

XIV НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ЯДЕРНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ, ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ. МЕТРОЛОГИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ» 27.10.2025 – 30.10.2025



ФЕДЕРАЛЬНАЯ
ТЕРРИТОРИЯ
«СИРИУС»



27–30

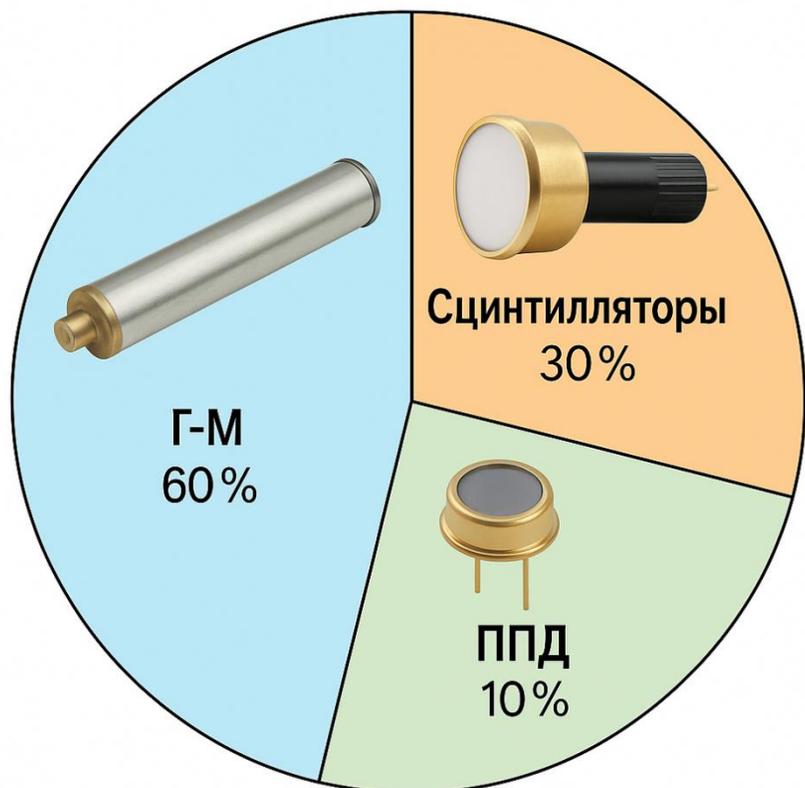
октября 2025

Высокоэффективные кремниевые детекторы для ядерной электроники и медицины. От альфа-частиц до галактических лучей.

Решетова Н.С, Федоренко В.В., Яшин В. С.



Полупроводниковые детекторы и их роль, место в современном мире



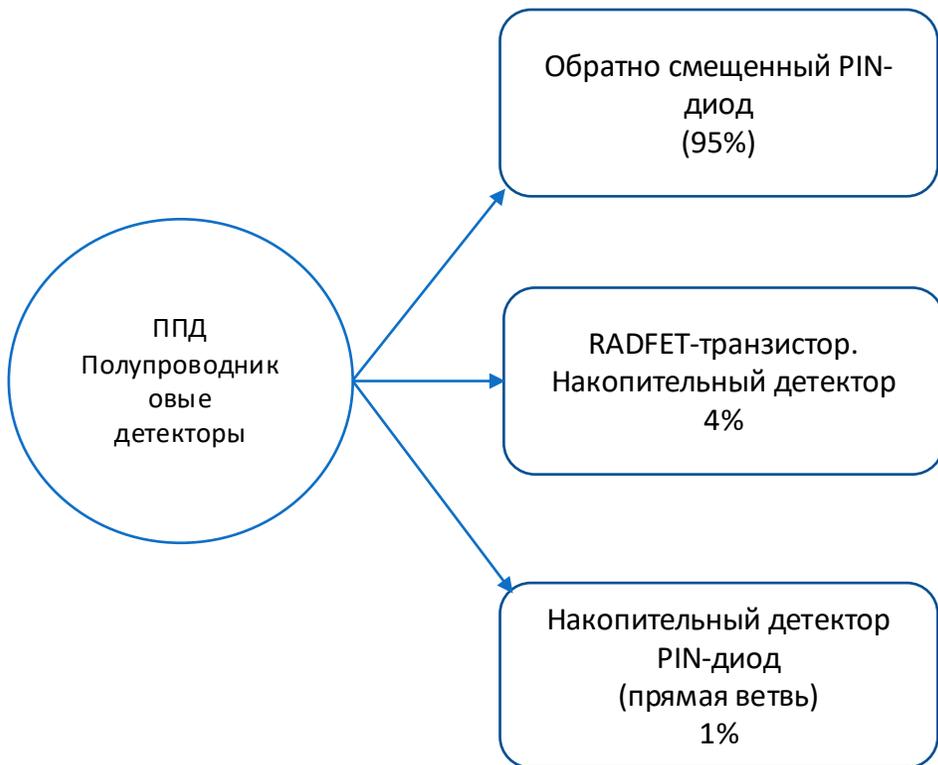
Распределение первичных преобразователей в серийных приборах дозиметрического контроля сложилось следующим образом:

