

PACS: 29.40.-n; 29.40.Wk; 29.40.Mc; 29.40.Gx

## SİLİSIUM ƏSASLI FOTOELEKTRON GÜCLƏNDİRİCİLƏRİN QAMMA ŞÜALARA HƏSSASLIĞININ TƏDQIQI

T. Əzizova<sup>2</sup>, F. Abdullayev<sup>1</sup>, F. Əhmədov<sup>1,3</sup>, Q. Əhmədov<sup>2,3</sup>,  
A. Sadıqov<sup>2,3</sup>, A. Hüseynova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Strateji Elmi Tədqiqatlar Mərkəzi-AMEA

<sup>2</sup>Radiasiya Problemləri İnstitutu-AMEA

<sup>3</sup>Milli Nüvə Tədqiqatları Mərkəzi-RYTN

**Xülasə:** MAPD kollaborasiyası və Hamamatsu firması tərəfindən hazırlanmış müxtəlif qurluşlu eyni piksel sıxlığına malik MSFD-3NK və MPPC-S12572-010P fotodiodlarının parametrləri tədqiq edilmişdir. Bu tip fotodiodların 59.6-1227 keV enerji intervalında qamma şüalara həssaslığı tədqiq edilmişdir. Təcrübədə qamma şüaların enerjisini işıq fotonuna çevirən material kimi LFS ssintilyatorundan istifadə olunmuşdur. Alınmış nəticələrdən müəyyən edilmişdir ki, MSFD-3NK fotodiodları qamma spektrometrlərin və dozimetrlərin hazırlanması üçün əlverişlidir.

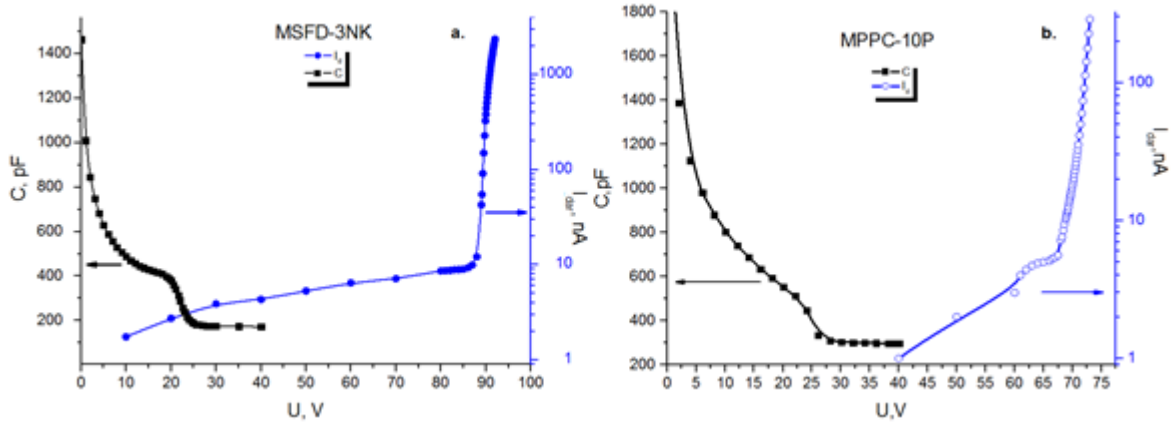
**Açar sözlər:** mikropikselli selvari fotodiod, ionlaşdırıcı şüa, spektrometr, dozimetr

