

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОНКИХ ИОННО-ИМПЛАНТИРОВАННЫХ КРЕМНИЕВЫХ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФОНЕ ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Гулый В.Г., Кутелев А.С., Тихонов А.А., Шаврин Н.Ю., Шевченко А.П.

В настоящей статье описаны результаты экспериментальных исследований, проведенных с целью поиска замены толстослойного детектора ДКД-Пм-2,5-3. В экспериментах были использованы ионно-имплантированные PIPS детекторы Д2,5-0,3 в различных вариантах.

Толстослойные детекторы с толщиной чувствительной области 3 мм были применены в блоке детектирования БДГБ-26С, который предназначался для контроля целостности элементов ЯЭУ по наличию в контролируемой воздушной среде газообразных нуклидов ^{88}Kr и ^{138}Xe [1]. БДГБ-26С обеспечивает измерение объемной активности газообразных нуклидов ^{88}Kr и ^{138}Xe по бета-активности их дочерних продуктов ^{88}Rb и ^{138}Cs , которые собираются из фиксированного объема на аэрозольный фильтр. При проведении измерений в реальных условиях выделение нуклидов ^{88}Kr и ^{138}Xe из общего фона остальных газообразных нуклидов, находящихся одновременно в контролируемой среде перед окном детектора, проводится выбором энергетического порога регистрации, при котором влияние остальных нуклидов ^{85}Kr , ^{133}Xe и ^{41}Ar практически сводится к нулю. В блоке детектирования БДГБ-26 энергетический порог дискриминации составляет 1,5-1,6 МэВ. Учитывая, что толщина полного поглощения бета-частицы с энергией 1 МэВ в кремнии составляет 1,6 мм, можно с уверенностью сказать, что детектор ДКД-Пм-2,5-3 обеспечивает линейную характеристику поглощения для бета-частиц энергией до 1,9 МэВ, т.е. данный детектор является оптимальным для решения поставленной перед блоком детектирования задачи: регистрация жесткого бета-излучения на фоне низкоэнергетичного бета- и гамма-излучения с энергией 1,4 МэВ (^{41}Ar). Однако серийное производство рип-детекторов ДКД-Пм-2,5-3 было прекращено. Поэтому была предпринята попытка имитации однородной толщины чувствительной области детектора ДКД-Пм-2,5-3 путем набора из отдельных пластин (детекторов) толщиной 0,3 мм.

Для проведения сравнительных испытаний были использованы изготавливаемые фирмой «СНИИП-ПЛЮС» ионно-имплантированные (технология PIPS) детекторы Д2,5-0,3 (площадь чувствительной поверхности 2,5 см², толщина чувствительной области 0,3 мм) в различных вариантах включения детекторов (по толщине пакета и схеме включения) [2]. Каждая кремниевая пластина детектора Д2,5-0,3 устанавливалась в специальную «шайбу», выполненную из изоляционного материала, и крепилась к ней.

Исходной базой для проведения сравнения были показания блока детектирования БДГБ-26С зав.№ 002 от источников 1СО-83 (^{90}Sr - ^{90}Y , 4470 β-част/с в 2π) и ОСГИ ^{60}Co №1 (активность 33470 Бк). Так, показания блока детектирования от источника 1СО-83 составляли 150 с⁻¹, а для источника ^{60}Co - 0,4 с⁻¹.

Для воссоздания геометрии измерения, соответствующей геометрии измерения источников в блоке детектирования, к «шайбе» первого детектора Д2,5-0,3 крепился упор,

не позволяющий приближать измеряемые эталонные источники ближе, чем на 6,5 мм к чувствительной поверхности детектора. Между исследуемым детектором и упором устанавливалась стальная пластина $\varnothing 28 \times 0,14$ мм.

Сборки детекторов Д2,5-0,3 располагались в металлическом экранирующем футляре, одновременно защищающем детекторы от света. После изготовления двух детекторов Д2,5-0,2 они были опробованы на электронной установке (рис.1).

