

УДК 621.383

Влияние ионизирующего излучения на основные характеристики охлаждаемых фоторезисторов на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$

Э. Ю. Салаев, Д. Ш. Абдинов, К. А. Аскеров

Институт фотоэлектроники НАН Азербайджана, г. Баку, Азербайджанская Республика

Представлены результаты исследования влияния ионизирующих излучений различного вида на основные параметры, элементы, конструкции и конструкционные материалы фотоприемников на основе твердого раствора $Cd_xHg_{1-x}Te$. Установлено, что изменение основных параметров фоторезисторов в основном связано с изменением свойств фоточувствительных элементов. Получены прогнозируемые данные о радиационной стойкости исследуемых типов фоторезисторов с рекомендациями их для работы в условиях повышенной радиации в области ИК-спектра.

В настоящее время одной из важнейших задач, стоящих перед наукой и техникой, является исследование радиационной стойкости и надежности новых видов фотоприемников. Надежность широко применяемых в космической технике фотоприемников сильно зависит от их радиационной стойкости.

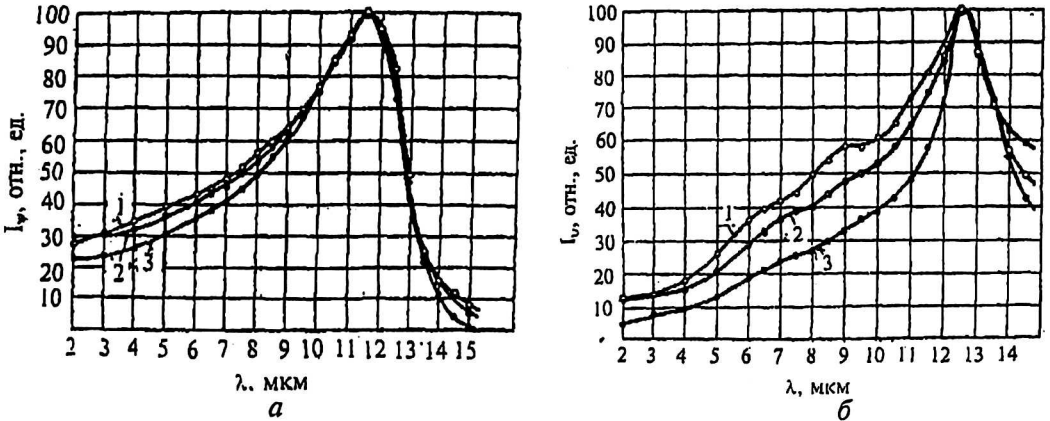
Цель настоящего исследования — изучение влияния ионизирующего излучения на основные параметры, элементы, конструкции и конструкционные материалы фотоприемников на основе твердого раствора $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x = 0,2$) типа "Арктур", "Планета-СФ" и "Вулкан". Определение надежности фотоприемников производится на основе анализа степени деградации электрофизических и физико-механических характеристик, материалов, применяемых в изделиях и определяющих электрические параметры, механико-климатическую устойчивость и надежность фотоприемников после воздействия.

Исследовалось влияние гамма-квантов и импульсных нейтронов на основные фотоэлектрические параметры двух-, трех- и четырехэлементных фоторезисторов типа "Арктур", "Вулкан" и "Планета-СФ", а также на применяемые в этих фотоприемниках полупроводниковые фоточувствительные элементы и конструкционные материалы. Исследуемые фоторезисторы, изготовленные на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x = 0,2$), сопряжены с радиационной системой охлаждения и используются в телевизионных космических спутниковых системах, предназначенных для области спектра 8—14 мкм. Фоторезисторы изготовлены по планарной технологии и состоят из следующих узлов и деталей: блока ФЧЭ, держателя, электрических выводов, теплоизолирующего сосуда, блока предварительных усилителей с вторичным источником питания и микротеплообменника [1].

Фоторезисторы облучались гамма-квантами от источника Co^{60} (1,25 МэВ) в интервале флюенсов 10^5 — 10^8 Р и импульсными гамма-нейтронами в интервале флюенсов 10^{12} — 10^4 см⁻². Облучение проводили при комнатной температуре. До и после облучения при температуре 77 К измерялись спектральное распределение фоточувствительности, вольт-ваттная чувствительность S_λ и обнаружительная способность D^* фоторезисторов при различных напряжениях смещения.

