və paylanma miqdarını müəyyən etmək üçün CENİ program paketindən istifadə edilmişdir. Lu-176 müəyyən edilmiş aktivliyi və kütləsi 23.5 ± 3 Bk və 12.5mg olmuşdur. Spektrdən əsas olaraq 4 qamma şüa piki müşahidə edilmişdir: (γ -54.4keV (buraxma payı- %), γ -88.3keV (buraxma payı- %), γ -201.6keV (buraxma payı- %), γ -306.3keV (buraxma payı- %) və iki pikin cəmio γ -507.9keV). Lu-176 üçün alınan təcrübi nəticələr ədəbiyyatdakı nəticələrlə tam uyğunluq təşkil etmişdir. Bununla yanaşı LFS-3 ssintilyatorunun beta zərrəcikləri

və neytronları qeyd etmə effektivliyi də öyrənilmişdir. Məlum olmuşdur ki, LFS-3 ssintilyatorlar yüksək qamma şüaları qeyd etmə effektivliyinə malikdirlər. Minimum qeyd edilən aktivlik 23.6 keV olmuşdur.

LFS ssintilyatorun digər əsas çatışmayan cəhətindən biri də işıq həssas olmasıdır. LFS ssintilyatorları uzun müddət işıq altında qaldıqda aktivator mərkəzləri (həmçinin də metastabil hallar) elektronlar tərəfindən zəbt edilir. Metastabil haldan əsas hala keçid gecikən ssintilyasiya fotonlarının buraxılması ilə nəticələnir. **Şəkil 10-da** işıq altında uzun müddət saxlanılan LFS ($3 \times 3 \times 10 \text{ mm}^3$) ssintilyatorunun fonunun dəyişməsinin zamandan asılılığı veriləndir. LFS ssintilyatorundan buraxılan ssintilyasiya fotonları MPSF (3A tipli) fotodiodla qeyd edilib. MPSF diod ssintilyatora yapışdırılmış halda bir gün qaranlıqda saxlanılmışdır. MPSF diodun işləmə gərginliyində (67,6 V) otaq temperaturunda qaranlıq cərəyanı 180 nA tərtibindədir. Bu cərəyan diodun öz qaranlıq cərəyanıdır. LFS ssintilyator işıqla (20 dəqiqə) şüalanmadan sonra ssintilyatorun fonu hesabına MPSF dioddan axan cərəyan kəskin artaraq 730 nA olmuşdur. Şəkil. 2-dən görüldüyü kimi dioddan axan cərəyan şüalanmadan sonra ilk 6 dəqiqədə kəskin artır. Cərəyanın artmasına səbəb diodu dövrəyə qoşarkən qısa müddət olsa da əl ilə toxunulmuşdur. Bu isə diodun temperaturunun artmasına səbəb olur. Məlumdur ki diodun temperaturu artdıqca selvari prosesin güclənməsi azalır (ilk ölçmə anında). Müəyyən zaman keçdikcə diodun temperaturu azalaraq otaq temperaturuna yaxınlaşır. Bu zaman diodun gücləndirməsi artır (1 - 6 dəqiqə). LFSssintilyatorun



Şək. 10. İşıqla həyəcandırılmış LFS ssintilyatorunun daxili fonunun zamandan asılılığı. fonu hesabına yaranan qaranlıq cərəyan zamandan asılı olaraq eksponensial qanunla dəyişir: $I_{backg}(nA) = 145.23 + 651.3 \times \exp(-0.014(\text{min}^{-1}) \times T)$ burada T- şüalanmadan sonra keçən zaman fasiləsidir (dəqiqə). Görüldüyü kimi şüalanmadan 170 dəqiqə sonra LFS ssintilyatorun fonu hesabına yaranan qaranlıq cərəyan diodun öz qaranlıq cərəyanı tərtibində (180 nA) olmuşdur. Məhz bu səbəbdəndə LFS ssintilyatorları əsasında detektorlar hazırlanarkən onlar kənar işıq mənbələrindən qorunulmalıdır.

9. MSFD diodlar əsasında hazırlanan detektor modullarının simulyasiyası və hazırlanması :

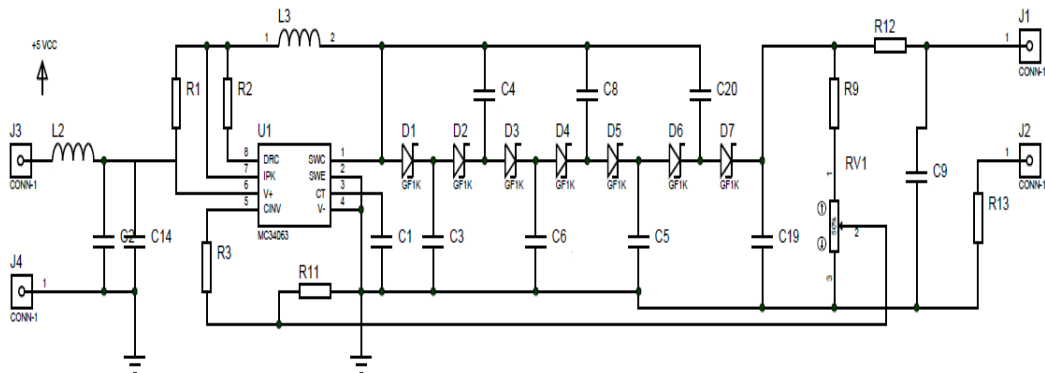
Layihənin yerinə yetirilməsi mərhələlərinə əsasən MSFD fotodiod və ssintilyator cütü əsasında yeni detektor modulunun hazırlanması və onun parametrlərinin təyin edilməsinə dair

elmi-tədqiqat və texniki işlər aparılmışdır. Bu işdə MSFD fotodiodların enerji qidalanmasının təmin edilməsi üçün xüsusi gərginlik çeviricisi yığılmışdır. Bundan başqa detektor modulundan alınan siqnalı analiz etmək məqsədi ilə fotodioddan rəqəmsal siqnal almaq üçün əlavə kəmparator yığılmışdır.

