

MSFD-3NM FOTODİODLARI VƏ LFS SSİNTİLYATORUNUN QAMMA ŞÜALARI QEYDETMƏ HƏSSASLIĞININ TƏDQIQI

F.İ. ƏHMƏDOV^{1,3}, A.H. MƏMMƏDLİ¹, Q.S. ƏHMƏDOV^{1,2,3},
Z.Y. SADIQOV^{1,2,3}, A.Z. SADIQOV^{1,2}, M. HOLİK⁴, E. YILMAZ⁵, S. NURİYEV^{1,2,3}

¹AMEA- AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

²Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutu, Dubna, Rusiya

³NRYTN-Milli Nüvə Tədqiqatları Mərkəzi, Bakı, Azərbaycan

⁴CTU- Eksperimental və Tətbiqi Fizika İnstitutu, Praqa, Çexiya

⁵İBU-Nüvə Radiasiya Detektorları Tətbiq və Araşdırma Mərkəzi

Email: farid-akhmedov@yandex.ru

Təqdim edilən işdə MSFD-3NM fotodiodu və LFS-3 ssintilyatoru əsasında hazırlanmış detektorun qamma şüaları qeyd etmə həssaslığı öyrənilmişdir. Detektorun qamma şüalara həssaslığını yoxlamaq üçün Co-57, Na-22, Eu-152 nöqtəvi mənbələrindən istifadə edilmişdir. Detektor bloku 14.43keV -1408keV enerji intervalında öz xəttliliyini tam saxladığı müəyyən edilmiş və minimum qeyd ediləbilən enerji 14.43keV olmuşdur. Detektor blokunun xəttliliyinin saxlanması bir-başa olaraq MSFD-3NM fotodiodunun yüksək piksel sıxlığı ilə bağlı olmuşdur.

Açar sözlər: mikropikselli selvari fotodiodlar, detektor, ssintilyator, fotodiod

PACS: 85.30.-z; 85.60.Dw

GİRİŞ

Heyger rejimli mikropikselli selvari fotodiodlar (MSFD) sahəsində qazanılmış uğurlar bu qeydedicilərin əksər təcrübələrdə foto qeydedici kimi geniş oblastda tətbiq olunmasına imkan verir [1-4]. Belə ki, mikropikselli selvari fotodiodlarından (MSFD) yüksək enerjilər fizikasında (CMS, ATLAS, ALICE, NICA), tibbdə (PET, gamma camera), fəza tədqiqatlarında (LİDAR), spektroskopiya və dozimetriya sahəsində geniş tətbiq edilir [5-11]. MSFD fotodiodların xüsusi maraq kəsb edən sahələrindən biri də onların spektroskopik və dozimetrik qurğularında tətbiqidir. Spektroskopik və dozimetrik qurğular əsasən 3 hissədən ibarət olur: Detektor bloku, elektron blok və çoxkanallı analizator bloku. Detektor bloku fotoelektron gücləndiricilərdən (FEG) və ssintilyatorlardan ibarətdir [5].

Ssintilyatorlu detektorun üzərinə düşən ionlaşdırıcı şüalar ssintilyatorada udularaq görünən dalğa uzunluğu oblastındakı fotonlara çevrilir və bu fotonların qəbuledicinin həssas sahəsinə düşərək elektrik siqnalın formalaşmasına səbəb olur. İonlaşdırıcı şüalanmanın enerjisindən asılı olaraq yaranan siqnalın amplitudu dəyişir. Ssintilyatorlar əsasında hazırlanan detektorlarda foton qeydedici kimi fotoelektron gücləndiricilər, dərin və səthi piksellə MSFD və PIN diodlar geniş tətbiq edilir. Bu sahədə aparılan təcrübələrdə istifadə edilən fotoqeydedicilər bir sıra xassələrə malik olmalıdır: yüksək fotonqeydetmə effektivliyinə (25%), yüksək piksel sıxlığına (10000 piksel/mm), yüksək gücləndirmə əmsalına (10^5), aşağı deşilmə gərginliyinə (100V), aşağı işləmə gərginliyinə (100 V) və aşağı qaranlıq cərəyanına (500nA) malik olmalıdır [2-5].

