

## ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОХЛАЖДАЕМЫХ ФОТОРЕЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ $Cd_xHg_{1-x}Te$

К.А. АСКЕРОВ

Институт Фотозлектроники АН Азербайджана

370141, г. Баку, ул. Ф. Агаева, 555 квартал

Статья посвящена результатам исследования влияния ионизирующего излучения 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 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.

Целью настоящего исследования являлось 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 фотозлектрические 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 были изготовлены по планарной технологии и состояли из следующих узлов и деталей: блока ФЧЭ, держателя, электрических выводов, теплоизолирующего сосуда, блока предварительных усилителей со вторичным источником питания и микротеплообменника [1].

Фоторезисторы облучались гамма-квантами от источника  $Co^{60}$  (1,25 МэВ) в интервале флюенсов  $10^5+10^8$  P и импульсными гамма-нейтронами в интервале флюенсов  $10^{12}+10^8$  см<sup>-2</sup>. Облучение проводилось при комнатной температуре. До и после облучения при температуре 77 К измерялось спектральное распределение фоточувствительности, вольт-ваттная чувствительность ( $S_1$ ) и обнаружительная способность ( $D^*$ ) фоторезисторов при раз-

личных напряженных смещения.

На рис. 1 показаны спектральные зависимости распределения фоточувствительности фоторезисторов "Планета-СФ" до и после облучения гамма-квантами.

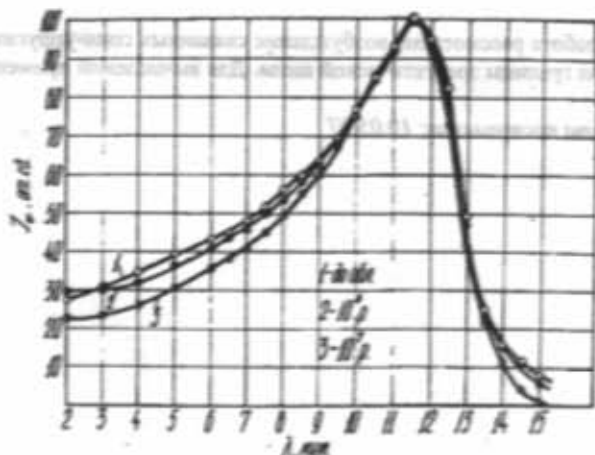


Рис. 1. Спектральное распределение фоточувствительности фоторезисторов "Планета-СФ" при 77 К до и после облучения гамма-квантами.

Как видно из рисунка, смещение 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.

На рис.2 представлены спектральные характеристики чувствительности фоторезисторов типа "Вулкан", снятые при 77 К до и после облучения гамма-квантами с интегральным флюенсом  $10^7$  и  $10^8$  P. Как видно из рисунка, смещение основного максимума спектральной характеристики под воздействием облучения не наблюдается. Снижение фоточувствительности фоторезисторов происходит в области коротких длин волн спектра.

На таблице 1 представлены зависимости обнаружительной и вольт-ваттной чувствительности фоторезисторов снятых при 77 К от флюенса гамма излучений.

Таблица 1.

Фоторезисторы	"Планета-СФ"		"Арктур"		"Вулкан"	
	$S_2$ В/Вт	$D^*$ $\text{см}^2 \text{и}^{12}\text{Br}^{-1}$	$S_2$ В/Вт	$D^*$ $\text{см}^2 \text{и}^{12}\text{Br}^{-1}$	$S_2$ В/Вт	$D^*$ $\text{см}^2 \text{и}^{12}\text{Br}^{-1}$
До облучен.	$8,1 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^{10}$	$4,1 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^{10}$	$1,3 \cdot 10^3$	$5,0 \cdot 10^9$
$10^5 \text{ P}$	$6,2 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^{10}$	$3,0 \cdot 10^3$	$5,0 \cdot 10^9$	$1,29 \cdot 10^3$	$4,8 \cdot 10^9$
$10^6 \text{ P}$	$4,0 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^{10}$	$1,1 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^9$	$1,25 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^9$
$10^7 \text{ P}$	$3,7 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^{10}$	$1,2 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^3$	$4,0 \cdot 10^9$
$10^8 \text{ P}$	$2,0 \cdot 10^3$	$8,0 \cdot 10^9$	$3,8 \cdot 10^2$	$1,7 \cdot 10^9$	$1,15 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^9$

Как видно из таблицы 1, снижение указанных параметров фоторезисторов при температуре 77 К после флюенса  $10^6 \text{ P}$  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 параметров не больше 30 % от исходного значения и наблюдается после флюенса  $10^7 \text{ P}$ , а при флюенсе  $10^8 \text{ P}$  это значение достигает 70 %. У фоторезисторов типа "Вулкан" при флюенсе  $10^8 \text{ P}$  изменение  $D^*$  составляет 30 % от начального. При этом вольт-ваттная фоточувствительность до флюенса  $10^8 \text{ P}$  почти не меняется.

