

PET APARATLARI ÜÇÜN DETEKTORLARIN YENİ TIPLƏRİNİN HAZIRLAMASI

XƏYALƏ ELBRUS qızı HÜSEYNZADƏ

Mingəçevir Dövlət Universiteti, Mingəçevir, Azərbaycan

Khayala.huseynzada@gmail.com

Bu işdə mövcud pozitron-emissiya tomoqrafiya aparatlarının analiz sxemləri, iş prinsipləri həmçinin onların çatışmazlıqları təqdim edilmişdir. Mikropikselli selvari fotodiodlarının yeni modulu təklif edilmişdir, hansı ki, hədəfi fotoelektron vakuum gücləndiriciləri əsasında skanerin indiki fotodetektorlarını əvəz etməkdir. Yeni modulun üstünlükləri və skanerlərin hibrid PET-MRT də onların tətbiqinin imkanı təsvir edilmişdir.

Açar sözlər: pozitron emissiya tomoqrafiyası, fotodiod, mikropikselli selvari fotodiodlar (MSFD), fotoelektron gücləndiricilər (FEG).

GİRİŞ

Hal-hazırda onkoloji xəstəliklər ölümcül nəticəylə ən təhlükəli xəstəliklərdən biridir. Yalnız xərçəngdən bütün dünyada 2018-ci ildə 9,6 milyon insan [1] həlak olmuşdur. Azərbaycanın payına isə ildə 4-5 min nəfər düşür. Ümumi problem xəstəliyin sonrakı mərhələlərində tibbi yardım axtarmaq və diaqnostikanın olmamasıdır. Diaqnostika pozitron emissiya tomoqrafiyası kimi bahalı avadanlıqlarda aparılır. Orta hesablamalara görə, 1 milyon əhaliyə 1 cihaz norma hesab olunur. Bununla belə, avadanlıqların qiymət diapazonu klinikalara kifayət qədər sayda tomoqrafiya almağa imkan vermir. Həmçinin, müasir PET skanerlərinin aşağı rezolyusiyaya malik olması işləri erkən mərhələlərdə dəqiq lokallaşdırma bilmir.

PROBLEMİN TƏHLİLİ

Pozitron emissiya tomoqrafiyası, həmçinin PET tomoqrafiyası və ya PET skan adlanır, nüvə təbabətində görüntüləmə növüdür.

Protonla zəngin izotoplar nüvədəki bir protonun neytron, pozitron və neytrinoya çevrildiyi pozitron şüalanması ilə parçalana bilər. Qız nüvəsinin atom nömrəsi ana nüvədən bir vahid azdır. Pozitron emissiyası ilə parçalanan izotopların nümunələri cədvəl 1-də göstərilmişdir.

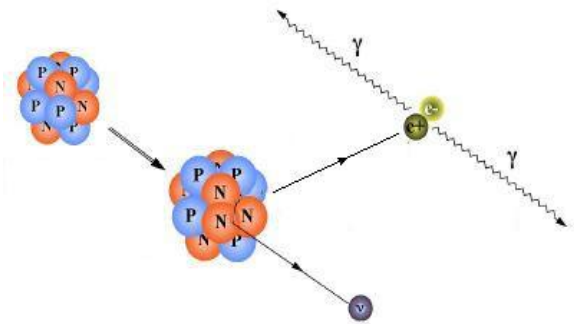
Cədvəl 1.

İstifadə edilən pozitron-saçan radioizotoplar

Izotop	Yarımparçalanma period (dəq)	Maksimum pozitron enerjisi (MeV)	İstehsal
11C	20.3	0.96	Siklotron
13N	9.97	1.19	Siklotron
15O	2.03	1.70	Siklotron
18F	109.8	0.64	Siklotron
68Ga	67.8	1.89	Generator
82Rb	1.26	3.15	Generator

Pozitronlar insan toxumalarından keçərkən kinetik enerjilərini əsasən elektronlarla Kulon qarşılıqlı təsirindən verirlər. Bir pozitronun sərbəst kütləsi elektronun kütləsi ilə eyni olduğundan, pozitronlar hər bir Ku-

lon qarşılıqlı təsiri ilə böyük istiqamətli sapmalara məruz qala bilər və onlar kinetik enerjilərini itirərək toxumada əyri bir yol gedirlər (şəkil 1).



Şəkil 1. Pozitron emissiyası və annihilyasiyası.