Yüksək gərginlik çevricilərinin yığılması üçün MC34063A idarəedicisindən istifadə edilmişdir. Gərginlik çevricilərinin USB girişlə və batareya ilə verilən +3V- +5V gərginliyi +94,6V və +800V gərginliyə çevirməyə imkan verir. Bu zaman gərginliyin çıxış qiymətinin orta fluktuasiyası 0,01V-dən az olur. Gərginlik çevricilərinin yığılmasında istifadə edilən MC34063A idarəedicisinin üstünlükləri aşağıda göstərilmişdir:

- İşləmə gərginliyi- 3V-40V
- İşləmə tezliyi-100kHs
- Çıxış cərəyanı-1,5A

MC34063A kanallarından biri impuls generatoru kimi istifadə edilmişdir. Yaranan siqnalın tezliyini müəyyən etmək üçün aşağı tutumlu kondensatorlardan istifadə edilmişdir (30pF). Bu zaman yaranan düzbucaqlı və ya sinusoidal siqnalın tezliyi 10500Hs olmuşdur. Tezliyin bu qiymətinin seçilməsi zamanı idarəedicinin cərəyan tələbatı minimum olmuşdur. Daha sonra siqnal induktivliyi 1000 mkH olan sarğıya verilir və induktivliyə enerji toplanır və tezlikdən asılı olaraq BAV.102 diodun vasitəsi ilə 10nF-lıq kondensatora boşalır. İmpulsun induktivliyə dolma müddətini artırmaqla çıxış gərginliyini artırmaq mümkün olur. İnduktivliyə toplanan enerji diod və kondensator cütliyündən ibarət kaskadlar vasitəsi ilə kondensatorlara boşalır və dolmuş kondensatorlar boşaldıqda isə çıxış gərginliyi kondensatora toplanan gərginlik qədər artır. Bir qaydada olaraq verilmiş tezlikdə kondensatorlar və diod cütliklərinin sayını artırmaqla çıxış gərginliyini artırmaq mümkün olur. Tətbiq edilən gərginliyi 10V gərginlik intervalında dəyişmək (azaldıb artırmaq) üçün əlavə gərginlik bölücüsü yığılmışdır. Çıxış gərginliyinin stabilliyini təmin etmək məqsədi ilə Zenner diodlardan istifadə edilmişdir. Bununla yanaşı çıxış gərginliyinin giriş gərginliyindən asılı olmaması üçün MC34063A-nın əks əlaqə kanalından istifadə edilmişdir. Bu isə imkan vermişdir ki, giriş siqnalı 3 V-10V intervalında dəyişdikdə belə, çıxış siqnalı sabit bir qiymət versin. GÇ dövrəsi ilkin olaraq İSİS 7 Professional Proteus programında yığılmış, simulyasiya edilmiş,



Şəkil.11. Gərginlik çevricilərinin elektrikdövrəsi.

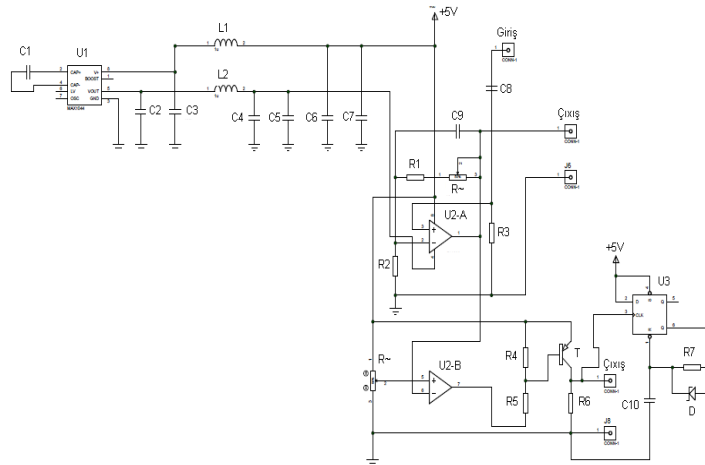
topologiyası və daha sonra real elektron sxemi hazırlamışdır. Elementlərin seçilməsi zamanı cərəyan itkisinin minimum olmasına xüsusi yer verilmişdir. Şəkil 11-də yığılmış dövrənin elektron sxemi və hazırlanmış forması göstərilmişdir. Bu tip gərginlik çevricilərin cərəyan tələbatı 2mA

olmuşdur. Bu GÇ-ləri əksər MSFD fotodiodları gərginliklə təmin etmək üçün istifadə edilməsi nəzərdə tutulmuşdur Bununla yanaşı gücləndirmə əmsalını 50-100 arasında dəyişməyə imkan verən əlavə gücləndirici yığılmışdır. Bu tip gücləndiricilərin buraxma zolağı 2MHs olmuşdur. Bu tip gücləndiricilər yalnız davam etmə müddəti bir-neçə mikro saniyə olan ssitilyator detektorları üçün əlverişli hesab edilir. Gücləndiricilər LT-1355 əsasında hazırlanmışdır (Şək.12). LT-1355 gücləndiricilərinin $\pm 5V$ gərginliklə qidalanmasını təmin etmək üçün MAX 1044 əsasında yığılmış gərginlik invertorundan istifadə edilmişdir. MAX 1044-ün – və + qütblü çıxışlarına əlavə olaraq LC(100 mkH, 100 pF, 10 nF və 10 mkF) filtr yığılmışdır. Bu filtr gərginliyin fuluktasiyasını minimuma endirmək üçün edilmişdir. Gücləndiricinin + qütblü girişinə verilən gərginliklər 100mkF və 1mkF gərginliklə yerə birləşdirilmişdir. Bu yaxınlaşma nəticəsində xarici gərginlik mənbəsindən gələn küylər azadılmışdır. LT-1355 gücləndiricilərin bir kanalı gücləndirici kimi istifadə edilmişdir (U2-A). Siqnal noninvert girişə verilmişdir, bu halda gücləndiricinin gücləndirmə əmsalı bu ifadə ilə hesablanmışdır:

$$G = 1 + \frac{R_1}{R_2} \quad (7)$$

Burada k_1 , R_1 -əks əlaqə müqavimətidir və R_2 isə 2-ci (İnvert) girişə birləşdirilən müqavimətdir. Siqnal noninvert girişinə verilir və çıxışda siqnalın fazası dəyişmir.

Alınan siqnalın maksimal amplitudu 5 V olmuşdur. Daha sonra alınan analoq siqnal çıxışa verilmiş və rəqəmsal siqnal almaq üçün əlavə komparator yığılmışdır (U2-B). . Komparatorun yığılması zamanı LT-1355 gücləndiricisinin ikinci kanalı istifadə edilmişdir. Giriş üçün astana enerjisi seçilən müqavimətlər vasitəsi ilə müəyyən edilmişdir. Giriş siqnalı astana qiymətindən yüksək olarsa bu zaman siqnal LT-1355 gərginlik mənbəsi qədər gücləndirilir və çıxışda rəqəmsal siqnal

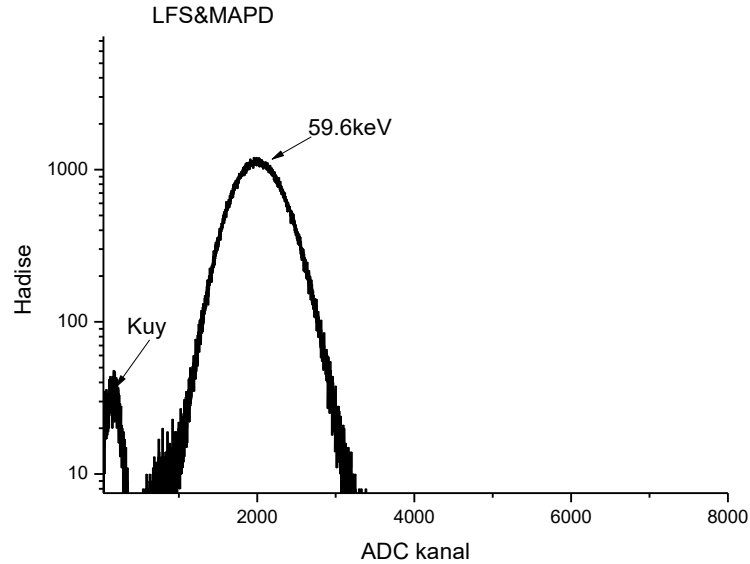


Şək. 12 .MSFD fotodiodlardan alınan siqnalları işlənməsi üçün istifadə edilən gücləndirici (LT-1355 əsasında), diskriminator və rəqəmsal çevrici dövrəsi .