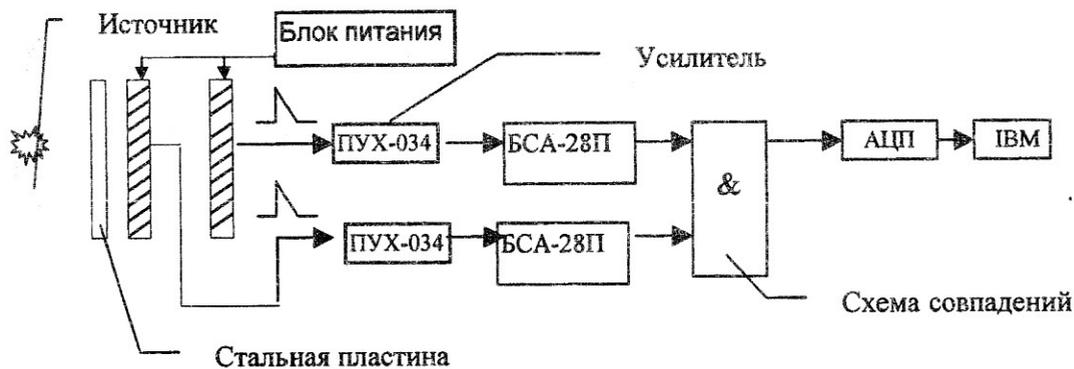


Рис.1. Электронная установка со сборками детекторов

Во всех экспериментах на детекторы подавалось напряжение 80 В, что обеспечивало полный сбор заряда по всему объему детектора, при этом шум детекторов был не более 10 кэВ. Предварительно была проведена проверка линейности энергетической шкалы собранной электронной установки. Проверка проводилась в два этапа - на первом этапе определялась энергетическая цена одного канала по нуклиду ^{239}Pu , а затем эта цена перепроверялась по двум нуклидам ^{241}Am и ^{137}Cs . В дальнейшем каждый раз перед проведением экспериментов данная проверка повторялась.

Снятые спектры нуклидов ^{60}Co и ^{90}Sr - ^{90}Y практически идентичны. Различием являются только граничные энергии данных спектров - для ^{90}Sr - ^{90}Y - 1300 кэВ, а для ^{60}Co - 900 кэВ. Однако, полученные спектры находятся ниже энергии 800 кэВ, так как данные детекторы являются пролетными. На обоих спектрах ярко выраженные пики в области 85 кэВ, что соответствует половине потерь энергии бета-частицы в 0,3 мм кремния.

В работе были исследованы различные варианты сборок из нескольких детекторов и размещенных между ними поглотителей (см.рис.2). Был опробован вариант сборки из двух детекторов с поглотителем между пластинами детекторов. Идея заключалась в регистрации бета-излучения в режиме совпадения. Экспериментальным путем были сняты кривые поглощения излучения нуклидов ^{90}Sr - ^{90}Y и ^{60}Co в алюминии и кремнии (таблица 1). Для этого перед чувствительной поверхностью первого детектора устанавливались пакеты с различной толщиной используемых материалов. Измерения проводились при нижнем пороге дискриминации 60 кэВ.

Таблица 1

Нуклид	Показания, 1/с					Показания, 1/с			
	Поглотитель - алюминий, мм					Поглотитель - кремний, мм			
	0	1 мм	2 мм	3 мм	3,8 мм	0	0,4 мм	1,0 мм	1,5 мм
^{90}Sr - ^{90}Y	1061	530	225	104	47	1354	969	594	426
^{60}Co	201	235	226	206	198	505	523	543	533

Примечание. В качестве нулевой толщины была принята толщина установленной перед детектором стальной пластины, равная 0,14 мм, т.е. 0,14 мм Fe + 1,0 мм Al и т.д.

На основании полученных результатов были выбраны два поглотителя из алюминия толщиной 1,4 и 1,61 мм. В табл.2 приведены результаты измерений с этими поглотителями.

Таблица 2

Нуклид		Показания, 1/с		
		Толщина алюминиевого поглотителя, мм		
		0	1,4	1,61
$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$	Детектор 1	867	903,5	
	Детектор 2	567	67,2	
	Совпадения	501	68,4	46,5
^{60}Co	Детектор 1	167,6	169	
	Детектор 2	112	100,6	
	Совпадения	70	1,68	1,17

Такие же измерения были проведены для сборки из двух детекторов с поглотителем между ними 1,4 мм алюминия, но при разных порогах дискриминации (табл.3).