Ssintilyatorlu radiasiya detektorlarının hazırlanmasında üzvi (silben, perterfenil və s.) və qeyri üzvi (NaI, LFS- Lutetium Fine Silicate, CsI, LaBr₃ və s.) ssintilyatorlar geniş tətbiq edilir. İstifadə edilən ssintilyatorların parametrlərindən və həssaslıqlarından asılı olaraq müxtəlif növ foto qeydedicilər istifadə edilir. Bununla yanaşı istifadə edilən ssintilyatorlar aşağıdakı

üstünlüklərə malik olmalıdır: işıq çıxışının 30000foton/MeV-dan böyük, parçalanma sabitinin 50nsan kiçik, yüksək sıxlığa malik, buraxılan foton seçiminin maksimumunun 400nm-550 nm intervalında olması, enerjidən asılı olaraq xəttliliyə malik və bir növ ionlaşdırıcı şüalanmaya həssas olmasıdır [4-12].

Yuxarıda sadalanan şərtlər daxilində ssintilyator detektorlarının hazırlanması üçün təqdim edilən işdə ssintilyator olaraq qeyri-üzvi LFS-3 ssintilyatoru və selvari foto diod olaraq isə MSFD-3NM fotodiodu istifadə edilmişdir. Hazırlanan detektor blokunun qamma şüalara həssaslığını yoxlamaq üçün, Co-57, Na-22, Eu-152 nöqtəvi mənbələrindən istifadə edilmişdir.

TƏCRÜBƏ VƏ NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ

Təcrübələrdə Zekotek firmasının istehsal etdiyi MSFD-3NM fotodiodundan və LFS-3 ssintilyatorundan istifadə edilmişdir. İstifadə edilən MSFD-3NM fotodiodu Malayziyanın MIMOS (Malaysia's national Applied Research and Development Centre) mərkəzində (2019) istehsal edilmişdir. İstifadə edilən MSFD-3NM fotodiodlarının parametrləri cədvəl 1-də verilmişdir. MSFD-3NM fotodiodları zərbə ilə selvari proses hesabına daxili gücləndirməyə malik olan fotodiodlardır. Bu tip fotodiodların işləmə prinsipi ilə daha geniş göstərilən işlərdə tanış olmaq olar [1, 3, 4, 14].

Cədvəl 1.

MAPD-3NM fotodiodunun parametrləri.

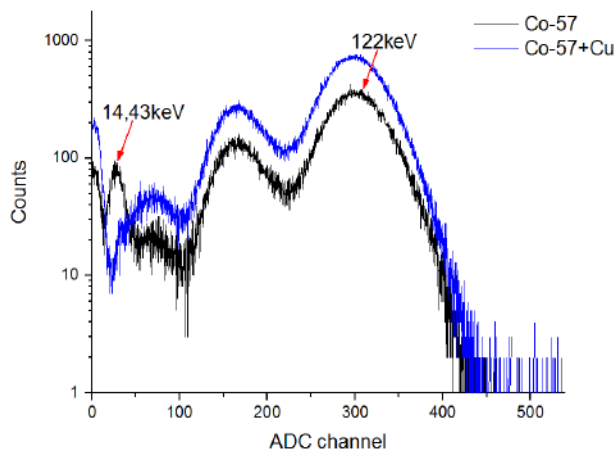
İstehsal edən firma	Zecotek Photonics
Aktiv sahəsi	3.7mm×3.7mm
Piksel addımı/diameter	10mkm/7mkm
Ümumi piksel sayı	136900 piksel
Həndəsi faktor	100%
Gücləndirmə	10^5
İşləmə gərginliyi	73-74.5 V
Tutum	202 pF

Təcrübədə istifadə edilən LFS ssintilyatorunun ölçüsü 3mm×3mm×10mm, sönmə müddəti 35 nsan, kristalın sıxlığı 7.34 q/sm³, emissiya spektrinin maksimal dalğa uzunluğu 435 nm və işıq çıxışı 35000 foton/MeV olmuşdur [4]. LSF-3 ssintilyatorunun MSFD-3NM fotodiodun birləşən tərəfindən başqa digər tərəfləri ağ nazik teflon təbəqəsi ilə sarınmışdır. LSF-3 ssintilyatoru MSFD-3NM fotodioduna şəffaf optik ötürücü ilə birləşdirilmişdir.