подавляющее большинство устройств продолжает строиться на основе счётчиков Гейгера Мюллера

Использование сцинтилляторов начинает расти и к настоящему времени занимает 1/3 рынка

Полупроводниковые преобразователи на сегодняшний день занимают всего лишь 10%

Однако развитие спектрометрии высокого разрешения стало возможным только благодаря внедрению полупроводниковых технологий. Сначала данное направление базировалось на литий-дрейфовых детекторах из германия (Ge(Li)), а с освоением технологии глубокой очистки материалов выделилось новое направление — ОЧГ-детекторы (объёмный высокоочищенный германий в виде PIN-диода), работающие при криогенных температурах. Это направление остаётся ведущим и в настоящее время. К сожалению данную технологию освоили единицы предприятий в мире.



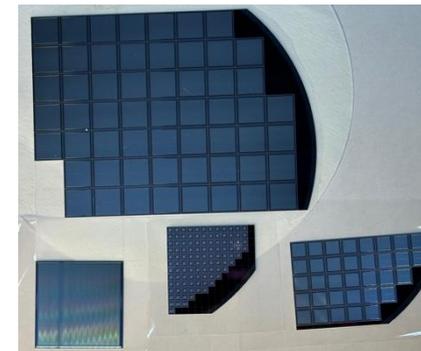
Все полупроводниковые детекторы условно можно разделить на три группы:

- Наиболее распространённый тип — обратно смещённый PIN-диод (в первом приближении твёрдотельный аналог счётчика Гейгера–Мюллера), который занимает около 95% данного сегмента рынка.

- МОП-структуры приборы изменение порогового напряжения которого под воздействием ионизирующего излучения стало основой для создания отдельного класса накопительных детекторов (в современном мире они стали известны как RADFET-транзисторы).

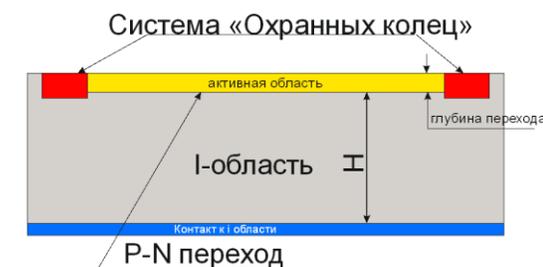
- контроль прямой ветви PIN-диода специальной конструкции позволяет измерять параметры нейтронного и протонного излучения. В этом случае вследствие деградации кристаллической решётки полупроводника изменяются электрические параметры перехода, что пропорционально дозе (флюенсу) нейтронов . По имеющейся информации, приборы такого типа серийно выпускаются только в нашей стране нашим предприятием.

Техническикие характеристики и стоимость детекторов определяется конструкцией, размером активной области, размером обедненного слоя (толщиной пластины) и целым рядом иных технологических параметров.



