

Авторы выражают благодарность С. В. Самылову и В. И. Семячкову за полезные обсуждения и помощь в измерениях.

Поступило в Редакцию 23/II 1971 г.  
В окончательной редакции 6/IV 1971 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. В. Санин, Г. Н. Марков, Н. Г. Ивченко. «Атомная энергия», 27, 354 (1969).

2. F. Reines et al. Rev. Scient. Instrum., 25, 1011 (1954).  
3. А. Н. Перцев, А. Н. Писаревский, Л. Д. Соснин. «Ж. прикл. спектроскопии», 2, 369 (1965).  
4. В. М. Горбачев, Ю. С. Замятин. «Атомная энергия», 3, 101 (1957)

## Радиационная стойкость кремниевых поверхностно-барьерных детекторов по отношению к быстрым нейтронам

И. И. ЛАЗУТКИН, Б. И. СИНИЦЫН, О. П. ФЕДОСЕЕВА, С. Г. ЦЫПИН

УДК 539.1.074

В ряде работ сообщается о воздействии протонов различных энергий [1—4] и  $\alpha$ -частиц [5, 6] на эксплуатационные характеристики поверхностно-барьерных детекторов (ПБД). Радиационная стойкость ПБД по отношению к нейтронам практически не исследовалась, хотя актуальность такой информации очевидна, особенно в случае применения детекторов в сочетании с радиаторами для регистрации нейтронов [7].

Цель настоящей работы — изучение изменения основных эксплуатационных характеристик ПБД от величины потока быстрых нейтронов (рис. 1), таких, как обратный ток, собственный шум, энергетическое разрешение, емкость, сопротивление в прямом направлении, эффективность сбора заряда, образованного  $\alpha$ -частицами с энергией 5,5 Мэв. Указанные характеристики измерялись в диапазоне обратных напряжений 0—15 в.

Для облучения было использовано 15 серийно выпускаемых детекторов типа ДКПс, имеющих следующие характеристики: площадь 50 мм<sup>2</sup>, энергетическое разрешение для  $\alpha$ -частиц с  $E = 5,5$  Мэв составляет 1—2%, эффективность сбора заряда 100%. Детекторы были изготовлены из кремния  $n$ -типа марки БКЭФ-200 с удельным сопротивлением 200 ом/см. Максимальный поток нейтронов, падающий на детекторы, был равен  $4 \cdot 10^{13}$  нейтр/см<sup>2</sup>. Пять детекторов облучались потоком нейтронов плотностью  $2,2 \cdot 10^8$  нейтр/см<sup>2</sup>·сек,

десять — потоком  $5,5 \cdot 10^8$  нейтр/см<sup>2</sup>·сек, причем пять из них находились при облучении под обратным напряжением, равным 10 в. Ниже приведены основные результаты исследований.

Обратный ток детектора заметно начинает увеличиваться при потоке  $5 \cdot 10^{11}$  нейтр/см<sup>2</sup>, что соответствует опубликованным данным. Следует отметить, что на рис. 2,3 приведены усредненные результаты для пяти детекторов (в процессе облучения ПБД находились под напряжением). Разброс в относительном изменении параметров детекторов после облучения не превышает 30%, за исключением обратного тока, для которого разброс может составлять 100%. Разброс в относительном изменении параметров увеличивается с увеличением интегральных доз облучения.

Заметное увеличение шумов и ухудшение энергетического разрешения (см. рис. 3) начинается при потоке  $5 \cdot 10^{12}$  нейтр/см<sup>2</sup>, причем энергетическое разрешение ухудшается быстрее, чем возрастают шумы ПБД, особенно при больших потоках. Это можно объяснить увеличением после облучения того вклада, который вносят в энергетическое разрешение флюктуаций собранного заряда, образованного  $\alpha$ -частицами, по объему детектора.

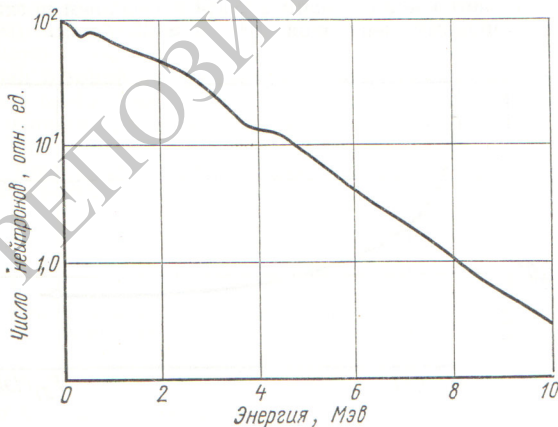


Рис. 1. Спектр нейтронов.

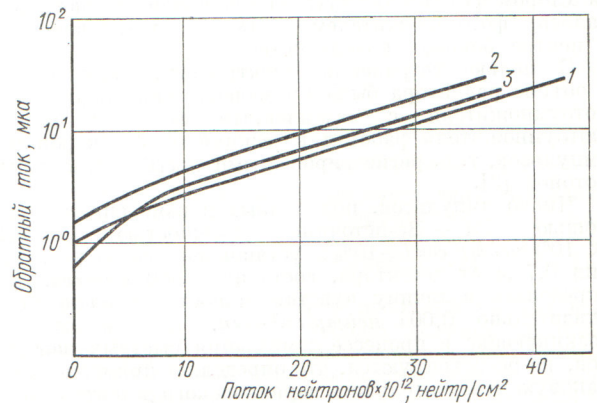


Рис. 2. Зависимость обратного тока ПБД при напряжении 10 в от величины потока нейтронов  $D$ . Плотность потока нейтронов:

1 —  $2,2 \cdot 10^8$  нейтр/см<sup>2</sup>·сек; 2 —  $5,5 \cdot 10^8$  нейтр/см<sup>2</sup>·сек; 3 —  $5,5 \cdot 10^8$  нейтр/см<sup>2</sup>·сек.