### 1. Giriş

Müasir dövüdə tibbin, nüvə fizikasının, sənayenin və təhlükəsizlik sahəsinin inkişafında ionlaşdırıcı şüa yayan qurğuların və radioizotopların rolu danılmazdır. İonlaşdırıcı şüa yayan radioizotopların və bunlar əsasında hazırlanmış qurğulardan buraxılan şüalanmanın enerjisini, növünü və sayını düzgün təyin etmək aparılan təcrübələr üçün olduqca vacibdir. Qeyd edilən bu parametrlərin dəqiq təyin edilməsi yeni yaranan izotopların növünü, sayını, onların yarada biləcəyi effektləri düzgün analiz etməyə imkan verir. Bu məqsədlə ssintilyatorlu detektorlar geniş tətbiq edilir. Ssintilyatorlu detektorlarda işıq fotonlarını qeyd etmək üçün vakuumlu fotoelektron gücləndiricilər və foto qeydedicilər əsasında hazırlanırlar. Əksər hallarda vakuumlu fotoelektron gücləndiricilərin aşağıdakı problemləri bu tipli qeydedicilərin tətbiqini məhdudlaşdırır: kompakt olmaması, yüksək gərginlikdə işləməsi, fotoqeydetmə effektivliyinin kiçik olması, maqnit sahəsinə həssas olması, zərbəyə davamsız olması və vakuum texnologiyasının istifadəsi [1]. Son illərdə ssintilyasiya detektorlarının foton qeydedicisi kimi Hamamatsu (MPPC), Zekotek (MAPD), SenSI (SiPM) və Ketek firmaların istehsalı olan müxtəlif növ mikropikselli selvari fotodiodlar (MSFD) geniş tətbiq edilir [2]. Artıq bir çox tədqiqatçılar mikropikselli selvari fotodiodlar əsasında ssintilyasiya detektorlarının hazırlanma imkanlarını tədqiq etmişdirlər [3, 4]. Bu məqsədlə müxtəlif ssintilyatorlardan (Ce:GAGG, LaBr<sub>3</sub>(Ce), BGO və LSO və s.) istifadə edilərək detektorların xətilik intervalı və enerji ayırdetməsi tədqiq edilmişdir. Alınan nəticələr göstərir ki, tək elementli MSFD fotodiodlar əsasında hazırlanmış detektorlar öz xətiliyini ən yaxşı halda 662 keV enerji intervalında saxlayır. Bu çətinliyin aradan qaldırılması üçün çox elementli matrislərdən istifadə olunması təklif edilir. Belə yaxınlaşma detektor modulunun qiymətinin dəfələrlə artmasına səbəb olur. Sadalanan çatışmazlıqların aradan qaldırılması son bir neçə ildə Zekotek və Hamamatsu firmaları MSFD-3NK və MPPC-S12572-010P fotodiodlarını istehsal etmişdir. Bu işdə qeydedilən fotodiodların parametrləri və xətilik intervalı tədqiq edilmişdir.

## 2. Eksperimental qurğu və nəticələrin müzakirəsi

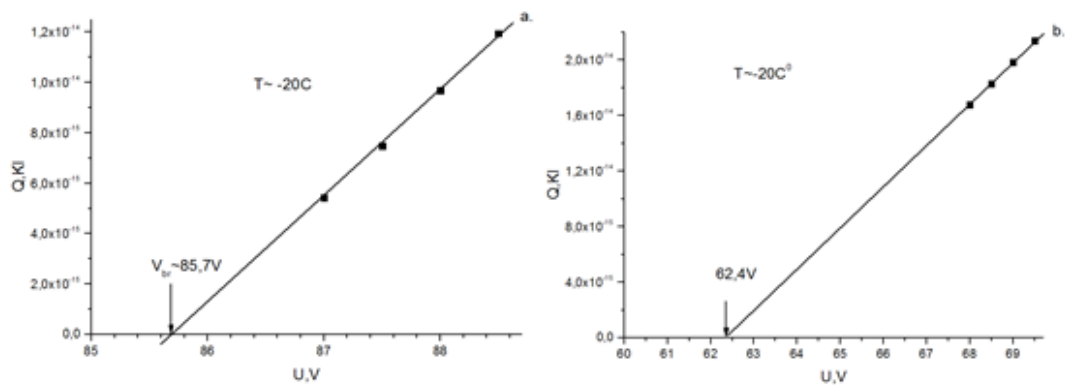
Təcrübələrdə istifadə edilən fotodiodlar Zekotek və Hamamatsu firmasının istehsal etdiyi MSFD—3NK və MPPC fotodiodlarıdır. Hər iki tip fotodiodun piksel sıxlığı  $10000 \text{ piksel/mm}^2$  dir. Fotodiodların volt-ampere (VAX) və volt farad (VFX) xarakteristikasını təyin etmək üçün Keithley 6487 və E7-20 qurğusundan istifadə edilmişdir. Selvari fotodiodların gücləndirmə əmsalı zəif işıq seli ilə təyin edilərkən  $450 \text{ nm}$  dalğa uzunluqlu işıqlandırıcı dioddan istifadə edilmişdir. Fotodiodlardan alınan siqnalların gücləndirilməsi üçün gücləndirmə əmsalı 38 olan gücləndiricidən, detektorlardan alınan siqnalların işlənməsi üçün isə CAEN-5720 analoq rəqəm çevricisindən istifadə edilmişdir.