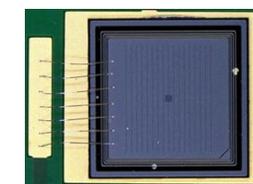
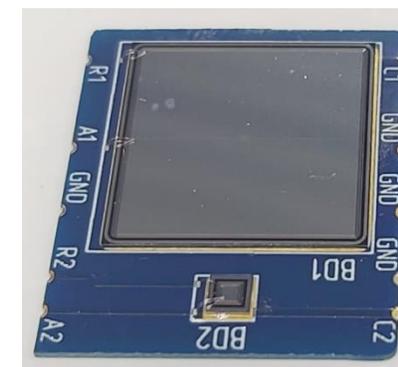
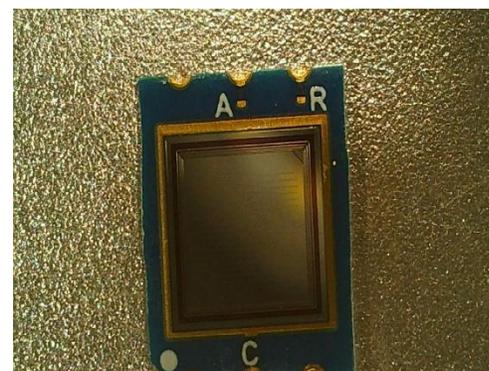
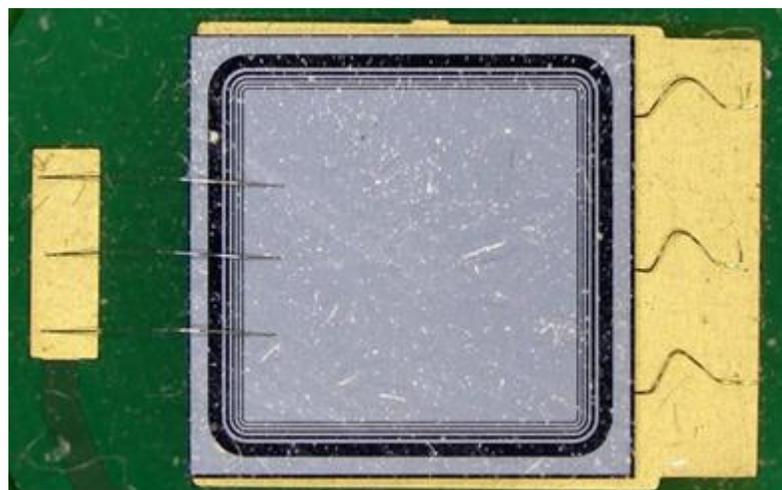
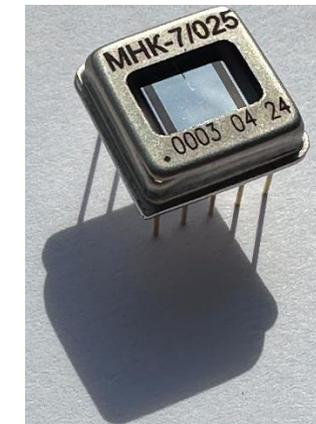
Размерный ряд серийно выпускаемых кристаллов (топология 2025) представлен в таблице.

Площадь Активной Структуры мм ²	Размер активной области мм	Размер кристалла мм	Толщина пластины Н мкм	Конструкция входного окна (чувствительной области)
1	1x1	2,71x2,71	0,34-0,35	0.4мкм Al
0.38	∅0,7	1x1		1,2 мкмAl
4	2x2	3,71x3,71	0,34-0,35	0.4мкм Al
4	2x2	3,71x3,71	1000	0.4мкм Al
25	5x5	6,71x6,71	0,34-0,35	0.4мкм Al
56	7x8	8,71x9,71	0,34-0,35	0.4мкм Al
100	10x10	11,71x11,71	0,34-0,35	0.4мкм Al
225	15x15	16,71x16,71	0,34-0,35	0.4мкм Al
484	22x22	23,71x23,71	0,34-0,35	0.4мкм Al
484	22x22	23,71x23,71	0,34-0,35	SiO ₂ -100Å
1117	33,42x33.42	35,13x35,13	0,34-0,35	0.4мкм Al



Очень важным вопросом является формирование омического контакта к активной области. Фактические материалы и технологии с помощью которых формируется омический контакт, существенным образом будут влиять на параметры структуры. Вторым существенным фактором, определяющим параметры структуры, будет являться процесс корпусирования кристаллов.