тальной 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  $10^8 \text{ P}$  подвергались изохронному отжигу, который проводился в электрической муфельной печи в специально протравленных, отожженных в воздухе кварцевых лодочках. Продолжительность изохронного отжига составляла 30 минут, интервал температур 40-100°C, каждая фаза отжига отличалась от предыдущей на 10°C.

После каждого цикла измерялись  $D^*$  и  $S_2$  фоторезисторов при 77 К. Результаты отжига показали, что дефекты, созданные гамма-квантами, носят один и тот же характер, и при 50-60°C параметры фоторезисторов почти восстанавливаются.

Облучение импульсными нейтронами фоторезисторов типа "Планета-СФ", "Арктур", и "Вулкан" проводилось при комнатной температуре в интервале флюенсов  $10^{12}$ - $10^{14} \text{ см}^{-2}$ . В результате облучения нейтронами в спектральных характеристиках фоторезисторов значительных изменений и смещений основного максимума не наблюдалось. Однако, в коротковолновой части спектра фоточувствительность несколько уменьшается. Влияние 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 таблице 2.

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

В таблице 3 показаны изменения  $S_2$  и  $D^*$  при различных смещениях напряжения для 5 фоторезисторов типа "Вулкан" до и после облучения нейтронами.

Как следует из таблицы 3, изменение  $S_2$  и  $D^*$  для фоторезисторов "Вулкан" при флюенсах  $10^{13}$  и  $10^{14} \text{ см}^{-2}$  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.

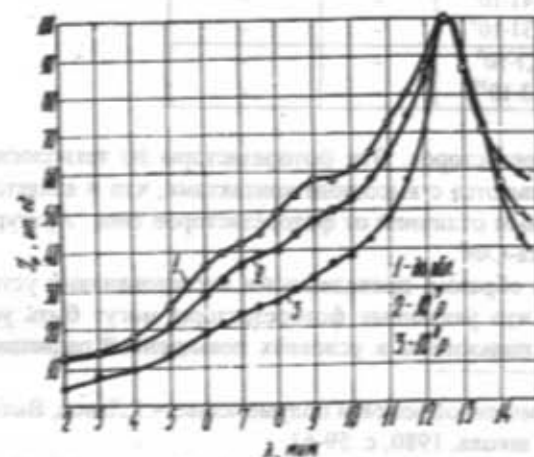


Рис. 2. Спектральные характеристики фоточувствительности фоторезисторов типа "Вулкан" при 77 К до и после облучения гамма-квантами

Для выяснения причин деградации основных параметров фоторезисторов в результате воздействия гамма-квантов облучения 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 (корпус, просветленные германиевые окна, токопроводы и т.д.). Отсюда следует, что изменение основных параметров фоторезисторов, в основном, связано с изменением свойств фоточувствительных элементов [2,3]. Согласно работам [2,3], незначительное уменьшение обнаружи-

Таблица 2.

№/№ фр	U <sub>см</sub> мВ	До облучения		После облучения флюенсом 10 <sup>13</sup> см <sup>-2</sup>		После облучения флюенсом 10 <sup>14</sup> см <sup>-2</sup>	
		S <sub>1</sub> В/Вт	D <sup>1</sup> смГц <sup>1/2</sup> Вт <sup>-1</sup>	S <sub>1</sub> В/Вт	D <sup>1</sup> смГц <sup>1/2</sup> Вт <sup>-1</sup>	S <sub>1</sub> В/Вт	D <sup>1</sup> смГц <sup>1/2</sup> Вт <sup>-1</sup>
1	100	2,2·10 <sup>3</sup>	8,7·10 <sup>9</sup>	8,1·10 <sup>2</sup>	2,5·10 <sup>2</sup>	2,5·10 <sup>2</sup>	9,5·10 <sup>9</sup>
	150	2,6·10 <sup>3</sup>	9,6·10 <sup>9</sup>	8,3·10 <sup>2</sup>	3,1·10 <sup>9</sup>	2,9·10 <sup>2</sup>	1,02·10 <sup>9</sup>
	200	5,6·10 <sup>3</sup>	1,2·10 <sup>10</sup>	1,5·10 <sup>3</sup>	4,3·10 <sup>9</sup>	3,08·10 <sup>2</sup>	7,1·10 <sup>9</sup>
2	100	7,38·10 <sup>3</sup>	9,5·10 <sup>9</sup>	3,8·10 <sup>2</sup>	5,5·10 <sup>9</sup>	8,7·10 <sup>2</sup>	3,2·10 <sup>9</sup>
	150	8,34·10 <sup>3</sup>	1,08·10 <sup>10</sup>	4,3·10 <sup>2</sup>	9,5·10 <sup>9</sup>	1,0·10 <sup>2</sup>	7,5·10 <sup>9</sup>
	200	9,36·10 <sup>3</sup>	1,25·10 <sup>10</sup>	8,0·10 <sup>2</sup>	9,8·10 <sup>9</sup>	2,5·10 <sup>2</sup>	3,1·10 <sup>9</sup>

Таблица 3.