(1) alınır. Astana amplitudu olaraq 150mV seçilmişdir. Siqnalın amplitudu artdıqca komparatorun çıxışındakı siqnalın amplitudunda dəyişmələr müşahidə edilmişdir. Əgər siqnalın amplitudu astana amplitudundan kiçikdirsə, bu zaman çıxışda siqnal müşahidə edilmir və bu zaman çıxış (0) olur. Komparatorun çıxışında alınan siqnal tranzistorun bazasına verilmişdir və bu zaman çıxışdakı siqnallar sabit bir amplitudda müşahidə edilmişdir. Bununla yanaşı siqnalın eninin dəyişməsinin qarşısını almaq üçün dövrəyə 74HC74 əlavə edilmişdir. Bu zaman rəqəmsal çıxışda alınan siqnal sabit enə və sabit amplituda malik olmuşdur.

MSFD diodlar əsasında hazırlanmış detektroyun qamma şüaları qeyd etmə həsaslığı

öyrənilmişdir. Detektordan qeyd edilən analoq siqnalı rəqəmsal siqnala çevirmək üçün CAEN-5720 istifadə edilmişdir. Qamma şüa mənbəyi olaraq Am-241 radioizotopundan istifadə olunmuşdur. **Şəkil 13-də** Am-241 radioizotopunun buraxdığı qamma şüasının amplituda görə paylanma spektri göstərilmişdir. Məlumdur ki, Am-241 izotopu alfa zərrəcikləri buraxmaqla yanaşı, enerjisi 59.6keV olan (buraxma ehtimalı 35.9%) qamma şüaları da buraxır. Spekrtdə alfa zərrəciklərə uyğun hadisələrin müşahidə edilməsi mümkün deyil. Buna səbəb 100 mkm qalınlıqlı teflon təbəqənin alfa zərrəciyini tamamilə udmasıdır. Spekrtdən



Şəkil 13. LFS-3 ssintilyator + MSFD diod əsasında hazırlanmış detektorun Am-241 radioizotopundan qeyd etdiyi siqnalların amplitud paylanması spektri.

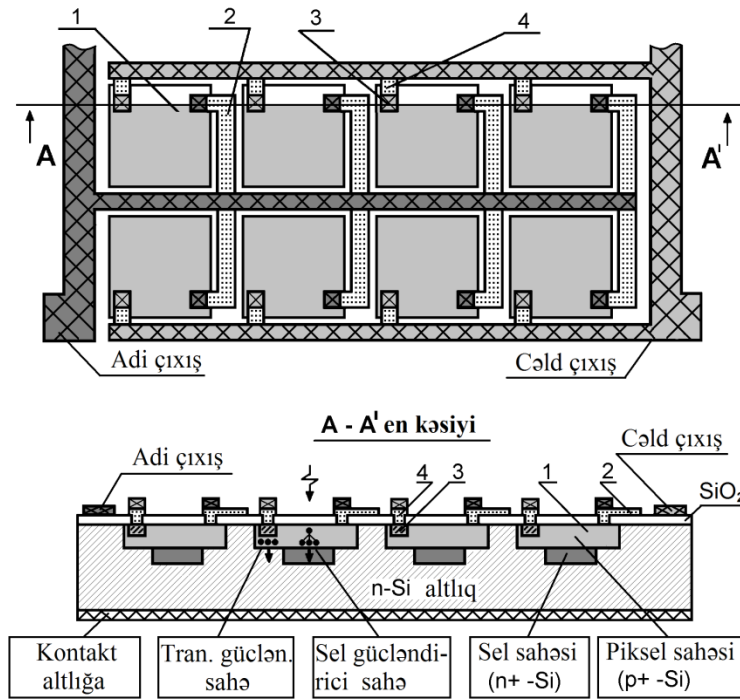
görüldüyü 2012-ci kanala düşən pik Am-241 izotopunun buraxdığı 59.6keV enerjili qamma şüasına məxsusdur. Am-241 izotopunun buraxdığı 59.6keV enerjili qamma şüası üçün enerji ayırd etməsi 33% alınmışdır. Kanalın 0-350 intervalına düşən hissə isə birbaşa olaraq MSFD diodun qaranlıq cərəyanı və elektron dövrəsinin küyü hesabına formalaşmışdır. Beləliklə mikropikselli selvari fotodiodlar əsasında hazırlanacaq detektorların gərginlik çevrici, gərginlik invertoru, gücləndirici, diskriminator blokları hazırlanmış və yoxlanılmışdır.

10. Selvari fotodiodlar yeni modeli mikropikselli selvari fototranzistor (MSFT) hazırlanması və analoqu ilə müqayisə:

İlk dəfə olaraq bizim tərəfimizdən Mikropikselli Selvari Fototranzistor (MSFT) hazırlanmışdır. MSFT individual söndürücü rezistorları olan mikropiksel matrisini (MSFD-lərdəki kimi) və individual ballast rezistorları olan mikrotranzistor matrisini özündə cəmləşdirir. Bütün mikropiksellər individual söndürücü rezistorlar vasitəsi ilə bir metal zolağa birləşdirilir, mikrotranzistorlar isə öz ballast rezistorları vasitəsi ilə başqa bir metal zolağa birləşdirilir. Başqa sözlə, qurğu iki müstəqil çıxışa malikdir: mikropiksel çıxışı və ya "adi çıxış" və mikrotranzistor çıxışı və ya "cəld çıxış" (şəkil 14).

MSFT-nin iş prinsipi ifrat gərginlikdə (Heyger rejimdə) işləyən MSFD-lərin xüsusiyyətlərinə əsaslanmışdır. Selvari proses nəticəsində pikselin tutumu boşalmağa başlayır və onun rezistorunda düşən gərginlik 0,8 V-dan yüksək olan zaman mikrotranzistorun emitter-baza keçidi tam açılır və nəticədə mikrotranzistorun elektrik dövrəsindən ballast rezistorları ilə

məhdudlaşdırıla bilən böyük cərəyan axır. Mikrotranzistor o vaxt bağlanır ki, mikropikselin tutumunun dolması nəticəsində onun söndürücü rezistorlarında (və ya mikrotranzistorun baza



Şəkil 14. Altıçı n tip keçiriciliyə malik olan silisium əsaslı mikropikselli selvari fototranzistorun konstruksiyası: 1-mikropiksel, 2-mikropikselin söndürücü rezistoru, 3-mikrotranzistor, 4-mikrotranzistorun ballast rezistoru.

keçidində) emitterə nisbətən düşən potensial 0,8 V-dan aşağı olsun. Məsələn, n-p-n tipli mikrotranzistor, altıçı n-tip olan, p-tip pikselin səthinin kiçik bir hissəsində n-tip region yaratmaqla əldə edilir. Ölçüləri, məsələn 5mkm×5mkm olan mikrotranzistor ölçüləri 50mkm×50mkm olan pikselin səthinin təqribən 1%-nı tutur. Bu halda, mikrotranzistorun xüsusi tutumu uyğun pikselin xüsusi tutumundan 100 dəfə az olacaq və bu o deməkdir ki, siqnal mikrotranzistor dövrəsindən götürülsə, cihazın effektiv tutumu 100 dəfə azalacaqdır.