Таблица 3

Нуклид		Показания, 1/с			
		Пороги дискриминации, кэВ			
		50	70	90	110
$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$	Детектор 1	877,7	857,4	813,6	730,7
	Детектор 2	67,9	67,3	66,9	63,0
	Совпадения	69,2	67,4	54,6	37,7
^{60}Co	Детектор 1	168,2	154,4	144,7	125,3
	Детектор 2	97,0	97,6	95,6	96,3
	Совпадения	1,45	1,25	0,96	0,79

Как видно из таблиц 2 и 3, установка поглотителя между двумя детекторами не позволяет добиться искомым результатов, т.е. скоростей счета от контрольных источников таких же, как и у БД ($^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ - 150 1/с, ^{60}Co - 0,4 1/с). Это можно объяснить тем, что установленный поглотитель является "мишенью" для гамма-излучения нуклида ^{60}Co , что, в свою очередь, приводит к появлению большого количества электронов отдачи и, следовательно, к увеличению чувствительности второго детектора к гамма-излучению. Для бета-излучения источника $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ процесс обратный - поглотитель уменьшает чувствительность за счет поглощения, и с учетом естественных потерь в переходах детектор-поглотитель и поглотитель-детектор, так как по технологическим особенностям невозможно приблизить вплотную детектор и поглотитель, чувствительность к излучению $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ падает.

Поэтому в дальнейшем была создана сборка из четырех детекторов Д2,5-0,3, причем два детектора, ближних к источнику, были установлены в одну "шайбу" и соприкасались своими чувствительными поверхностями. На этой сборке были сняты спектры нуклидов $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ и нуклида ^{60}Co . Граничные энергии спектров для нуклидов $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ (1,8 МэВ) и ^{60}Co (1,20 МэВ) увеличились по сравнению со сборкой из двух детекторов. И в этом случае было опробовано два варианта сборки: первая - два детектора и два детектора Д2,5-0,3, и вторая - 2 детектора Д2,5-0,3 + алюминиевый поглотитель толщиной 0,2 мм + 2 детектора Д2,5-0,3. Результаты проведенных измерений приведены в таблицах 4 и 5 без поглотителя и с поглотителем, соответственно.