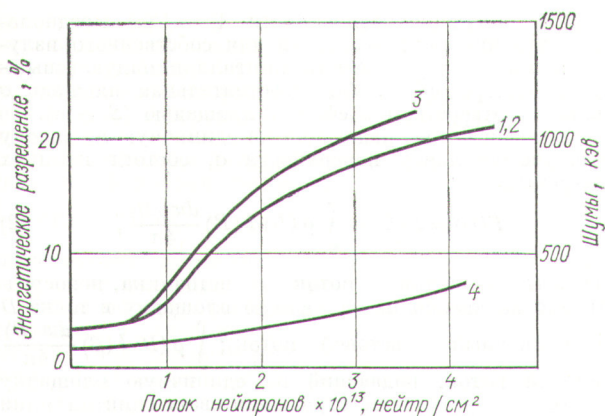


Рис. 3. Зависимость энергетического разрешения (кривые 1—3) и шумов (кривая 4) ПБД от  $D$  при  $V = 10$  в:

1 —  $P = 2,2 \cdot 10^8$  нейтр/см<sup>2</sup>·сек; 2 —  $P = 5,5 \cdot 10^8$  нейтр/см<sup>2</sup>·сек; 3, 4 —  $P = 5,5 \cdot 10^8$  нейтр/см<sup>2</sup>·сек.

Наименее чувствительным к облучению параметром является эффективность сбора заряда. При обратных напряжениях выше 7 в она не изменяется в зависимости от интегральной дозы нейтронов  $4,4 \times 10^{13}$  нейтр/см<sup>2</sup> (рис. 4).

В процессе облучения последовательное сопротивление детекторов резко возрастает (с 60 ом до 40 ком при максимальном интегральном потоке), что объясняется увеличением сопротивления кремния в обедненной области.

Увеличение сопротивления кремния в процессе облучения приводит к уменьшению емкости детекторов и к изменению формы вольт-емкостной характеристики. Заметное уменьшение емкости начинается при потоке  $10^{12}$  нейтр/см<sup>2</sup> и более резкое — при низких рабочих напряжениях.

Существенной разницы в радиационной стойкости детекторов, находящихся в процессе облучения под обратным напряжением и без него, не обнаружено. Увеличение плотности потока нейтронов при облучении в два раза не изменяет степени повреждаемости

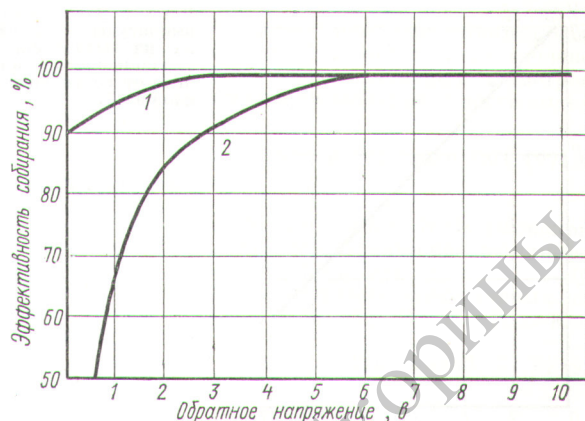


Рис. 4. Зависимость эффективности сбора заряда от обратного напряжения:

1 — для необлученного детектора; 2 — для детектора, облученного потоком  $4,4 \cdot 10^{13}$  нейтр/см<sup>2</sup>.

характеристик детекторов при равных интегральных потоках.

Поступило в Редакцию 1/II 1971 г.  
В окончательной редакции 19/IV 1971 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. J. Coleman et al. IEEE Trans. Nucl. Sci., 15, 120 (1968).
2. J. Coleman et al. IEEE Trans. Nucl. Sci., 15, 363 (1968).
3. G. George. Nucl. Instrum. Methods, 25, 253 (1964).
4. А. С. Брыкина и др. «Космические исследования», 2, 623 (1964).
5. А. Е. Антропов и др. «Космические исследования», 5, 622 (1967).
6. G. Deagnaley. IEEE Trans. Nucl. Sci., 10, 106 (1963).
7. И. А. Баранов. «Приборы и техника эксперимента», № 2, 181 (1964).

## О зависимости амплитуды выходного импульса сцинтилляционного счетчика от соотношения площадей выходного окна кристалла и фотокатода ФЭУ

Б. К. ДАМИТОВ

УДК 539.1.074.3

При решении некоторых задач спектрометрии  $\gamma$ -излучения приходится сочленять ФЭУ небольшого диаметра со сцинтиллятором, имеющим большую площадь выходного окна. При этом необходимо знать зависимость амплитуды выходного сигнала сцинтилляционного счетчика от соотношения площадей фотокатода и выходного окна сцинтиллятора. В работе [1] рассмотрен случай, когда между фотокатодом ФЭУ и сцинтиллятором помещен кольцевой отражатель с отверстием («диафрагмированный» детектор). При некоторых

допущениях авторами работы [1] получена зависимость амплитуды  $V$  импульса на выходе ФЭУ от соотношения  $x$  площадей отверстия в отражателе  $q$  и выходного окна кристалла  $q_0$ :

$$\frac{1}{V} = \frac{2a\rho_c\rho_d}{Ak(1+a\rho_c)} + \frac{1-a\rho_c(1-2w+2a\rho_d w)}{Akw(1+a\rho_c)} \cdot \frac{1}{x} \quad (1)$$

Здесь  $a$  — прозрачность кристалла;  $A$  — число фотонов, возникающих в сцинтилляторе;  $\rho_c, \rho_d$  — коэффициенты отражения света сцинтилляции стенкой и ди-