Cədvəl 1-də, təklif olunan MSFT-nin və onun analoqu olan "SensL" (İrlandiya) şirkətinin MicroPC-30035-SMT tipli fotoqeydedicisinin müqayisəsi göstərilmişdir. MicroPC-30035-SMT tipli cihazda cəld siqnal piksellərin səthində yerləşən mikrotutumlar dövrəsindən götürülür. Göründüyü kimi, MSFT-dən götürülən siqnalın əsas parametrləri "SensL" cihazının parametrlərini üstələyir.

Cədvəl 1. Təklif olunan MSFT-nin və onun "SensL"(İrlandiya) şirkətindən olan analoqunun parametrlərinin müqayisəsi.

Cihaz	"SensL" şirkətinin cihazı	Hazırlanan MSFT
Parametr		

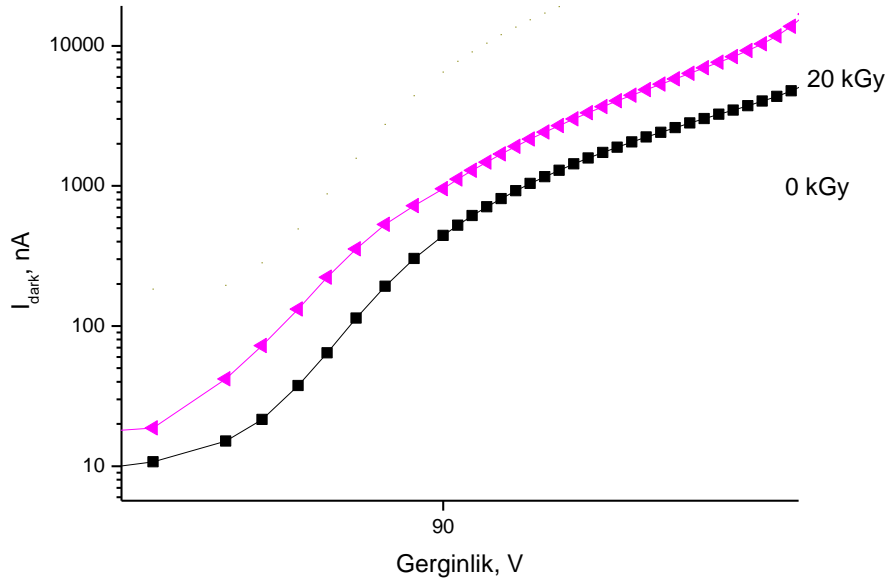
Siqnalın amplitudu	1,2 mV	2,8 mV
Gücləndirmə əmsalı	$0,63 \cdot 10^5$	$5,1 \cdot 10^5$
Siqnalın ön cəbhəsinin artma sürəti	$2,4 \cdot 10^5$ V/s.	$5 \cdot 10^5$ V/s.
Həssas sahə	3mm*3mm	3mm*3mm

11. MSFD diodların 1.17MeV və 1.32MeVenerjili qamma şüalara qarşı radiasiya davamlılığı tədqiq edilmişdir:

Bir çox təcrübələrdə selvari diodlar yüksək radiasiya fonlarında işlədiklərində əksər hallarda bu diodların xassələri kəskin pisləşir. Məhz bu səbəbdən də ssintilyatorlu detektorların hazırlanmasında istifadə edilən MSFD diodların və gücləndirici blokların radiasiya davamlılığının öyrənilməsi əsas şərtlərdən biri hesab edilir. Bu məqsədlə ssintilyator detektorlarında istifadəsi nəzərdə tutulan MSFD-3NK diodlarının və gücləndirici blokun 1.17MeV və 1.32MeVenerjili qamma şüalara qarşı radiasiya davamlılığı tədqiq edilmişdir. Şüalanma dozası olaraq 20kQr dozaya seçilmişdir. Şüalanma zamanı MSFD-3NK diodunun qaranlıq cərəyanın və tutumun dəyişməsi analiz edilmişdir.

Qamma şüa mənbəyi olaraq AMEA- nın Radiasiya Problemləri institutunun nəzində olan yüksək aktivlikli C-60 mənbəyindən istifadə edilmişdir. Co-60 mənbəyinin aktivliyi ~17394.07 GBk olmuşdur. Diodlar Co-60 mənbəyindən 20 sm məsafədə suyun içində şüalandırılmışdır. Şüalanma zamanı diodlara gərginlik tətbiq edilməmişdir.

Qamma şüaları silisium atomlarının elektronlarına foto effekt və kompton səpilməsi nəticəsində kifayət qədər enerji verirlər. Yeni yaranmış bu elektronlar silisium atomlarına böyük enerjilər verir. Atomların aldığı enerji rabitə enerjisindən böyük olduqda qəfəsin düyününü tərək edir və onlar qəfəs daxilində daha sıx və stabil A- mərkəzləri, E-mərkəzləri və divakansiyalar yaradırlar. Yaranan bu defektlər rekombinasiya, tutma və generasiya mərkəzləri rolunu oynayır. MPSF-3NK diodlarının şüalanması zamanı yaranan radiasiya defektləri məhz birinci və ikinci epitaksial təbəqənin həcmi boyunca bircins paylanırlar. MPSF-3NK diodların qaranlıq cərəyanına qamma şüaların deşilmə gərginliyindən aşağı və yuxarı gərginlikdə təsiri öyrənilmişdir. Şüalanma dozasının 20 kGy dozasında gərginliyin 60V və 80V qiymətində qaranlıq cərəyan 2 dəfə artmışdır(Şək.15). Qaranlıq cərəyanın bu artımı selvari oblastda da özünü saxlamışdır. Göründüyü kimi şüalanmış diodun tam qaranlıq cərəyanının artması