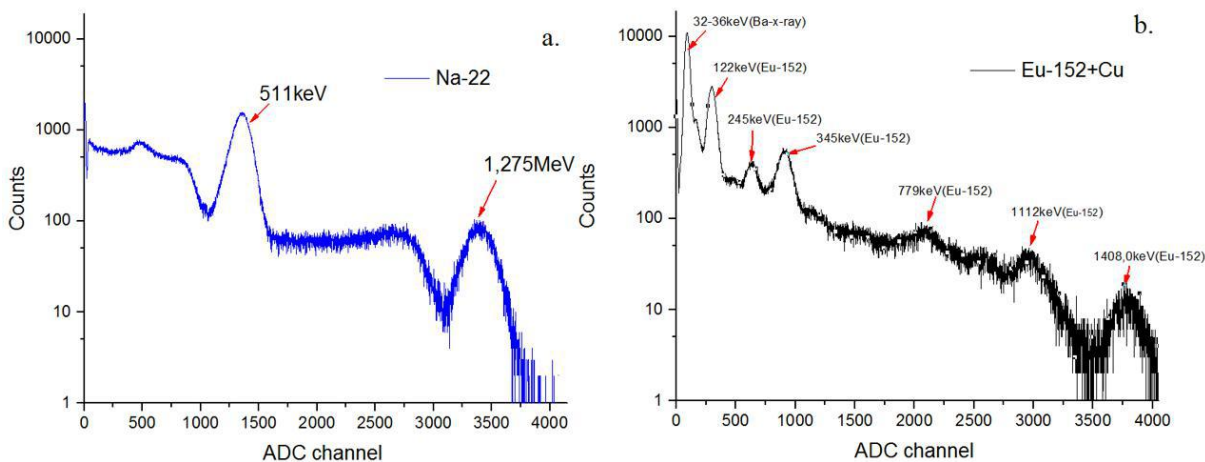
Detektor blokundan alınan siqnalların işlənməsi üçün MAPD Spectrig modulundan istifadə edilmişdir. MAPD Spectrig modulu 2019-cu ildə Radiasiya Problemləri İnstitutu və Çexiyanın Eksperimental və Tətbiq Fizika İnstitutu arasında mövcud əməkdaşlıq çərçivəsində hazırlanmışdır [15]. Təcrübələr 23 C temperaturda aparılmışdır. Ölçmələr zamanı MSFD-3NM fotodioduna 74.5V gərginlik tətbiq edilmişdir. Nöqtəvi qamma radiasiya mənbəsi olaraq Co-57, Na-22 və Eu-152 izotoplarından istifadə edilmişdir. Qamma mənbələri LFS-3 ssintilyatorunun səthindən 1sm məsafədə yerləşdirilmişdir. Aparılan təcrübələrdən Co-57 mənbəsindən buraxılan qamma şüaların qeyd edilməsi zamanı dəyi-

şən gücləndiricinin gücləndirməsi 35 dB və Na-22 və Eu-152 təcrübələrində isə dəyişən gücləndiricinin gücləndirməsi 25 dB seçilmişdir.

Şəkil 1-də Co-57 mənbəsinin buraxdığı qamma şüalarının amplitud paylanma spektri qurulmuşdur. Co-57 mənbəsi enerjiləri 122keV və 14,43keV olan müxtəlif qamma və x-ray şüaları buraxır. Co-57 mənbəsinin buraxdığı 122keV enerjili qamma şüasının foto piki (300-cü kanal), Kompton səpilməsi və səpilmədə iştirak edib enerjisini tam itirməyən ssintilyatoru tərk edən elektron və ya qamma şüası nəticəsində yaranan hadisələr aşağı enerji oblastında müşahidə edilmişdir (112-220-ci kanal). Xüsusi maraq kəsb edən pik 28-cü kanalda müşahidə edilmişdir. Bu pikin 14.43keV enerjili x-ray şüalanması olmadığını yoxlamaq üçün mənbə ilə detektor arasına 2mm qalınlıqlı mis təbəqə yerləşdirilmişdir. Spektrdən görüldüyü kimi mis təbəqə qoyulduqda 28-ci kanalda hadisələr müşahidə edilməmişdir. Bu isə, məhz bu siqnalın 14.43keV enerjili x-ray şüalanması olduğunun göstəricisidir. Beləliklə, 14.43keV və 122keV enerjili şüalanma üçün enerji ayırd etməsi 55.73% və 23.69% alınmışdır.