На рисунке, *а* показаны спектральные зависимости распределения фото-чувствительности фоторезисторов "Планета-СФ" до и после облучения гамма-квантами.

Как видно из рисунка, смещения максимума спектральной характеристики в результате облучения не происходит, и лишь в коротковолновой области спектра наблюдается незначительное уменьшение фоточувствительности. Аналогичное изменение наблюдалось и в спектральной характеристике фоторезисторов типа "Арктур" в результате облучения гамма-квантами.



Спектральное распределение фоточувствительности фоторезисторов при 77 К до и после облучения гамма-квантами:

а — "Планета-СФ": 1 — до облучения; 2 — 10^6 Р; 3 — 10^7 Р;
б — "Вулкан": 1 — до облучения; 2 — 10^7 Р; 3 — 10^8 Р

На рисунке, *б* представлены спектральные характеристики чувствительности фоторезисторов типа "Вулкан", снятые при 77 К до и после облучения гамма-квантами с интегральным флюенсом 10^7 и 10^8 Р. Как видно из рисунка, смещения основного максимума спектральной характеристики под воздействием облучения не наблюдается. Снижение фоточувствительности фоторезисторов происходит в области коротких длин волн спектра.

В табл. 1 представлены зависимости обнаружительной и вольт-ваттной чувствительности фоторезисторов, снятых при 77 К от флюенса гамма-излучений.

Таблица 1

Флюенсы гамма-квантов	Фоторезисторы					
	"Планета-СФ"		"Арктур"		"Вулкан"	
	S_{λ} , В/Вт	D^* , см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹	S_{λ} , В/Вт	D^* , см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹	S_{λ} , В/Вт	D^* , см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹
До облучения	$8,1 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^{10}$	$4,1 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^{10}$	$1,3 \cdot 10^3$	$5,0 \cdot 10^9$
10^5 Р	$6,2 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^{10}$	$3,0 \cdot 10^3$	$5,0 \cdot 10^9$	$1,29 \cdot 10^3$	$4,8 \cdot 10^9$
10^6 Р	$4,0 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^{10}$	$1,1 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^9$	$1,25 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^9$
10^7 Р	$3,7 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^{10}$	$1,2 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^3$	$4,0 \cdot 10^9$
10^8 Р	$2,0 \cdot 10^3$	$8,0 \cdot 10^9$	$3,8 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^9$	$1,15 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^9$

Как видно из табл. 1, снижение указанных параметров фоторезисторов при температуре 77 К после флюенса 10^6 Р составляет приблизительно 13 % от исходного значения. Дальнейший рост флюенса гамма-квантов приводит к монотонному уменьшению значений обнаружительной способности фоторезисторов. Для фоторезисторов "Планета-СФ" и "Арктур" снижение парамет-

ров не больше 30 % от исходного значения и наблюдается после флюенса 10^7 Р, а при флюенсе 10^8 Р это значение достигает 70 %. У фоторезисторов типа "Вулкан" при флюенсе 10^8 Р изменение D^* составляет 30 % от начального. При этом вольт-ваттная фоточувствительность до флюенса 10^8 Р почти не меняется.

Для выяснения причин деградации основных параметров фоторезисторов в результате воздействия гамма-квантов облучению подвергались одновременно как фотоприемники в целом, так и отдельные фоточувствительные элементы, применяемые в этих изделиях. Изменения основных параметров, как готовых резисторов, так и фоточувствительных элементов, практически не отличались друг от друга. Этот факт указывает на незначительное влияние гамма-квантов на конструкционные материалы. Отсюда следует, что изменение основных параметров резисторов в основном связано с изменением свойств фоточувствительных элементов [2, 3]. Согласно работам [2, 3], незначительное уменьшение обнаружительной способности фоторезисторов и фоточувствительности в коротковолновой области спектра связано с изменением времени жизни основных носителей тока в полупроводниковом материале. Кроме того, не исключено, что незначительное уменьшение фоточувствительности в коротковолновой области спектра связано с ухудшением поверхности кристалла.

