

06;12

Интегральный детектор ионизирующих излучений на основе гетероперехода сульфид-теллурид кадмия

© В.П. Махний, Я.Н. Барасюк

Черновицкий государственный университет им. Ю. Федьковича

Поступило в Редакцию 5 августа 1996 г.

В окончательной редакции 20 февраля 1997 г.

В работе описан детектор рентгеновского излучения, в котором сцинтиллятор и фотодиод интегрированы в структуре гетероперехода. Приведены характеристики преобразования излучения в токовый сигнал при мощности дозы 1 Р/час; показано, что кроме удобства, определяемого монолитностью конструкции, интегральный детектор в режиме со смещением обладает существенно большей чувствительностью по сравнению с используемыми в настоящее время.

системы сцинтиллятор-фотодиод могут обеспечить решение большого числа задач регистрации ионизирующих излучений мощностью до 10^6 Гр в диапазоне энергий 0.01–20 МэВ [1]. В качестве фотоприемника, как правило, используют серийные Si-фотодиоды различного типа. Материал сцинтиллятора при этом должен обладать: высокими энергетическим выходом и быстродействием, хорошей прозрачностью для радиолуминесцентного излучения, стойкостью к действию влаги, температуры, радиации и др. Этим требованиям в определенной степени отвечают кристаллы CdS и ZnSe, легированные изовалентной примесью Te [2]. Кроме того, сочетание сцинтилляционных и полупроводниковых свойств позволяет создавать фотоприемник непосредственно на поверхности кристалла сцинтиллятора. Достигнутая к настоящему времени дозовая чувствительность интегральных детекторов $p\text{CdTe}-n\text{CdS}(\text{Te})$ и $p\text{ZnTe}-n\text{ZnSe}(\text{Te})$ составляет около 10^{-7} А·см⁻²·Р⁻¹ час [3,4]. Дальнейшее ее повышение связано с улучшением параметров как отдельных элементов пары, так и системы в целом, главным образом, эффективности светосбора. В данной работе рассмотрен один из возможных путей решения этой задачи — увеличение чувствительности фотоприемника в интегральном детекторе $p\text{CdTe}-n\text{CdS}(\text{Te})$.

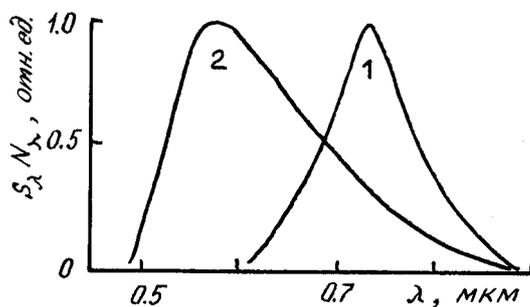


Рис. 1. Спектры радиолуминесценции кристалла CdS(Te) (1) и фоточувствительности гетероперехода pCdTe–nCdS(Te) (2) при 300 К.

Сцинтилляционные кристаллы CdS получены из расплава под давлением инертного газа и легированы в процессе роста Te до 0.1 мольн. проц. В области комнатных температур они обладают электронной проводимостью ($\sim 1 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$) и эффективной (15–20%) красной фото- и радиолуминесценцией N_λ с максимумом при 0.73 мкм, рис. 1. Здесь же приведен спектр фоточувствительности S_λ гетероперехода, изготовленного на базовой подложке CdS(Te) методом реакций твердофазного замещения [5]. Коэффициент использования излучения, определяемый выражением $K_u = \int_0^\infty N_\lambda \cdot S_\lambda \cdot d\lambda / \int_0^\infty N_\lambda \cdot d\lambda$, для данного интегрального детектора составляет около 0.4. Эта величина несколько меньше, чем для комбинированного детектора CdS(Te) – Si-фотодиод ($K_u \approx 0.55$ [1]). Вместе с тем эффективность светосбора для интегрального детектора должна быть выше чем для комбинированного детектора. Это обусловлено несколькими причинами. Во-первых, коэффициент преломления CdTe ($n \approx 2.75$) больше чем у CdS ($n \approx 2.5$), что устраняет эффект полного внутреннего отражения на границе раздела гетероперехода. Во-вторых, варизонный слой $\text{CdS}_x\text{Te}_{1-x}$ обеспечивает надежный оптический контакт без применения специальных просветляющих покрытий и сложных методов их нанесения в случае комбинированного детектора. Указанные факторы приводят к увеличению доли попадающего на фотодиод радиолуминесцентного излучения в разработанном интегральном детекторе.