Şəkil 1. MSFD-3NK və MPPC fotodiodunun volt-farad və volt-ampere xarakteristikaları.

Şəkil 1-də MSFD-3NK fotodiodunun VAX və VFX-sı verilmişdir. MSFD-3NK fotodiodlarının işləmə gərginliyində ( $90 \text{ V}$ ) qaranlıq cərəyanı  $300 \text{ nA}$  və tutumu  $176 \text{ pF}$  olmuşdur. Təcrübədə istifadə edilən digər tip MPPC fotodiodunun işləmə gərginliyində qaranlıq cərəyanı  $25 \text{ nA}$ , tutumu isə  $296 \text{ pF}$  olmuşdur (şəkil 1-b).

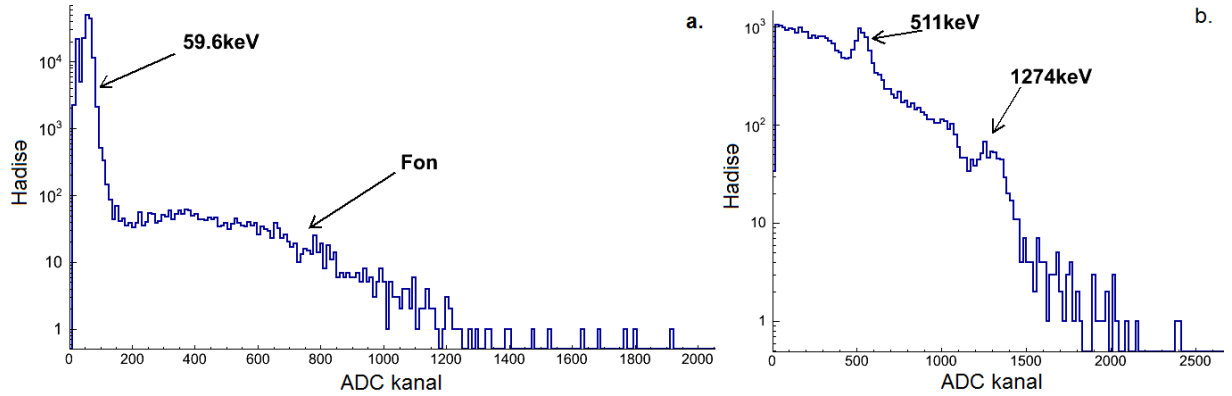
Şəkil 2-də MSFD-3NK və MPPC fotodiodunun  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  temperaturda birinci fotoelektrona uyğun gələn yükün gərginlikdən asılılığı qurulmuşdur. Şəkil 2.(a)-dən görüldüyü kimi  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ -də MSFD-3NK fotodiodlarının deşilmə gərginliyi  $85,7 \text{ V}$  olmuşdur.



Şəkil 2. MSFD-3NK (a.) və MPPC (b.) fotodiodları üçün amplitudun gərginlikdən asılılığı.

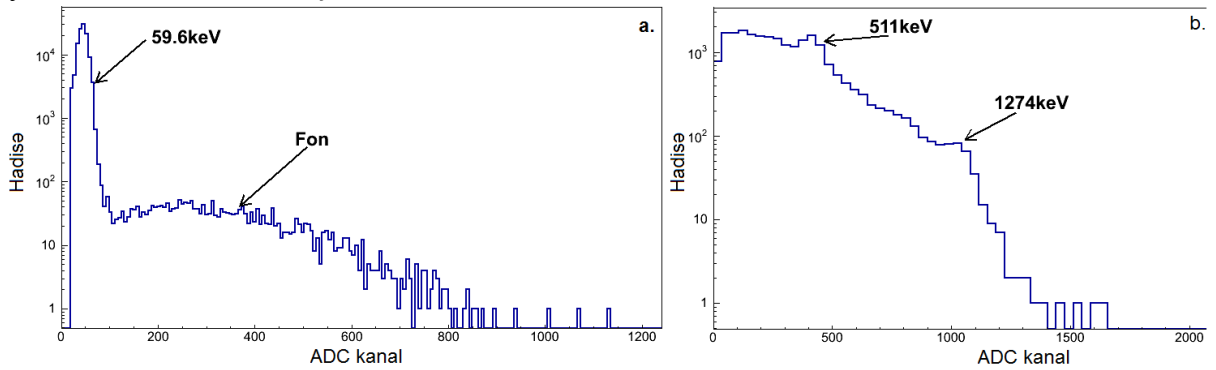
Tətbiq edilən gərginlik intervalında MSFD-3NK fotodiodunun gücləndirmə əmsalı  $3,3-7,4 \cdot 10^4$  arasında dəyişmişdir. Vahid pikselə uyğun gələn tutumunun  $4,3 \text{ fF}$  olduğu müəyyən edilmişdir. MPPC fotodiodunun tək fotoelektronlu piklərinin paylanmasından pikselin tutumu üçün isə  $3,6 \text{ fF}$  alınmışdır (şəkil 2.b). MPPC fotodiodunun deşilmə gərginliyi  $62,4 \text{ V}$  olmuşdur. MPPC fotodiodunun gücləndirmə əmsalı  $1-1,5 \cdot 10^5$  arasında dəyişmişdir.