Pozitronlar istilik enerjilərində çatdıqda, onlar annihilyasiya yolu ilə elektronlarla qarşılıqlı təsirə başlayır və bu, pozitron sistemində antiparalel olan iki 511keV qamma kvantının əmələ gəlməsi ilə nəticələnir. Sərbəst parçalanmada iştirak edən qarşılıqlı təsirdə olan hissəciklərin impulsunun dəyişməsi 511 keV enerjili fotonlar istiqamətində bucaq qeyri-müəyyənliyinə səbəb olur [3].

Pozitronların sonlu diapazonu və annihilyasiya fotonlarının qeyri-xəttiliyi ənənəvi tək foton emissiya metodlarında tapılmayan özünəməxsus yerləşdirmə qeyri-dəqiqliyinə gətirib çıxarır.

PET kamerada hər bir detektor hadisə fotonu aşkar edildikdə sinxronlaşdırılmış siqnal yaradır. Sonra bu impulsar təsadüf dövrlərində birləşdirilir və impulsar qısa müddət ərzində düşərsə, onlar təsadüf hesab edilir (şəkil 2).

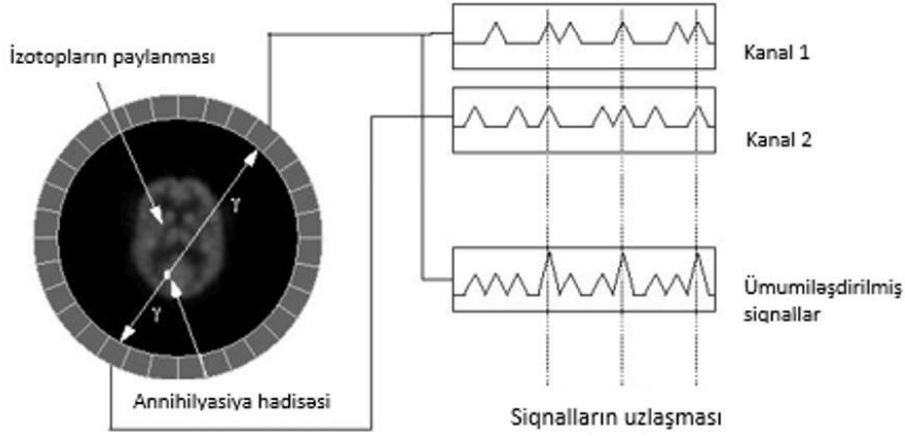
Mövcud PET tomoqrafiyası əsasən 4 komponentdən ibarətdir. Bu qurğu mexaniki hissə, elektronika, detektor hissəsi və proqram təminatı hissələrindən ibarətdir. Əsasən, avadanlığın qiymətinin 1/3-dən çoxunu əsasən vakuum fotoelektron gücləndirici borulardan istifadə edən detektor hissəsi tutur (PMT, şəkil 3). Dünyaya bazarında FEG bahalı fotodetektorlardan biri hesab olunur. Onların yüksək enerji istehlakı, forma və ümumi ölçülər, vibrasiya və maqnit sahələrinə həssaslıq kimi bəzi çatışmazlıqları da var. Bu çatışmazlıqlar bütövlükdə avadanlığın özündə əks olunur. Silisium

PET APARATLARI ÜÇÜN DETEKTORLARIN YENİ TİPLƏRİNİN HAZIRLAMASI

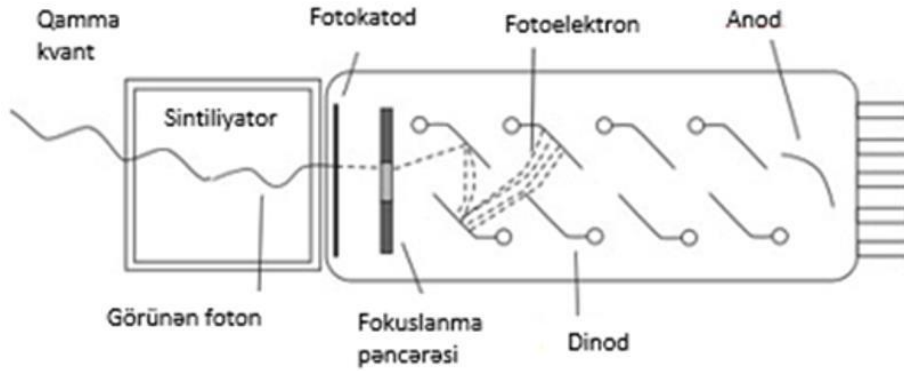
əsaslı fotodiodların yaradılması üzrə elmi işlər aparılır [2].