На слайде представлены примеры корпусирования кристаллов. Далее на примере рассмотрим как влияет формирование контакта и корпусирование на спектрометрические характеристики де



•Проверка детекторов в составе зарядочувствительного усилителя ДКС-АТ3509

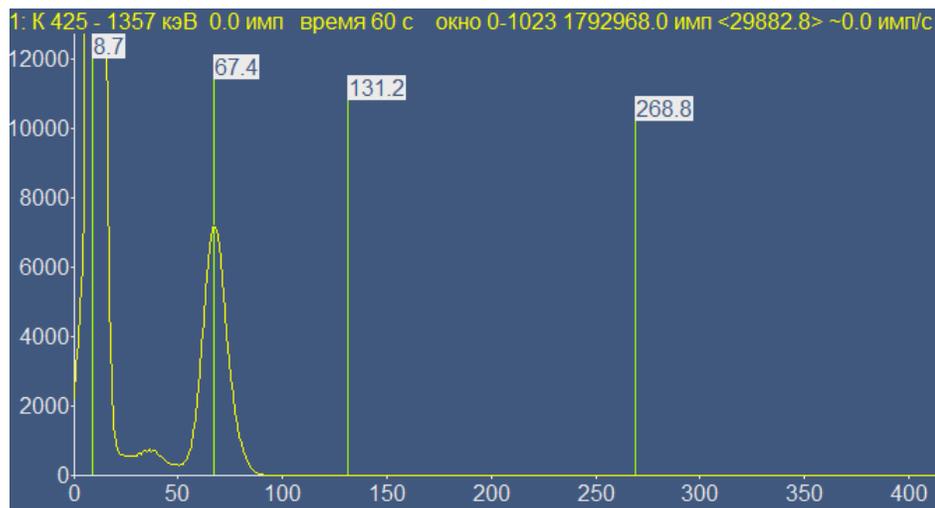
•Все годные детекторы с хорошим контактом установили в состав зарядочувствительных усилителей (ЗЧУ).

Проверка осуществлялась при подключении ЗЧУ к АЦП. Снимался уровень собственных шумов, а также спектр накопления от источника Ва-133. Результаты представлены в таблице.

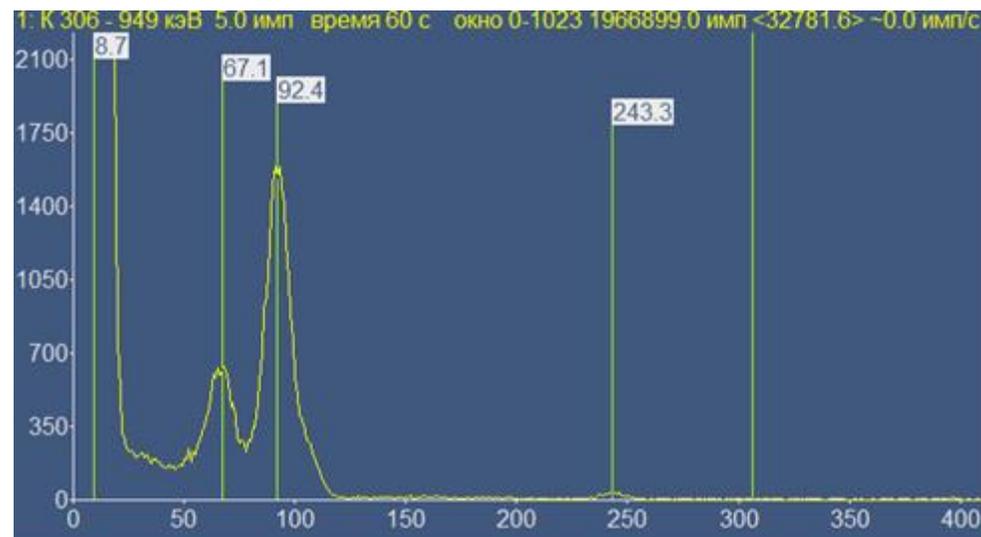
По результатам видно, что фоновый шум детекторов схож со значениями серийных детекторов. Но есть некоторые различия в форме спектров. Ниже приведены спектры Ва-133, снятые серийным детектором ДГб-0,25М и детектором ДГ-0,5.