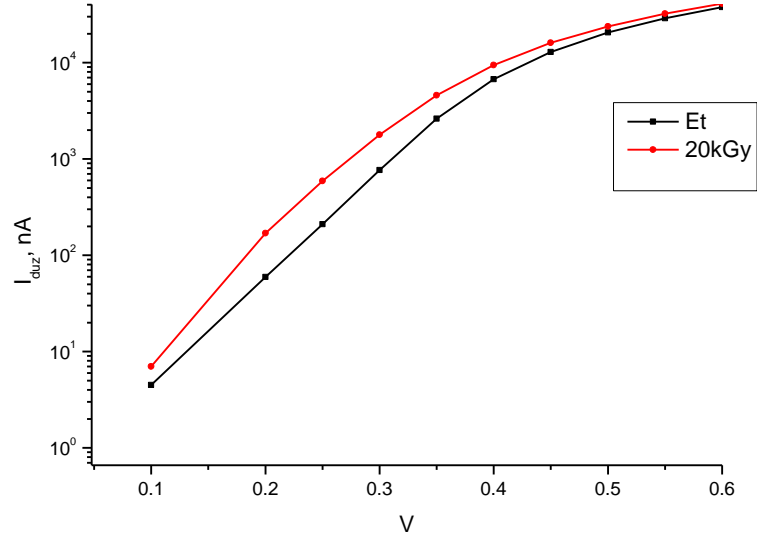


Şəkil. 15. Mikro-pikselli selvari fotodiodun qaranlıq cərəyanının müxtəlif dozalarda gərginlikdən asılılığı: 1-Şüalanmadan əvvəl və 2-20 kGy

fəza yüklər oblastındaki generasiya cərəyanının artmasından asılıdır. Qaranlıq cərəyanın artmasına əsas səbəb epitaksial təbəqələrdə yeni generasiya mərkəzlərinin yaranmasıdır.

Bu generasiya mərkəzlərinin konsentrasiyası şüalanma dozası artdıqca xətti olaraq artır. Məlumdur ki, selvari fotodiodun tam qaranlıq cərəyanı belə ifadə olunur: $I = I_{s\ th} + M \times \dot{I}_{gen}$, harda ki, $J_{s\ eth}$ – selvari güclənmədə iştirak etməyən səthi qaranlıq cərəyan, J_{gen} – diodun aktiv layında yaranan və güclənmədə iştirak edən qaranlıq cərəyan, M – selvari prosesin gücləndirmə əmsəlidir. Məhz bu səbəbdən də radiasiya hesabına yaranan generasiya cərəyanı artdıqca MSFD diodunda qaranlıq cərəyanı xətti olaraq artmışdır. Diodun qaranlıq cərəyanının 2 dəfə artmasına baxmayaraq MSFD-3NK diodları 20kGy dozada öz işlək parametrlərini tam saxlamışdır.

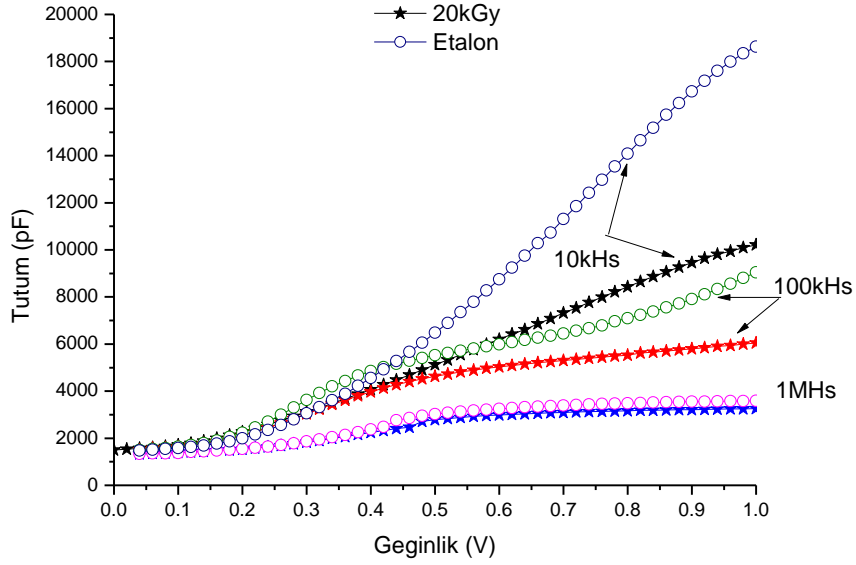
MSFD-3NK diodlarının düz istiqamətdə volt-farad xarakteristikasının (VAX) dəyişməsinə baxılmışdır (Şək.16). Məlumdur ki dioda 0V gərginlik tətbiq edildikə p-n keçid tarazlıq halında olur və potensial baryer özünün maksimum qiymətini alır (~0,7V) . Bu zaman dövredən axan cərəyan minimum qiymətini alır. Bu oblasda radiasiya defektlərinin yaratdığı effektləri də



müşahidə etmək mümkündür.

Şək.16. Qamma şüaları ilə şüalanmış MSFD-3NK diodların düz istiqamətdə volt amper xarakteristikası.

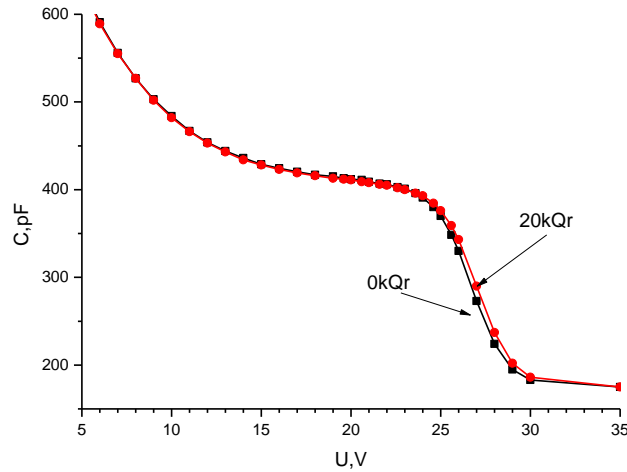
Gərginliyin sonrakı qiymətlərində isə p-n keçidin potensial baryerinin hündürlüyü tədricən azalır və p-n keçiddən axan cərəyan artır. Düz istiqamətdə dioda tətbiq edilən gərginliyin 0,1V - 0,3 V qiymətində cərəyan 1,7-3,7 dəfə artmışdır, lakin gərginliyin sonrakı böyük qiymətlərində bu nisbət azalmış və 0,6V gərginlikdən sonra şüalanmış və ilkin hal arasında fərq müşahidə edilməmişdir. Buna səbəb isə p-n keçidin artıq 0,6 V gərginlikdə açılması olmuşdur. Radiasiya defektlərinin yaratdığı cərəyan p-n keçidin açılması zamanı axan cərəyandan çox-çox kiçik olur. Həmçinin də diodun tutumunun düz keçid istiqamətində tezlikdən asılılığı da tədqiq edilmişdir (Şək.17). Məlum olmuşdur ki yüksək tezliklərdə 1MHs –də şüalanmış diodla etalon diod arasında kəskin fərq müşahidə edilməmişdir. Buna səbəb tutma mərkəzləri tərəfindən tutulmuş yükdaşıyıcılar boşalmağa imkan tapmırlar və bu səbəbdən də diodun tutumunda ciddi fərq müşahidə edilməsi mümkün olmur. Lakin sinusoidal siqnalın aşağı tezliklərində 100 kHs bu fərq artmış və kəskin fərqlənmə isə məhz tezliyin 10kHs qiymətində müşahidə