Şəkil 1.Co-57 mənbəsinin buraxdığı qamma şüalarının amplitud paylanma spektri.

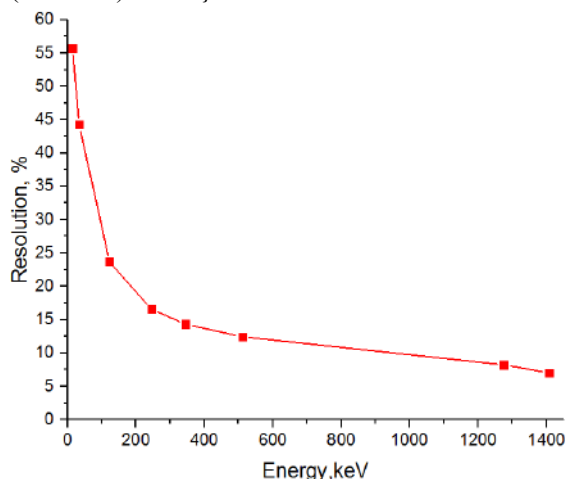


Şəkil 2.Na-22 və Eu-152 mənbəsinin buraxdığı qamma şüalarının amplitud paylanma spektri.

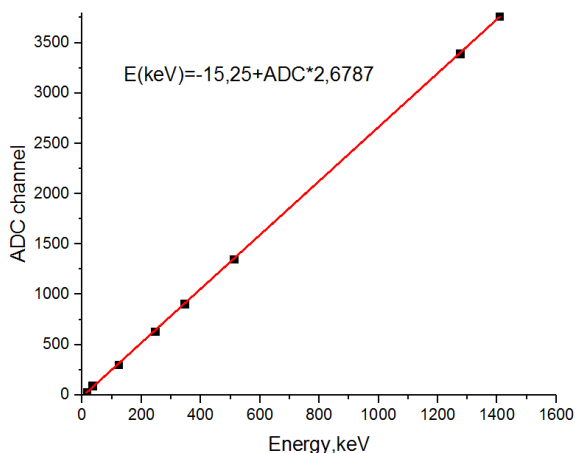
Şəkil 2-də Na-22 və Eu-152 izotopundan buraxılan qamma şüalarının amplitud paylanma spektri verilmişdir. Na-22 mənbəsindən buraxılan 511keV enerjili

qamma şüalarının foto piki və enerjisi 1.27MeV olan anihilasiya piki spektredə müşahidə edilir. Qeyd edilən

qamma şüaları üçün 511keV və 1.27MeV enerjili şüalanma üçün enerji ayırd etməsi 12.4 % və 8.24% alınmışdır. Şəkil 2-də Eu-152 mənbəsinin buraxdığı 8 qamma şüaların xətti müşahidə edilmişdir: 32keV, 122keV, 245keV, 345keV, 779keV, 964keV, 1112keV və 1435.8keV. Qeydedilən qamma şüaları üçün enerji ayırd etməsi 44.25% (34keV), 23.7% (122keV), 16.56% (245keV), 14.33% (345keV) və 6.95% (1408keV) alınmışdır.



Şəkil 3. MSFD-3NM+ LFS ssintilyatorundan ibarət detektor bloku ilə alınmış enerji ayırd etməsinin qamma şüasının enerjisindən asılılığı.



Şəkil 4. LFS-3 ssintilyator + MSFD-3NM əsasında hazırlanmış detektorun kalibrasiya əyrisi.