Müasir silisium fotodiodlar ənənəvi vakuum fotoelektron gücləndiricilərini əvəz etmək üçün böyük potensiala malikdir. Fotodetektorların yeni növləri FEG-

nin yuxarıda göstərilən çatışmazlıqlarından azaddır ki, bu da xarici tədqiqat mərkəzlərinə maqnit rezonans və pozitron emissiya tomoqrafiyalarının vahid diaqnostika avadanlığına inteqrasiya imkanlarını tədqiq etməyə imkan verdi.



Şəkil 2. Annihilasiya prosesinin qeydiyyat sxemi

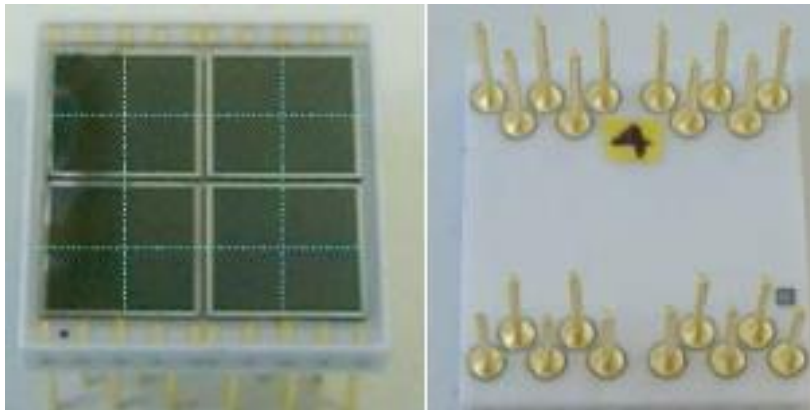


Şəkil 3. Vakuum fotoelektron qeyd etmə sxemi.

YENİ KONSEPSİYA

Məlumdur ki, xəstənin orqanizmində yoluxmuş hüceyrələrin lokalizasiyasının yüksək dəqiqliklə müəyyən edilməsi üçün radiasiya detektorlarının ayırd etmə qabiliyyəti və sürəti böyük əhəmiyyət kəsb edir. Mikropikselli selvari fotodiodlarına (MSFD) əsaslanan ye-

ni modul (şəkil 4) hazırlanmışdır [4]. Yeni MSFD konfigurasiyaları PET tomoqrafiyasında istifadə üçün ən yaxşı parametrlərə malikdir. Ən son MSFD nümunələri yüksək aşkarlama effektivliyinə (35%), həssas zonanın həndəsi amilinə (100%), foto siqnala sürətli reaksiyaya (100 ns) və maqnit sahələrinə qeyri həssaslığa malikdir.

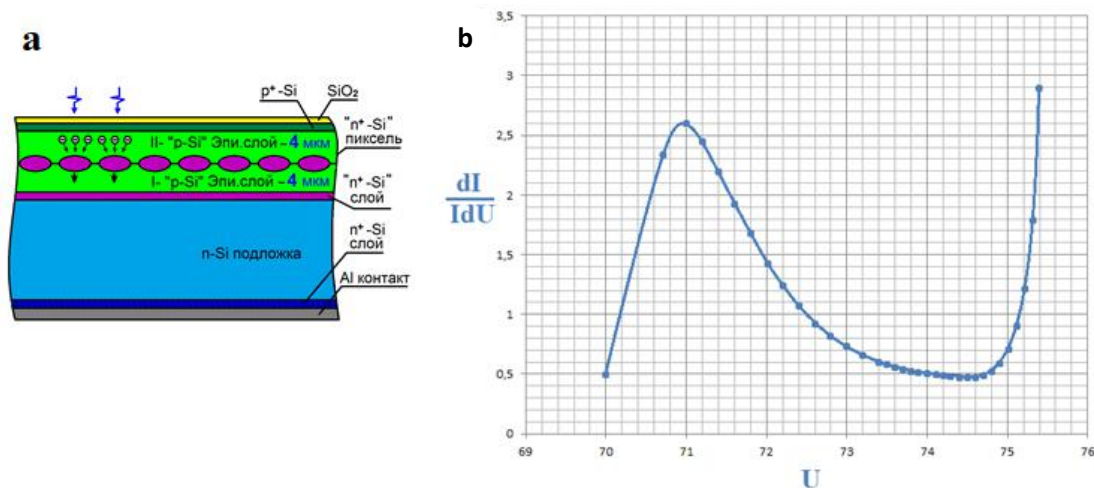


Şəkil 4. Üst tərəfdən (sol) və arxa tərəfdən (sağ) MSFD matris modulu.