Исследуемые фоторезисторы после флюенса 10^8 Р подвергались изохронному отжигу, который проводился в электрической муфельной печи в специально протравленных, отожженных в воздухе кварцевых лодочках. Продолжительность изохронного отжига составляла 30 мин, интервал температур — 40—100 °С, каждая фаза отжига отличалась от предыдущей на 10 °С.

После каждого цикла измерялись D^* и S_{λ} фоторезисторов при 77 К. Результаты отжига показали, что дефекты, созданные гамма-квантами, носят один и тот же характер, и при 50—60 °С параметры фоторезисторов почти восстанавливаются.

Облучение импульсными нейтронами фоторезисторов типа "Планета-СФ", "Арктур" и "Вулкан" проводилось при комнатной температуре в интервале флюенсов 10^{12} — 10^{14} см⁻². В результате облучения нейтронами в спектральных характеристиках фоторезисторов значительных изменений и смещений основного максимума не наблюдалось. Однако в коротковолновой части спектра фоточувствительность несколько уменьшается. Данные о влиянии нейтронного облучения на обнаружительную способность и вольт-ваттную чувствительность для двух фоторезисторов типа "Арктур" или "Планета-СФ" (они отличаются по размерам и количеству фоточувствительных площадок) представлены в табл. 2.

Таблица 2

№ фоторезистора	$U_{см},$ мВ	До облучения		После облучения флюенсом 10^{12} см ⁻²		После облучения флюенсом 10^{13} см ⁻²	
		$S_{\lambda},$ В/Вт	$D^*,$ см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹	$S_{\lambda},$ В/Вт	$D^*,$ см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹	$S_{\lambda},$ В/Вт	$D^*,$ см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹
1	100	$2,2 \cdot 10^3$	$8,7 \cdot 10^9$	$8,1 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$9,5 \cdot 10^8$
	150	$2,6 \cdot 10^3$	$9,6 \cdot 10^9$	$8,3 \cdot 10^2$	$3,1 \cdot 10^9$	$2,9 \cdot 10^2$	$1,02 \cdot 10^9$
	200	$5,6 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^9$	$1,5 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^9$	$3,08 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^9$
2	100	$7,38 \cdot 10^3$	$9,5 \cdot 10^9$	$3,8 \cdot 10^3$	$5,5 \cdot 10^9$	$8,7 \cdot 10^2$	$3,2 \cdot 10^9$
	150	$8,34 \cdot 10^3$	$1,08 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^3$	$9,5 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^3$	$7,5 \cdot 10^9$
	200	$9,36 \cdot 10^3$	$1,25 \cdot 10^{10}$	$8,0 \cdot 10^3$	$9,8 \cdot 10^9$	$2,5 \cdot 10^3$	$3,1 \cdot 10^9$

Как видно из табл. 2, при флюенсе нейтронов 10^{13} см^{-2} значительно уменьшаются обнаружительная способность и вольт-ваттная чувствительность фоторезисторов типа "Арктур" и "Планета-СФ". В некоторых случаях изменение указанных параметров превышает 30 %.

В табл. 3 показаны изменения S_λ и D^* при различных смещениях напряжения для пяти фоторезисторов типа "Вулкан" до и после облучения нейтронами.