Şəkil 3-də MSFD-3NM+ LFS ssintilyatorundan ibarət detektor bloku ilə alınmış enerji ayırd etməsinin

qamma şüasının enerjisindən asılılığı qurulmuşdur. Burada E-qamma şüasının enerjisidir və R-foto pikə uyğun gələn enerji ayırd etməsidir.

Beləliklə, qeyd edilən qamma şüalarının amplitud paylanasından istifadə edərək, MSFD-3NM+LFS ssintilyatorundan ibarət detektor blokunun xəttiliyi qurulmuşdur (şəkil 4). Alınan asılılıqdan görüldüyü kimi, detektor bloku öz xəttiliyini 1408keV enerji intervalına kimi tam saxlayır və aşağıdakı qanuna uyğunluqla dəyişir:

$$E(\text{keV}) = -15.25 + \text{ADC} \times 2.6787$$

Burada E-qamma şüasının enerjisi (keV) və ADC- detektorla qeydedilən qamma şüasına uyğun gələn siqnalın amplitududur.

Beləliklə LFS-3 ssintilyator + MSFD-3NM əsasında hazırlanmış detektor blokunun öz xəttiliyini 14.43keV-1408keV enerji intervalında öz xəttiliyini tam saxladığı müəyyən edilmişdir. Bu xətti asılılıqdan naməlum radioizotopların yaydığı qamma şüasının enerjisi təyin edilir. "MSFD-3NM + LFS-3" detektor bloku, MSFD fotodiodun yüksək piksel sıxlığı səbəbindən böyük enerji intervalında xətti asılılıq nümayiş etdirir. Fotoelektronların enerjiyə görə paylanmasının qamma şüasının enerjisindən asılılığı 55% -dən 6.95% -ə qədər dəyişmişdir.

NƏTİCƏLƏR

Aparılan təcrübələr nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, yeni hazırlanmış MSFD-3NM və LFS-3 ssintilyatoru əsasında hazırlanmış detektorlar qeyd edilən siqnalın amplitudu enerjidən asılı olaraq xətti qanunla dəyişir: $E(\text{keV}) = -15.25 + \text{ADC} \times 2.6787$. Detektor bloku geniş enerji intervalında öz xəttiliyini tam saxladığı müəyyən edilmişdir. Xəttiliyin saxlanması MSFD-3NM fotodiodlarında toplam piksellərinin sayının 136900 olması ilə bağlı olmuşdur. Detektor bloku vasitəsi ilə minimum qeyd edilə bilən enerji 14.43keV olmuşdur.

Alınan nəticələr göstərmişdir ki, MSFD-3NM və LFS-3 ssintilyatoru əsasında hazırlanmış detektorlar dozimetriya və spektroskopiya sahəsində uğurla tətbiq oluna bilər.

Aparılan işlər Azərbaycan Respublikasının Prezidenti Yanında Elmin İnkişafı Fondunun № EİF-BGM - 5 - AZTURK - 1/2018 - 2/01/1 -M-01 nömrəli qrant layihəsi çərçivəsində yerinə yetirilmişdir.

- [1] Z. Sadygov, A. Olshevski, I. Chirikov et al.. Three advanced designs of micro-pixel avalanche photodiodes: Their present status, maximum possibilities, and limitations, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Volume 567, Issue 1, 2006, pp. 70-73.
- [2] D. Renker, E. Lorenz. Advances in solid state photon detectors, 2009 JINST 4 P04004.

- [3] F. Ahmadov, G. Ahmadov, E. Guliyev et al.. Development of compact radiation detectors based on MAPD photodiodes with Lutetium Fine Silicate and stilbene scintillators, 2015 JINST 10 C02041.
- [4] F. Ahmadov, G. Ahmadov, E. Guliyev, R. Madatov, et al.. New gamma detector modules based on micropixel avalanche photodiode, 2017 JINST 12 C01003.