№ Детектора	№ канала в АЦП			Фоновый шум по энергии (пересчитанный относительно двух пиков), кэВ	Энергетический порог регистрации в дозиметре ДКС-АТ3509 (диапазон измерения от 15 кэВ)	Энергетический порог регистрации в дозиметре ДКС-АТ3509А (диапазон измерения от 30 кэВ)
	Рабочее напряжение 100В	фоновый шум (граница)	1 пик Ва-133 (31 кэВ)			
3441	23	97	254	7,3	12 кэВ	21 кэВ
4317	24	96	252	7,7		
6555	23	96	253	7,4		
2754	23	95	248	7,5		
1	23	94 (69)	248	7,5		
2	24	94 (69)	248	7,7		
4	25	93 (68)	246	7,9		
5	24	95 (70)	248	7,7		
6	23	92 (67)	243	7,5		
7	24	93 (68)	244	7,7		

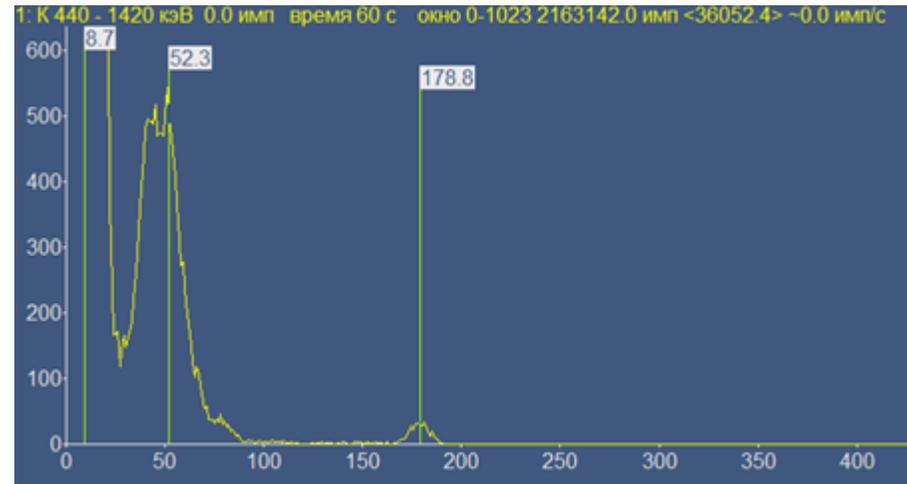
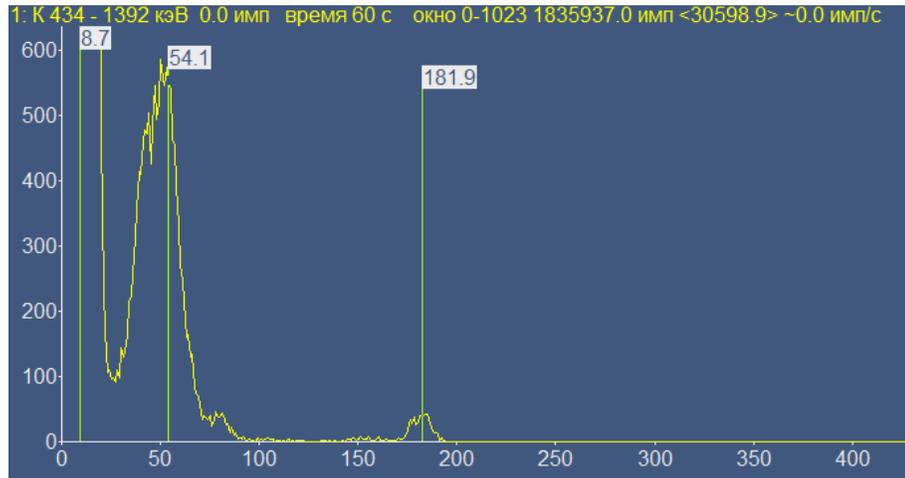
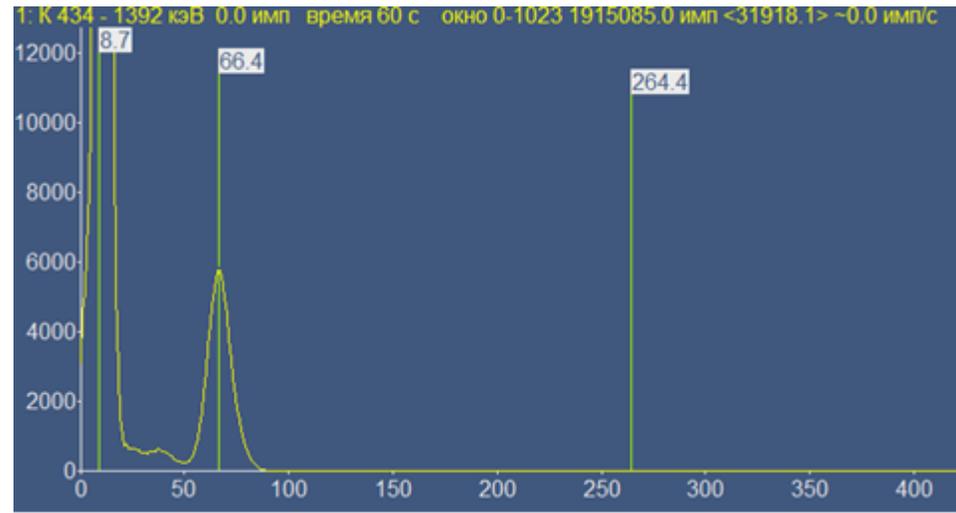
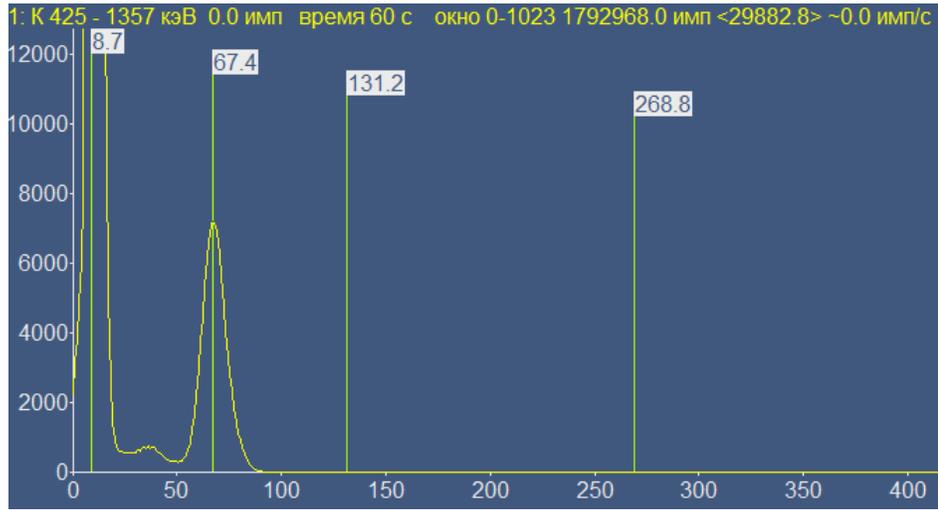
Анализируя спектр Ва-133 детектора ДГ-0,5 видно, что при наборе часть импульсов с 92 канала (эквивалентно пику 31 кэВ) теряют свою амплитуду и накапливаются в 67 канале (эквивалентно 22,5 кэВ). Такого не должно быть, у серийных детекторов ДГБ-0,25М этого не наблюдается. Далее приведены спектры Cd-109 и Am-241



Спектр Ва-133 от детектора ДГБ-0,25М



Спектр Ва-133 от детектора ДГ-0,5



Конструкция Pin диода





В настоящее время предприятие запустило установочную партию спектрометрических альфа-детекторов для замены аналогичных детекторов импортного производства на эксплуатируемом оборудовании.

Конструкция детекторов позволит производить замену без доработки оборудования.

Внешний вид детекторов и их конструкция представлены на данном слайде.

Технология изготовления и ремонта ОЧГ детекторов.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Адрес:

141595, МО, г.Солнечногорск, тер. Индустриальный парк Есипово, стр. 17а/2,
помещение 19.

тел/факс: +7 (499) 214-07-83/84

e-mail: fed@softexp-rf.ru

www.softexp-rf.ru