№/№ фр	U <sub>см</sub> мВ	До облучения		После облучения флюенсом 10 <sup>13</sup> см <sup>-2</sup>		После облучения флюенсом 10 <sup>14</sup> см <sup>-2</sup>	
		S <sub>1</sub> В/Вт	D <sup>1</sup> смГц <sup>1/2</sup> Вт <sup>-1</sup>	S <sub>1</sub> В/Вт	D <sup>1</sup> смГц <sup>1/2</sup> Вт <sup>-1</sup>	S <sub>1</sub> В/Вт	D <sup>1</sup> смГц <sup>1/2</sup> Вт <sup>-1</sup>
1	100	2,9·10 <sup>3</sup>	1,35·10 <sup>10</sup>	-	-	1,57·10 <sup>3</sup>	9·10 <sup>9</sup>
	150	5,65·10 <sup>3</sup>	2,02·10 <sup>10</sup>	-	-	3,5·10 <sup>3</sup>	9,5·10 <sup>9</sup>
	200	6,97·10 <sup>3</sup>	2,02·10 <sup>10</sup>	-	-	2,93·10 <sup>3</sup>	1,13·10 <sup>10</sup>
2	100	2,02·10 <sup>3</sup>	4,7·10 <sup>9</sup>	-	-	1,0·10 <sup>3</sup>	2,1·10 <sup>9</sup>
	150	3,73·10 <sup>3</sup>	7,5·10 <sup>9</sup>	-	-	1,5·10 <sup>3</sup>	4,2·10 <sup>9</sup>
	200	5,13·10 <sup>3</sup>	8,5·10 <sup>9</sup>	-	-	1,29·10 <sup>3</sup>	3,8·10 <sup>9</sup>
3	100	2,03·10 <sup>3</sup>	1,6·10 <sup>10</sup>	1,02·10 <sup>3</sup>	4,7·10 <sup>9</sup>	-	-
	150	3,05·10 <sup>3</sup>	9,8·10 <sup>9</sup>	1,1·10 <sup>3</sup>	4,7·10 <sup>9</sup>	-	-
4	100	2,14·10 <sup>3</sup>	1,6·10 <sup>10</sup>	8,01·10 <sup>2</sup>	3,41·10 <sup>9</sup>	-	-
	150	3,38·10 <sup>3</sup>	1,6·10 <sup>10</sup>	9,86·10 <sup>2</sup>	3,31·10 <sup>9</sup>	-	-
5	100	3,16·10 <sup>3</sup>	2,03·10 <sup>10</sup>	1,02·10 <sup>3</sup>	4,7·10 <sup>9</sup>	-	-
	150	5,07·10 <sup>3</sup>	7,78·10 <sup>10</sup>	1,1·10 <sup>3</sup>	4,3·10 <sup>10</sup>	-	-

В результате облучения гамма-квантами с большими флюенсами (10<sup>14</sup> Р) токопроводящие 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, проведенными исследованиями установлено, что указанные фоторезисторы могут быть успешно использованы в условиях повышенной радиации.

- [1] К.А. Азиев, К.А. Ахмед-заде, Э.К. Гусейнов, Ф.Н. Казиев, Э.Ю. Сатаев, Г.С. Сеидли. Вопросы оборонной техники, 1984, сер. XI, вып. 3 (94), с. 17-19.
- [2] Ф.А. Заитов, О.В. Горихова и др. Влияние различных видов облучения на электрофизические свойства Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te (x=0,2). Сб. Полупроводники с узкой

- запрещенной зоной и полуметаллы, ч.1. Львов, Высшая школа, 1980, с. 59-61.
- [3] Ф.А. Заитов, Г.Ю. Андерсон, А.А. Другова, Е.В. Сулейманов. Вопросы оборонной техники, 1982, сер. XI, вып. 3(86), с. 43-46.