Şək.17. Qamma şüaları ilə şüalanmış MSFD-3NK diodların düz istiqamətdə volt farad xarakteristikası.

edilmişdir. Tezliyin aşağı qiymətlərində tutumlar arasında ciddi fərqin müşahidə edilməsi radiasiya defektlərinin yaratdığı tutma mərkəzlərinin işləmə prinsipi ilə əlaqəlidir. Göründüyü kimi tezliyin 10 kHs qiymətində tutma mərkəzlərinin müəyyən hissəsinin dolub boşalması müşahidə edilir. P-n keçiddə tətbiq edilən gərginliyin 0,5V qiymətində şüalanmış diodların tutumları müqayisə edilmişdir. Sinusoidal siqnalın 1MHz tezliyində düz istiqamətdə diodun tutumu təqribən 8 %, 100 kHs tezliyində 16,5% və 10 kHs tezliyində isə maksimum olaraq 21% olmuşdur. Bu fərq p-n keçidin açılması üçün lazım olan gərginlikdən yuxarı gərginliklərdə daha kəskin fərqlənmişdir.

Şüalanmadan sonra tərs istiqamətdə MSFD-3NK diodlarının tutumunda heç bir dəyişiklik müşahidə edilməmişdir (Şək.18). Dioda tətbiq edilən gərginliyin 15-20V qiymətində MSFD-3NK fotodiodu həcmi yüklər oblastı ilə tam əhatə



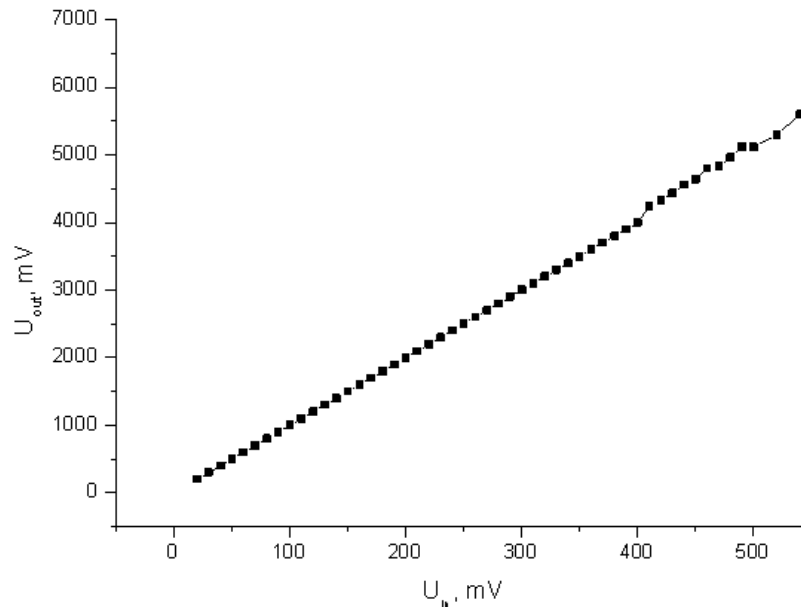
Şək.18. Qamma şüaları ilə şüalanmış MSFD-3NK diodların tərs istiqamətdə volt farad xarakteristikası.

edilmişdir. Bunun üçün elə rejim seçilməlidir ki, fotodiodun aktiv həcmi tam həcmi yüklər oblastı

ilə əhatə olunsun. Bu hal MSFD-3NK diodlarında 15-20 V gərginlikdə baş vermişdir və diodun tutumu 176pF olmuşdur.

12. Gücləndirici blokun 1.17MeV və 1.32MeV enerjili qamma şüalara qarşı radiasiya davamlılığı tədqiq edilmişdir:

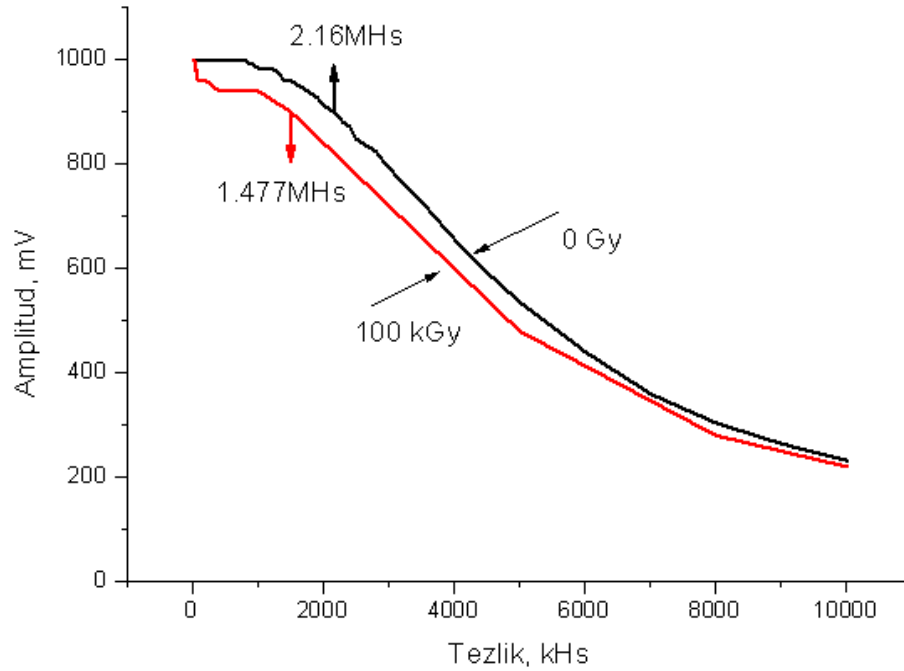
Təklif edilən qamma-detektorda LT-1357 mikro-çipi əsasında hazırlanmış bir kaskadlı gücləndirici istifadə edilmişdir və hazırlanmış gücləndiricinin gücləndirmə əmsalı 10 olmuşdur. Gücləndirmə əmsalının təyin edilməsi zamanı gücləndiriciyə Tektronix AFG 3101C impuls generatorundan tezliyi 10 kHs, amplitudu 10 mV-250 mV intervalında dəyişən sinusoidal impulslar verilmişdir. Gücləndiricinin giriş siqnalın çıxış siqnalından asılılığı Şək.19-də verilmişdir. Gücləndirilmiş siqnalın amplitudu Hantek DSO5202 ossilloqrafı vasitəsi ilə müəyyən edilmişdir. Qamma şüalanması zamanı 4 gücləndiricidən istifadə edilmişdir. Gücləndiricilər 2 dozada şüalandırılmışdır: 20 kQr və 100 kQr. Şüa mənbəyi olaraq Co-60 mənbəyindən istifadə edilmişdir. Şüalanmadan sonra gücləndiricinin gücləndirmə əmsalının və gücləndiricinin buraxma zolağının dozadan asılılığı tədqiq edilmişdir. Gücləndiricilərin buraxma zolağı təyin edilərkən Tektronix AFG 3202C impuls generatorundan tezliyi 1 kHs-20 MHs, intervalında dəyişən və amplitudu 20 mV olan sinusoidal impulslar verilmişdir. Şüalanma dozasının 20-100 kQr qiymətlərində gücləndiricilərin gücləndirmə və buraxma zolaqlarının eninin dəyişməsində ciddi dəyişiklik müşahidə edilməmişdir. Şüalanmadan öncə gücləndiricinin buraxma zolağının eni (amplitudun 90%) 2,16 MHs tezlikdə müşahidə edilmişdir. Şüalanma dozasının 100 kQr qiymətlərində isə gücləndiricinin buraxma zolağının eni (amplitudun 90%) 2,16 MHs tezlikdən azalaraq 1,477 MHs tezlikdə müşahidə edilmişdir. Ümumilikdə, 100 kQr dozadan