Таблица 3

№ фото-резистора	$U_{см}, \text{ мВ}$	До облучения		После облучения флюенсом 10^{13} см^{-2}		После облучения флюенсом 10^{14} см^{-2}	
		$S_\lambda, \text{ В/Вт}$	$D^*, \text{ см}\cdot\text{Гц}^{1/2}\cdot\text{Вт}^{-1}$	$S_\lambda, \text{ В/Вт}$	$D^*, \text{ см}\cdot\text{Гц}^{1/2}\cdot\text{Вт}^{-1}$	$S_\lambda, \text{ В/Вт}$	$D^*, \text{ см}\cdot\text{Гц}^{1/2}\cdot\text{Вт}^{-1}$
1	100	$2,9\cdot 10^3$	$1,35\cdot 10^{10}$	—	—	$1,57\cdot 10^3$	$9\cdot 10^9$
	150	$5,65\cdot 10^3$	$2,02\cdot 10^{10}$	—	—	$3,5\cdot 10^3$	$9,5\cdot 10^9$
	200	$6,97\cdot 10^3$	$2,02\cdot 10^{10}$	—	—	$2,93\cdot 10^3$	$1,13\cdot 10^{10}$
2	100	$2,02\cdot 10^3$	$4,7\cdot 10^9$	—	—	$1,0\cdot 10^3$	$2,1\cdot 10^9$
	150	$3,73\cdot 10^3$	$7,5\cdot 10^9$	—	—	$1,5\cdot 10^3$	$4,2\cdot 10^9$
	200	$5,13\cdot 10^3$	$8,5\cdot 10^9$	—	—	$1,29\cdot 10^3$	$3,8\cdot 10^9$
3	100	$2,03\cdot 10^3$	$1,6\cdot 10^{10}$	$1,02\cdot 10^3$	$4,7\cdot 10^9$	—	—
	150	$3,05\cdot 10^3$	$9,8\cdot 10^9$	$1,1\cdot 10^3$	$4,7\cdot 10^9$	—	—
4	100	$2,14\cdot 10^3$	$1,6\cdot 10^{10}$	$8,01\cdot 10^2$	$3,41\cdot 10^9$	—	—
	150	$3,38\cdot 10^3$	$1,6\cdot 10^{10}$	$9,86\cdot 10^2$	$3,31\cdot 10^9$	—	—
5	100	$3,16\cdot 10^3$	$2,03\cdot 10^{10}$	$1,02\cdot 10^3$	$4,7\cdot 10^9$	—	—
	150	$5,07\cdot 10^3$	$7,78\cdot 10^{10}$	$1,1\cdot 10^3$	$4,3\cdot 10^{10}$	—	—

Как следует из табл. 3, изменение S_λ и D^* для фоторезистора "Вулкан" при флюенсах 10^{13} и 10^{14} см^{-2} превышает 30 %. По сравнению с фоторезисторами типа "Арктур" и "Планета-СФ" фоторезисторы типа "Вулкан" являются более радиационно стойкими и рекомендуются для работы в условиях повышенной радиации.

В результате облучения гамма-квантами с большими флюенсами (10^8 Р) токопроводные выводы из материала марки МСЭ-16-13 почернели и вышли из строя. В остальных конструкционных материалах изменений не обнаружено. Наконец, следует отметить что, по всей вероятности, повышенная радиационная стойкость фоторезисторов типа "Вулкан" связана с технологией изготовления фоторезисторов. Эти фоторезисторы по технологии изготавливаются с высокими контактами, что и является их основным отличием от фоторезисторов типа "Арктур" и "Планета-СФ".

Таким образом, проведенные исследования показали, что указанные фоторезисторы могут быть успешно использованы в условиях повышенной радиации.

Литература

1. Алиев К. А., Ахмед-заде К. А., Гусейнов Э. К., Казиев Ф. Н., Салаев Э. Ю., Сеидли Г. С.// Вопросы оборонной техники, 1984. Сер. XI. Вып. 3 (94). С. 17—19.
2. Заитов Ф. А., Горщикова О. В. и др. Влияние различных видов облучения на электрофизические свойства $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ ($x = 0,2$)/Полупроводники с узкой запрещенной зоной и полуметаллы. — г. Львов: Высшая шк., 1980. Ч. 1. С. 59—61.
3. Заитов Ф. А., Андерсон Г. Ю., Другова А. А., Сузов Е. В.//ВОТ, 1982. Сер. XI. Вып. 3 (86). С. 43—46.

Influence of the ionizing irradiation on the basic characteristics of cooled photoresistors on the $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ basis

E. Yu. Salayev, D. Sh. Abdinov, K. A. Askerov

Institute of Photoelectronics of the Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

The influence of the ionizing irradiation of different kind on the basic parameters, elements, designs and constructional materials of photoreceivers on the basis of $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ solid solution have been investigated. It is established, that the change of the basic parameters of the photoresistors is mainly connected with the change of properties of photosensitive elements. It has been shown that these photoreceivers may be used for operating under high irradiation conditions.