Modul 16 elementli matris şəklində keramika substratda yığılmışdır. Kontaktlar matrisin hər bir elementinə əks tərəfdən bağlanır, onların köməyi ilə fotodiodlara gərginliklər tətbiq olunur (~ 90-95 V). Qəbul edilən foto siqnal 2V bant genişliyi olan yüksək həssas gücləndirici ilə gücləndirilir.

Tibbi diaqnostika sahəsinə PET-MRT skanerləri üçün Zecotek şirkətinin silisium fotoelektron gücləndiricilərini, və ya mikropiksel sevari fotodiodlarını (MSFD) təqdim etmək üçün işçi qrupumuza növbəti nəsil yeni yüksək həssaslıqlı fotodiod hazırlamaq həvələ olunmuşdur [4-6]. Yeni silisium əsaslı fotodiodların

inkişafı üçün pikselləri dərinlikdə yerləşən mikropikselli selvari fotodiodlarının strukturu seçilmişdir (Şəkil 1a), piksel ölçüsü 10 µm və sıxlığı 1000 piksel/mm². Fotodiodun aktiv sahəsi 3,7 x 3,7 mm² dir. Həm Çoxrəlski üsulu ilə, həm də zona əritmə üsulu ilə müxtəlif texnologiyalardan istifadə etməklə hazırlanmış 20 düymlük silisium altlıqlarında nümunələrin istehsalı üçün istehsal alqoritmi tərtib edilmişdir. İstehsal yeri olaraq, optik mikroelektronikanın istehsalında uzun illər təcrübəsi olan Malayziya Mikroelektron Sistemlər İnstitutu MİMOS seçilmişdir.



Şəkil 5. MSFD-nin sxematik görüntüsü a, Volt- Amper xarakteristikası (VAX) b.

MSFD-nin bəzi xarakteristikalarından danışa bilərək Məlum olduğu kimi, PET-MRT skanerlərində qamma kvantları qeydə almaq üçün silisium detektoru yüksək piksel sıxlığına, aşağı həndəsi faktora, yüksək foton qeydetmə effektivliyinə və yüksək amplitud ayırdetmə qabiliyyətinə malik olmalıdır. Yüksək dozaları və struktur ölçü məlumatları simulyasiya edilmiş və hesablanmışdır. İstehsal başa çatdıqdan sonra matrislər disk kəsicisi maşından istifadə edərək tək elementlər şəklində kəsilmiş və dəmir korpuslara quraşdırılmışdır. Nəticədə nümunələr 73-75 V diapazonunda işləmə gərginliyi ilə təxminən 71 V-lik bir deşilmə gərginliyinə malikdir (şəkil 5 b).

NƏTİCƏ

PET tomoqrafiyasının parametrlərini yaxşılaşdırmaq üçün detektor modulu hazırlanmışdır. Modul maqnit sahələrinə həssas deyil, bu da onun hibrid PET-MRT skanerlərində istifadə etməyə imkan verir. Bu skanerlər iki əldə edilmiş görüntünün birləşməsində diaqnoz qoyulmuş xəstənin ətraflı proyeksiyasını verir. Bu tip yeni moduldan istifadə etməklə tomoqrafların istehsal xərclərini 20%-dən çox azaltmaq mümkündür ki, bu da diaqnostik xərclərin qiymət diapazonuna əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərə bilər.

[1] <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer>
 [2] Image artifacts from MR-based attenuation correction in clinical, whole-body PET/MRI, MAGMA Magnetic Resonance Materials in Physics Biology and Medicine, DOI: 10.1007/s10334-012-0345-4.
 [3] D.W. Rickey, R. Gordon and W. Huda. 1992 "On lifting the inherent limitations of positron emission tomography by using magnetic fields (MagPET)" *Automedica*, 14 355-369.
 [4] A new detector concept for silicon photomultipliers. A. Sadigov et al. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 824(2016)135–136.

[5] K. Isayev, et al. "MAPD type avalanche photodetectors." arXiv preprint arXiv:2209.05057, 2022.
 [6] F. Ahmadov, et al. "Investigation of parameters of new MAPD-3NM silicon photomultipliers." *Journal of Instrumentation* 17.01 (2022): C01001.
 [7] N. Sadigova, et al. "IMPROVEMENT OF BURIED PIXEL AVALANCHE PHOTODETECTORS." *Colloquium-journal*. No. 5 (92). Голопристанський міськрайонний центр зайнятості, 2021.