- [5] *Glenn F. Knoll*. Radiation Detection and Measurement 4th Edition, Wiley Press; 4th Edition (August 16, 2010).
- [6] *Giulia Cozzi, Paolo Busca, Marco Carminati et.al.* IEEE Transactions on Nuclear Science , vol. 65, Issue: 1, Jan. 2018, pp 645-655.
- [7] *R. Agishev et al.*. Optics and Laser Technology, vol. 49, 2013, pp. 86-90.
- [8] *Frank Simon*. Silicon photomultipliers in particle and nuclear physics, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Volume 926, 2019, pp. 85-100.
- [9] *F.İ. Əhmədov, Q.S. Əhmədov, Z.Y. Sadıqov, A.Z. Sadıqov, A.H. Məmmədli, N.V. Sadıqova, M. Holik, E.Yılmaz*, Yeni MAPD- 3NM silisium əsaslı fotoelektron gücləndiricilərin parametrlərinin tədqiqi, AJP, Fizika, vol. XXVI, Number 03, 2020 Series: Az
- [10] *F.I. Ahmadov, R.S. Madatov, Z.Y. Sadygov*, Investigation of Radiation Effect to Micro-Channel Avalanche Photo Diode, *AMEA-nın Xəbərləri, Fizika– riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya Bakı-2011, V.31, N.5, s.14-17*
- [11] *R.A. Akbarov, S.M. Nuruyev, G.S. Ahmadov, F.I. Ahmadov et.al.*. Scintillation readout with MAPD array for gamma Spectrometer, January 2020 Journal of Instrumentation 15(01):C01001-C01001.
- [12] *W. Wolszczak K.W. Krämer, P. Dorenbos*. Journal of Luminescence Volume 222, June 2020, 117101
- [13] *www.zecotek photonics Ing*
- [14] *F. Əhmədov*. Silisium əsaslı mikropikselli selvari fotodiodların radiasiya davamlılığının tədqiqi, Fizika üzrə fəlsəfə doktoru dissertasiyası, Bakı, 2013, 163 s.
- [15] *M. Holik, F. Ahmadov, G.Ahmadov, R. Akbarov, D. Berikov, Y. Mora, S. Nuruyev, P. Pridal, A. Sadıgov, Z. Sadygov, J. Zich*. Miniaturized read-out interface “Spectrig MAPD” dedicated for silicon photomultipliers, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment Volume 978, 21 October 2020, 164440

F.I. Ahmadov, G.S. Ahmadov, Z.Y. Sadygov, A.Z. Sadıgov, A.H. Məmmədli, M. Holik, E. Yılmaz, S. Nuruyev

INVESTIGATION OF THE DETECTION SENSITIVITY OF GAMMA RAYS BY MSFD-3NM PHOTODIODES AND LFS SCINTILLATOR

The paper presents the results of research of detection sensitivity of gamma radiation detector developed on the basis of LFS-3 scintillator and photodiode MSFD-3NM. The point sources of Co-57, Na-22 and Eu-152 are used as sources of gamma radiation. It is determined that the detector totally keeps its linearity in the energy range 14.43–1408 keV, where the minimum recorded energy is 14.43 keV. It is revealed that the reason for the keeping of such linearity is associated with the high pixel density of the MSFD-3NM photodiode.

Ф.И. Ахмедов, А.Г. Мамедли, Г.С. Ахмедов, З.Я. Садыгов, А.З. Садыгов, М. Холик, Э. Йылмаз, С. Нурьев

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ГАММА- ИЗЛУЧЕНИЙ MSFD-3NM ФОТОДИОДОМ И LFS СЦИНТИЛЛЯТОРОМ

В работе представлены результаты исследования чувствительности регистрации гамма-излучений разработанного детектора на основе LFS-3 сцинтиллятора и фотодиода MSFD-3NM. В качестве источников гамма-излучений использовались точечные источники Co-57, Na-22 и Eu-152. Было определено, что детекторный блок полностью сохраняет свою линейность в диапазоне энергий 14,43-1408 кэВ, где минимальная зарегистрированная энергия составила 14,43 кэВ. Выявлено, что причина сохранения такой линейности связана с высокой плотностью пикселей фотодиода MSFD-3NM.

Qəbul olunma tarixi: 15.02.2021