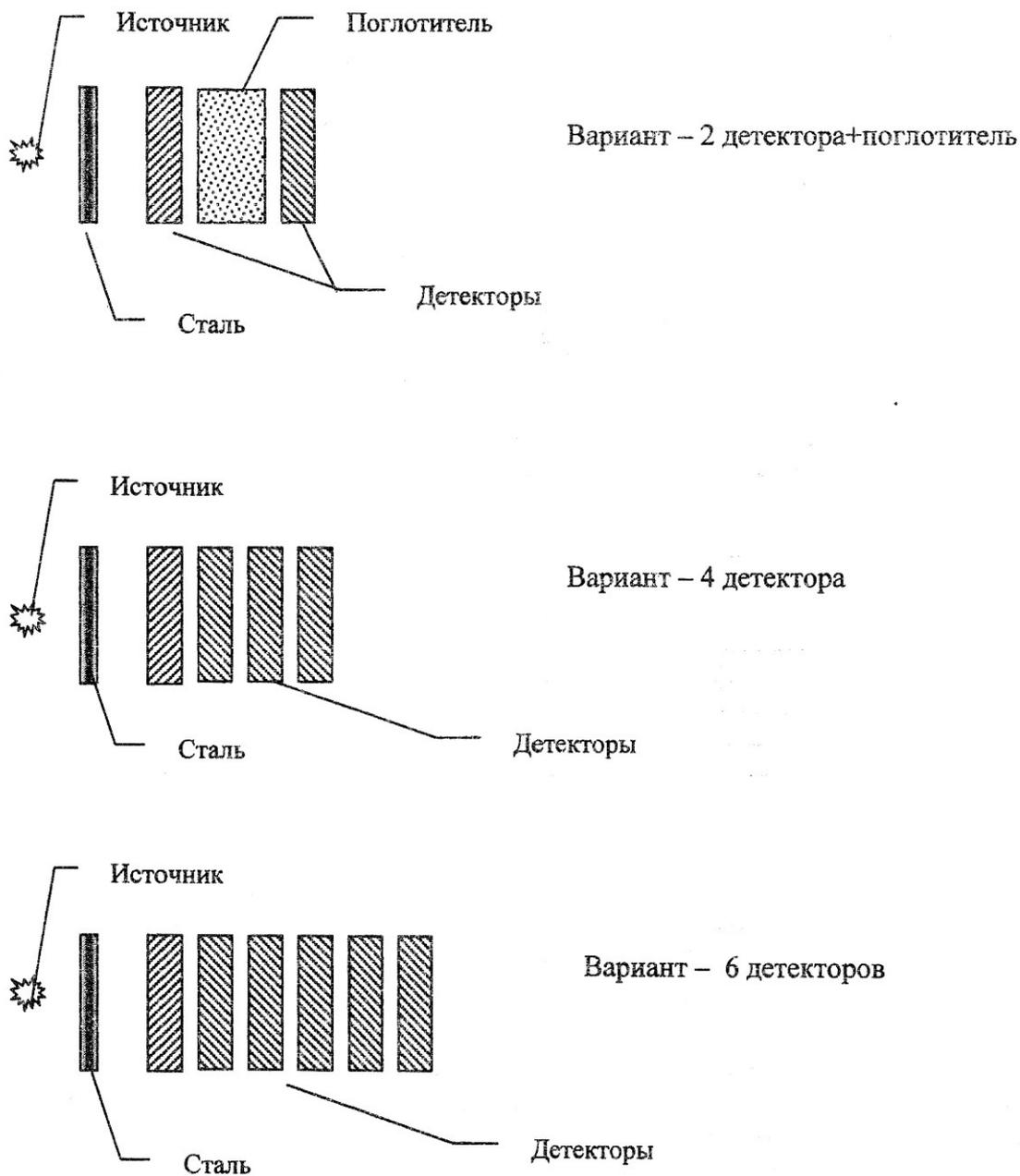


Рис.2. Варианты исследованных сборок

Таблица 4

Нуклид		Показания, 1/с		
		Пороги дискриминации, кэВ		
		200	300	400
$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$	Детектор 1	727,8	485,7	334,6
	Детектор 2	281,3	180,6	114,5
	Совпадения	230,5	71,7	22,3
^{60}Co	Детектор 1	127,4	84,8	55,1
	Детектор 2	78,4	50,3	32,1
	Совпадения	25,5	6,9	1,11

Таблица 5

Нуклид		Показания, 1/с		
		Пороги дискриминации, кэВ		
		200	300	400
⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	Детектор 1	708,6	477,4	329,2
	Детектор 2	248,4	167,8	111,2
	Совпадения	199,8	57,9	18,2
⁶⁰ Co	Детектор 1	134,8	95,4	65,5
	Детектор 2	84,6	74,4	36,7
	Совпадения	19,8	5,4	0,8

Как и в случае со сборкой из двух детекторов, добиться искомых результатов в сборке из четырех детекторов не представляется возможным.

Была предпринята еще одна попытка путем создания сборки из 6 детекторов. Все детекторы в этой сборке были соединены параллельно, и на этом детекторе были сняты спектры нуклидов ⁹⁰Sr-⁹⁰Y и ⁶⁰Co. Суммарная толщина чувствительной области сборного детектора (1,8 мм) практически не повлияла на граничную энергию спектров ⁶⁰Co (1,20 МэВ).

В заключение отметим, что многослойные детекторы, набранные из пластин Д2,5-0,3 в пробегном варианте, показали значительные потери (около 80%) бета-частиц в переходах от одной пластины к другой. Поэтому в дальнейшем представляется перспективным создание пробегного многослойного детектора, у которого пластины максимально приближены друг к другу, и суммарная толщина чувствительного слоя порядка длины свободного пробега регистрируемых электронов. Вариант телескопа в режиме совпадений не удалось реализовать также из-за недостаточной толщины чувствительного слоя. В дальнейшем планируется исследовать варианты 8-10 пластин в пролетном варианте и телескоп в режиме совпадений «4+4».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блок детектирования БДГБ-26С. Технические условия ЖШ2.328.709ТУ.
2. Гулый В.Г., Майсюков В.Д., Фертман Д.Е. Современные кремниевые детекторы заряженных частиц и входные устройства к ним: основные характеристики и применение. В сб. «Ядерные измерительно-информационные технологии», Труды НИЦ «СНИИП», 1997.