Şək.19. Gücləndiricinin giriş siqnalının çıxış siqnalından asılılığı.

sonra buraxma zolağının eninin 30%-ə kimi azalması müşahidə edilmişdir (Şəkil 20). Başqa sözlə, artıq bu tip gücləndiricilər ssintilyatordan buraxılan və davam etmə müddəti 470 nsan olan siqnalları normal gücləndirə bilməmişdilər. Bu səbəbdən də şüalanma dozasının 100 kQr qiymətindən sonra belə gücləndiricilərin NaJ, LFS və BGO 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 çox saylı metal-oksit-yarımkəçirici (MOY) və digər tip tranzistorlarda radiasiya hesabına yaranan effektlərlə bağlı ola bilər. İonlaşdırıcı qamma şüası MOY tranzistorun idarəedici elektrodundakı (İngiliscə: gate) SiO_2 üzərinə düşdükdə orada yüksək enerjili elektronlar yadır. Yaranmış bu elektronlar SiO_2 daxilində defektlər yaratmaqla yanaşı həmçinin elektron-deşik cütü də yadır. Yüksək enerjili elektronlar SiO_2 -də elektron-deşik cütü yaratmaq üçün 18 eV enerji sərf edir. SiO_2 -də elektronların yüyrüklüyünün dəşiklərin



Şək.20. Gücləndiricinin buraxma zolağının tezlikdən asılılığı.

yüyrüklüyündən dəfələrlə böyük olması idarəedici elektroduna tətbiq edilən müsbət gərginlik hesabına dielektrik təbəqəsində yaranan elektronların bir neçə pikosaniyə müddətində idarəedici elektrodunda toplanmasına imkan verir. Yaranmış elektron və deşiklərin müəyyən bir hissəsi rekombinasiya olunur. Deşiklərin izolyator daxilində yüyrük olması onların yarandığı nöqtələr ətrafında qalmasına və tutma mərkəzləri tərəfindən tutulma ehtimalını yadır. Bunun nəticəsində idarəedici elektrodun altındakı kanalı idarə edən elektrik sahəsi dəyişir ki, bu da tranzistorun iş rejimindən çıxmasına səbəb olur. Bu mərkəzlərin deşikləri tutma effektiv kəsikləri elektronlara nisbətən 1000 dəfələrlə yüksəkdir. Tutma mərkəzlərinin deşikləri tutması nəticəsində SiO_2 təbəqəsi müsbət yüklə yüklənir. Başqa sözlə, gücləndiricinin buraxma zolağı azalır. Şüalanmanın sonrakı qiymətində gücləndiricinin xassə ərinde ciddi dəyişiklik müşahidə edilməmişdir. Lakin, ümumilikdə bu azalmalar gücləndiricinin öz iş qabiliyyətinin buraxma zolağının yuxarı tezliklərdə azalması isə bu gücləndiricilərin qısa impulsları düzgün gücləndirməməsi ilə nəticələne bilər. Ümumilikdə zolağın dəyişməsi 30 % olmuşdur.

- 4 Layihə üzrə **elmi nəşrlər** (elmi jurnallarda məqalələr, monoqrafiyalar, icmallar, konfrans materiallarında məqalələr, tezislər) (dərc olunmuş, çapa qəbul olunmuş və çapa göndərilmişləri ayrılıqda qeyd etməklə, uyğun məlumat - jurnalın adı, nömrəsi, cildi, səhifələri, nəşriyyat, indeksi, Impact Factor, həmmüəlliflər

və s. bunun kimi məlumatlar - ciddi şəkildə dəqiq olaraq göstərilməlidir) (*surətlərini kağız üzərində və CD şəklinə əlavə etməli!*)

(burada doldurulmalı)

1. R. S. Madatov, N. N. Gadzhieva, A. I. Nadjafov, N. I. Huseynov, F. G. Asadov. Radiation Effect on Layered Crystals of GaS and GaS <Yb>. Colloid and Surface Science 2017; 2(1): 43-46 (<http://www.sciencepublishinggroup>, **Impact factor-0.762**)).
2. P. C. Madatov, A. I. Nadjafov, N. I. Guseynov, M. A. Mamedov, M. M. Djaxanqirov. Особенности динамики решетки в слоистых кристаллах GaS при имплантации ионами водорода с энергией 140 кэВ, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri, Fizika-riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya, V 21, N3 sec-En., 2016, s.36-40.
3. Huseynov N.İ, Gadzhieva N.N, Asadov F.G. Influence of γ -irradiation and annealing on FR IR-spectra of absorption of layered crystals GaS. Journal of Radiation Research. 2016, p. 11.
4. 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, 11 February 2017, Vol 845, pp 621-622 (**Impact factor-1.362**)
5. A. Sadigov, F. Ahmadov, G.Ahmadov, A. Ariffin, S. Khorev, Z. Sadygov, S. Suleymanov, R. Madatov, F. Zerrouk, A new detector concept for silicon photomultipliers, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators. Volume 824, 11 July 2016, pp 135-136 (**Impact factor-1.362**)
6. Z. Sadygov, F. Ahmadov, G.Ahmadov, A. Ariffin, S. Khorev, A. Sadigov, S. Suleymanov, R. Madatov, F. Zerrouk, A new method to improve multiplication factor in micro-pixel avalanche photodiodes with high pixel density, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A . Volume 824, 11 July 2016, Pages 137-138(**Impact factor-1.362**).
7. A. Sadigov, F. Ahmadov , S. Suleymanov , N.Heydarov , R.Valiyev , M.Nazarov , R. Akbarov , G. Ahmadov , Z. Sadygov , R. Madatov , R. Mechtiyeva , R. Mukhtarov , S. Khorev , F. Zerrouk , An Iterative Model of Performance of Micropixel Avalanche Photodiodes // International Journal of Advanced Research in Physical Science (IJARPS), V.3, No 2, (2016), p.9-19.
8. 5.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
9. S. Süleymanov, F.Əhmədov, R.Mədətov, M.Nəzərov, R. Ələkbərov, A. Sadıqov, Q. Əhmədov, R.Vəliyev, M. Cahangirov. Ssintilyatorlu radiasiya detektormodulları üçün yeni gücləndiricilərin işlənməsi, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri, Fizika-riyaziyyatvətexnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya, V 21, N3 sec-En., 2016, s.20-24
10. F. Əhmədov, S. Süleymanov, Q. Əhmədov, A. Sadıqov, R.Mədətov, M.Nəzərov, R. Ələkbərov, R.Vəliyev, Alfa zərrəciklərinin BCF-12 fiber ssintilyatoru və selvari fotodiodlar vasitəsi ilə qeyd edilməsi, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri, Fizika-riyaziyyatvətexnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya, V 21, N3 sec-En., 2016, s.25-28
11. A. Sadigov, S. Suleymanov, F. Ahmadov, G. Ahmadov, Z. Sadygov, R. Madatov, R. Mehdiyeva, M. Nuriyev, R. Akberov, R. Valiyev, N. Heydarov, M. Nazarov, PERFORMANCE OF A NEW PHOTO DETECTOR FOR IONIZING RADIATION, Journal of Radiation Researches, vol.2, №2, 2015, p. 16-20