Silisium əsaslı fotodiodların qamma şüaları qeyd etmə həssaslığını tədqiq etmək üçün LFS ssintilyatorundan istifadə edilmişdir. İstifadə edilən ssintilyatorun ölçüləri 2 mm × 2 mm × 15 mm seçilmişdir. Ssintilyatorun səthi iki qat teflon və bir qat alminium təbəqə ilə örtülmüşdür. Ssintilyator MSFD fotodiodlara optik maz ilə yapışdırılmışdır. Qamma şüa mənbəsi olaraq nöqtəvi  $^{241}\text{Am}$  və  $^{22}\text{Na}$  radioizotop mənbələrindən istifadə edilmişdir. Qamma şüaların spektrləri çəkilərkən mənbə ilə ssintilyator arası məsafə 5 mm seçilmişdir. Qamma şüalarının spektral paylanması çəkilən zaman temperatur 20,5–21,5 °C dərəcə olmuşdur. İlkin olaraq MSFD-3NK fotodiodu ilə 59,6 keV enerjili qamma şüası buraxan  $^{241}\text{Am}$  radioizotopunun spektri çəkilmişdir (şək. 3.a).



Şək. 3.  $^{241}\text{Am}$  və  $^{22}\text{Na}$  izotopunun buraxdığı qamma şüalarının MSFD-3NK fotodiodu ilə qeydə alınmış spektri. Qamma şüaların enerjisini işıq fotonuna çevirən material kimi LFS ssintilyatorundan istifadə olunmuşdur.

Fotopik üçün enerji ayırdetməsi 26,5 % alınmışdır. Enerjisi 26,3 keV olan qamma şüasına uyğun gələn pikin amplitudu isə ARÇ-nin 24-cü kanalda müşahidə edilmişdir. Şək. 3.b-də  $^{22}\text{Na}$  radioizotopunun spektrindən görüldüyü kimi spektrdə 511 keV və 1274 keV enerjili qamma şüalara uyğun gələn fotopiklər 524-cü və 1274-cü kanallarda müşahidə edilir. Bu enerjili qamma şüaları üçün enerji ayırdetməsi 19 % və 13 % olmuşdur. Şək. 4-də Hamamatsu firmasının yüksək piksel sıxlıqlı MPPC fotodiodu ilə  $^{241}\text{Am}$  radioizotopunun qamma şüaların amplituda görə paylanması göstərilmişdir. Şək. 4-dən görüldüyü kimi 59,6 keV enerjili qamma şüasının maksimal amplituduna uyğun gələn enerji ayırdetməsi 38 % olmuşdur. Şək. 4. b-dən görüldüyü kimi 511 keV və 1274 keV enerjilərə uyğun gələn siqnalların amplitudları ARÇ-nin 409 və 1042-ci kanallarında müşahidə edilmişdir.  $^{22}\text{Na}$  mənbəsinin buraxdığı 511 keV enerji üçün enerji ayırdetməsi 26,8 % olmuşdur.



Şək. 4.  $^{241}\text{Am}$  (a.) və  $^{22}\text{Na}$  (b.) radioizotopunun buraxdığı qamma şüalarının MPPC fotodiodu ilə çəkilmiş amplituda görə paylanma spektrləri.