Для возбуждения сцинтилляций использовалась рентгеновская трубка с Cu-анодом при напряжении питания 40 кВ. Исследуемый интеграль-

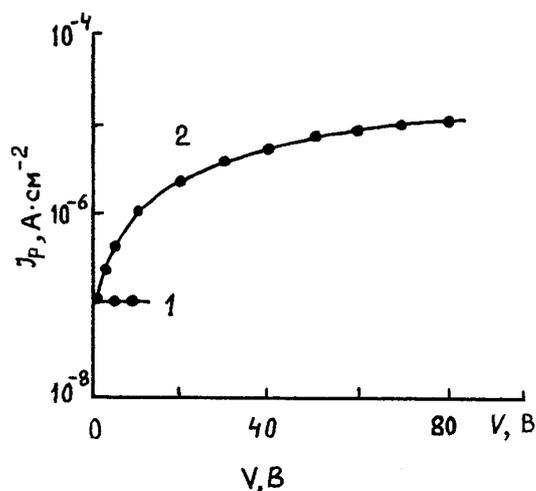


Рис. 2. Зависимость выходного сигнала J_p от обратного напряжения на фотодиоде для комбинированного (1) и интегрального (2) детекторов при облучении рентгеновским излучением мощностью 1 Р/час. Размеры сцинтиллятора $5 \times 5 \times 5$ мм, площадь фотодиодов — 25 мм^2 .

ный детектор и эталонный комбинированный помещались на расстоянии, при котором мощность дозы рентгеновского излучения равнялась 1 Р/час. В этих условиях плотность фототока J_p комбинированного детектора при нулевом смещении составляла около 10^{-7} А/см^2 , рис. 2. Отметим, что это значение близко к величине плотности темнового тока J_T , используемого в данном устройстве фотодиодов ФД-228. Указанные значения J_p и J_T сохраняются вплоть до обратных напряжений $V \approx 10 \text{ В}$. Дальнейшее увеличение V приводит к резкому росту J_T при практически неизменной величине полезного выходного сигнала.

Зависимость $J_p(V)$ для устройства с гетеропереходом существенно отличается от рассмотренной выше для эталонного, рис. 2. Совпадая по абсолютной величине при нулевом смещении комбинированного детектора фототок интегрального детектора возрастает почти на два порядка при $V \geq 50 \text{ В}$. Исследования [5] показали, что гетеропереход представляет собой $p-i-n$ структуру с толщиной d i -области около 50 мкм. Насыщение фототока такого диода наступает при полях на-

пряженностью $E_{kp} \cong V/d = 50/5 \cdot 10^{-5} = 10^6$ В/м. Это близко к значению критической напряженности электрического поля, при которой дрейфовая скорость электронов в CdTe насыщается [6]. С другой стороны, насыщение J_p при $V > 50$ В означает достижение максимального коэффициента собирания для генерированных светом носителей. Оценка времени пролета фотоносителями i -области при указанных выше параметрах гетероперехода приводит к величине порядка 10^{-10} с. Отметим также, что удельная емкость исследуемых гетероструктур составляет около 200 пФ/см² против 700 пФ/см² для ФД-288. Кроме того, темновой ток гетероперехода более чем на порядок меньше J_T Si-диода, а также полезного сигнала интегрального детектора при данных условиях измерений во всем исследуемом интервале напряжений. Указанные обстоятельства в совокупности с преимуществами монокристаллической конструкции делают возможным эксплуатацию разработанных детекторов и при нулевом смещении, когда дозовые чувствительности интегрального и комбинированного детекторов сравнимы и составляют 10^{-7} А · см⁻² · Р⁻¹ час. Увеличение последней на два порядка может быть достигнуто включением гетероперехода в фотодиодном режиме при $V \geq 50$ В (рис. 2).

Таким образом, приведенные результаты убедительно свидетельствуют о перспективности использования гетероперехода $p\text{CdTe}-n\text{CdS}(\text{Te})$ в качестве высокоэффективного детектора ионизирующих излучений.

Авторы благодарят В.Д. Рыжикова за любезно предоставленные кристаллы CdS(Te).

Список литературы

- [1] Рыжиков В.Д., Стадник П.Е., Яковлев Ю.А. // ПТЭ. 1989. № 5. С. 6–16.
- [2] Рыжиков В.Д. Сцинтилляционные кристаллы полупроводниковых соединений A^2B^6 . Получение, свойства, применение. М.: НИИТЕХИМ, 1989. 123 с.
- [3] Рыжиков В.Д., Вербицкий О.П., Селегенов Е.М., Силин В.И. / А.с. СССР № 1436794 от 05.05.1986 г.
- [4] Вербицкий О.П., Косяченко Л.А., Махний В.П., Рыжиков В.Д. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 8. С. 702–705.
- [5] Баранюк В.Е., Барасюк Я.М., Махний В.П. // УФЖ. 1996. Т. 41. № 4. С. 450–454.
- [6] Canali C., Martini M., Ottaviani G., Zanio K. // Phys. Lett. 1970. V. 33A. P. 241–243.