5	İxtira və patentlər, səmərələşdirici təkliflər (burada doldurulmalı) Yoxdur
6	Layihə üzrə ezamiyyətlər (ezamiyyə baş tutmuş təşkilatın adı, şəhər və ölkə, ezamiyyə tarixləri, həmçinin ezamiyyə vaxtı baş tutmuş müzakirələr, görüşlər, seminarlarda çıxışlar və s. dəqiq göstərilməlidir) (burada doldurulmalı) Ezamiyyət baş tutmayıb
7	Layihə üzrə elmi ekspedisiyalarda iştirak (əgər varsa) (burada doldurulmalı) Yoxdur
8	Layihə üzrə digər tədbirlərdə iştirak (burada doldurulmalı) Yoxdur
9	Layihə mövzusu üzrə elmi məruzələr (seminar, dəyirmi masa, konfrans, qurultay, simpozium və s. çıxışlar) (məlumat tam şəkildə göstərilməlidir: a) məruzənin növü: plenar, dəvətli, şifahi və ya divar məruzəsi; b) tədbirin kateqoriyası: ölkədaxili, regional, beynəlxalq) (burada doldurulmalı) <i>Aşağıda qeyd edilən ölkə daxili konfranslarda məruzələr şifahiformada təqdim edilmişdir.</i> 1. A.Sadıqov, F.Ahmadov, S.Suleymanov, R.Akberov, G.Ahmadov, N.Heydarov, Nazarov. M, R. Valiyev , Nuriyev. İ, Preparation Of New Generation Of Radiation Dosimeter Based On MAPD, AMEA-nin 70iliyi,səh 49, 2015 2. P. 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 yaradılmasınının 10 illiyinə həsr olunmuş , Optr, nanoelektronika , kondensə olunmuş mühit və yüksək enerjilər fizikası, Beynəlxalq Konfrans,səh 523,2015 3. Vəliyev R.V., Əhmədov F.İ. , Sadıqov A.Z. Heydərov N.N., Əhmədov Q.S., Nəzərov M.S. MİKROPIKSELLİ SELVARI FOTODİODLARIN İŞÇİ PARAMETRLƏRİNİN TƏDQIQI, Gənclərin Yaradıcı Potensialı Aviakosmik məsələlərin həllində Beynəlxalq elmi-praktiki konfransının “Aviasiya nəqliyyatında təhlükəsizliyi. s 189-191,2017. 4. Samir Süleymanov, Namiq Heydərov, Azər Sadıqov, Maqsud Nəzərov,Rusif Vəliyev, Ramil Əkbərov, SİLİSIUM ƏSASLI SELVARI FOTODİODLAR ƏSASINDA SSİNTİLYASIYA DETEKTOR MODULUNUN HAZIRLANMASI, Gənclərin Yaradıcı Potensialı Aviakosmik məsələlərin həllində Beynəlxalq elmi-praktiki konfransının“Aviasiya nəqliyyatında təhlükəsizliyi. s 46-49, 2017 5. A.Садыгов, С.Сулейманов, А.Гарибов, Ф.Ахмадов, Г.Ахмадов, Р.Акберов, Р.Мехтиева, М.Нуриев, Р.Мадатов, М.Назаров, Р.Валиев, Н.Гейдаров, Изготовление кремниевых фотоумножителей и их применение, Чрезвычайная ситуация и безопасная жизнь, 2015, Баку, с 352-354. 6. Р.Мадатов, Р.Акберов, Ахмадов, Г.Ахмадов, А.Садыгов, С.Сулейманов, М.Назаров, Н.Гейдаров, Р.Валиев, И.Нуриев, Разработка детектора гамма излучения на основе микропиксельного лавинного фотодиода, Чрезвычайная ситуация и безопасная жизнь, 2015, Баку, с 355-358. <i>Aşağıda qeyd edilən ölkə xarici konfransda şifahi formada təqdim edilmişdir.</i> 1. А.Садыгов, Ф.Ахмедов, Г.Ахмедов, З.Садыгов, А.Гарибов, Р.Мадатов, О.Самедов,

	C.Сулейманов, Д.Нагиев, Р.Акберов, Концепция дозиметра на базе кремниевых фотополупроводников, Ядерная и радиационная физика, 2015, Курчатов, Казахстан, с 168-169.
10	Layihə üzrə əldə olunmuş cihaz, avadanlıq və qurğular, mal və materiallar, komplektləşdirmə məmulatları (burada doldurmalı) Sifariş edilən avadanlıqlar alınmamışdır
11	Yerli həmkarlarla əlaqələr (burada doldurmalı) Yoxdur
12	Xarici həmkarlarla əlaqələr (burada doldurmalı) Rusiya Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutu (Dubna şəhəri)
13	Layihə mövzusu üzrə kadr hazırlığı (əgər varsa) (burada doldurmalı) Təqdim edilən qrant layihəsi mövzusu üzrə iki gənc əməkdaş Azər Sadıqov və Samir Süleymanov 2016-cı ildə fizika üzrə fəlsəfə doktoru alimlik dərəcəsi almaq üçün dissertasiya müdafiə etmişlər
14	Sərgilərdə iştirak (əgər baş tutubsa) (burada doldurmalı) Yoxdur
15	Təcrübəartırmada iştirak və təcrübə mübadiləsi (əgər baş tutubsa) (burada doldurmalı) Yoxdur
16	Layihə mövzusu ilə bağlı elmi-kütləvi nəşrlər, kütləvi informasiya vasitələrində çıxışlar, yeni yaradılmış internet səhifələri və s. (məlumatı tam şəkildə göstərməlidir) (burada doldurmalı) Yoxdur

SİFARİŞÇİ:
Elmin İnkişafı Fondu

Baş məsləhətçi
Daşdəmirova Xanım Faiq qızı

(imza)
“ ___ ” _____ 2017_-ci il

İCRAÇI:

Layihə rəhbəri
Mehdiyeva Rəvan Nadir qızı

(imza)
“ ___ ” _____ 2017_-ci il