Alınan nəticələrdən məlum olmuşdur ki, MSFD-3NK və MPPC fotodiodları əsasında hazırlanmış detektorların hər ikisi xəttliliyini 59,6-1274 keV enerji intervalında tam saxlamışdır. MSFD-3NK fotodiodları əsasında hazırlanmış detektorlar MPPC fotodiodları ilə müqayisədə geniş enerji intervalında 42 % daha yaxşı enerji ayırdetməsi göstərmişdir. MSFD-3NK fotodiodlarının göstərdiyi yüksək nəticə, onların MPPC fotodiodları ilə müqayisədə yüksək foton qeydetmə effektivliyinə malik olması ilə bağlıdır. Alınmış nəticələr göstərmişdir ki, silisium əsaslı fotoelektron gücləndiricilərdən MSFD-3NK fotodiodları, qamma spektrometrlərin və dozimetrlərin hazırlanması üçün daha əlverişlidir.

Bu iş SOCAR-ın Elm Fondunun maliyyə yardımı ilə yerinə yetirilmişdir.

### ***Ədəbiyyat***

1. Ahmadov F., Ahmadov G., Sadigov A., Suleymanov S., Zerrouk F., New gamma detector modules based on micropixel avalanche photodiode//[Journal of Instrumentation](#), 2017,[Volume 12](#), 2, p.1-7
2. Akbarov R, Ahmadov F, Ahmadov G, Sadygov Z, Sadigov A, Suleymanov S, Scintillation light detection with MAPD-3NK and MPPC-S12572-010P readout// [KnE Energy & Physics](#) DOI: 10.18502/ken.v3i1.1767
3. Seitz B., Campos N. and Stewart A., Energy Resolution and Temperature Dependence of Ce:GAGG Coupled to 3mm \_3mm Silicon Photomultipliers// [IEEE Transactions on Nuclear Science](#), 2016, Volume: 63, [Issue: 2](#) ,p. 503-508.
4. Berdnikova A K, Dubinin F A, Kantserov V A, Orlov A D and Zhukov K I, Miniature gamma detector based on inorganic scintillator and SiPM//*Journal of Physics: Conference Series*, 2016,Ser 675,p.1-5

## **STUDY OF THE SENSITIVITY OF SILICON PHOTOMULTIPLIERS TO GAMMA RADIATION**

**T. Azizova<sup>2</sup>, F. Abdullaev<sup>1</sup>, F. Ahmadov<sup>1,3</sup>, G. Ahmadov<sup>2,3</sup>, A. Sadigov<sup>2,3</sup>, A. Huseynova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Strategic Center of Scientific Research of ANAS*

<sup>2</sup>*Institute of Radiation Problems of ANAS*

<sup>3</sup>*National Nuclear Research Center–MTCHT*

**Abstract:** The parameters of MAPD-3NK and MPPC-S12572-010P photodiodes with equal pixel density and different structures, which were produced by the MAPD collaboration and Hamamatsu respectively, were investigated. The sensitivity of these photodiodes to gamma radiation in the range of 59.6 keV-1227 keV was studied. It was determined that MAPD-3NK photodiodes are more suitable for use in spectrometers and dosimeters.

**Keywords:** micropixel avalanche photodiode, ionizing rays, spectrometer, dosimeter

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ КРЕМНИЕВЫХ ФОТО  
УМНОЖИТЕЛЕЙ К ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯМ**

**Т. Азизова<sup>2</sup>, Ф. Абдуллаев<sup>1</sup>, Ф. Ахмадов<sup>1,3</sup>, Г. Ахмадов<sup>2,3</sup>, А. Садыгов<sup>2,3</sup>, А. Гусейнова<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Цент Стратегических Научных Исследований НАНА*

*<sup>2</sup>Институт Радиационных Проблем НАНА*

*<sup>3</sup>Национальный Центр Ядерных Исследований МТСВТ*

**Резюме:** Были исследованы параметры одинаковых по плотности пикселей, но разные по структурам фотодиоды MAPD-3NK и MPPC-S12572-010P, которые были произведены со стороны MAPD коллаборации и фирмы Hamamatsu соответственно. Исследованы чувствительности этих фотодиодов к гамма излучениям в интервале 59.6 кэВ-1227кэВ. Было определено, что MAPD-3NK фотодиоды более подходящие к использованию в спектрометрах и дозиметрах.

**Ключевые слова:** микропиксельный лавинный фотодиод, ионизирующее излучение, спектрометр, дозиметр