К.Ә. Әсқаров

**Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te ƏSASINDA SOYUDULAN FOTOREZİSTORUN ƏSAS XARAKTERİSTİKALARINA İONLAŞDIRICI ŞÜALARIN TƏSİRİ**

Məqalədə Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te bərk məhlulu əsasında hazırlanmış fotoqəbulədicilərin əsas xassələrinə, konstruksiya və konstruksiya materiallarına müxtəlif növ ionlaşdırıcı şüaların təsiri tədqiq edilmişdir. Qeyd edilmişdir ki, fotoqəbulədicilərin əsas parametrlərinin dəyişməsi onun əsas elementinin xassələrinin dəyişməsi ilə əlaqədardır. Tədqiq edilmiş fotoqəbulədicilərin ionlaşdırıcı şüalara qarşı davamlılıq təymin edilmiş və onların yüksək radiasiya şəraitində işlədilmək üçün yararlı olduğu göstərilmişdir.

К.А. Аскеров

**THE INFLUENCE OF IONIZING RADIATION ON THE MAIN CHARACTERISTICS OF THE COOLED PHOTORESISTORS ON THE BASE OF Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te**

The influence of the ionizing radiation of different kind on the main parameters, elements, construction materials of photoreceivers on the base of Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te have been investigated. It is established that the variations of photoreistor main parameters are mainly connected

with variations of the properties of photosensitive elements. The forecasting data on the radiation resistance was obtained and recommendations for their operations under high-irradiation conditions are given.

Дата поступления: 10.09.97

Редактор: Д.Ш. Абдиев

Б.Г. ТАГИЕВ, И.Н. МУСАЕВА  
Институт Физики АН Азербайджана  
370143, Баку, ул. Т.Алиева, 11

Известно, что фоторезисторы являются чувствительными элементами в системах автоматического управления и телеметрических системах. В настоящее время фоторезисторы используются в качестве датчиков температуры в системах автоматического управления и телеметрических системах. В настоящее время фоторезисторы используются в качестве датчиков температуры в системах автоматического управления и телеметрических системах. В настоящее время фоторезисторы используются в качестве датчиков температуры в системах автоматического управления и телеметрических системах.

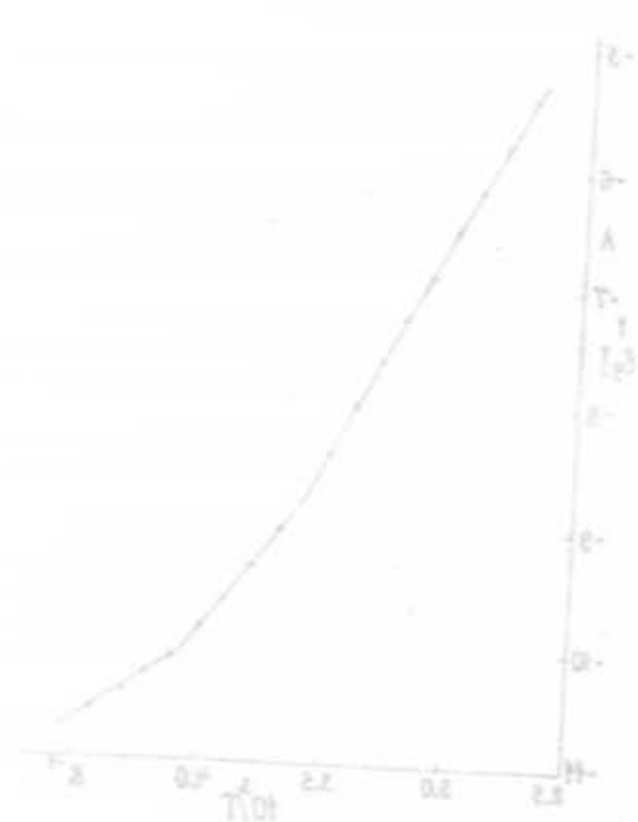


Рис. 1. Температурная зависимость тока и напряжения на фоторезисторе PbO<sub>2</sub> при облучении.

Анализ температурных характеристик фоторезисторов PbO<sub>2</sub> в структуре PbO<sub>2</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> показал, что в структуре PbO<sub>2</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> в момент облучения ток фоторезистора увеличивается. В момент облучения ток фоторезистора увеличивается. В момент облучения ток фоторезистора увеличивается. В момент облучения ток фоторезистора увеличивается.

Создание фоторезисторов PbO<sub>2</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> является актуальной задачей, так как фоторезисторы являются чувствительными элементами в системах автоматического управления и телеметрических системах. В настоящее время фоторезисторы используются в качестве датчиков температуры в системах автоматического управления и телеметрических системах. В настоящее время фоторезисторы используются в качестве датчиков температуры в системах автоматического управления и телеметрических системах.

Известно, что фоторезисторы являются чувствительными элементами в системах автоматического управления и телеметрических системах. В настоящее время фоторезисторы используются в качестве датчиков температуры в системах автоматического управления и телеметрических системах. В настоящее время фоторезисторы используются в качестве датчиков температуры в системах автоматического управления и телеметрических системах.