

## Фотоприемники с термоэлектрическим охлаждением на область спектра 3–5 и 10–12 мкм

Б. Ш. Бархалов

Институт фотоэлектроники НАН Азербайджана, Баку, Республика Азербайджан

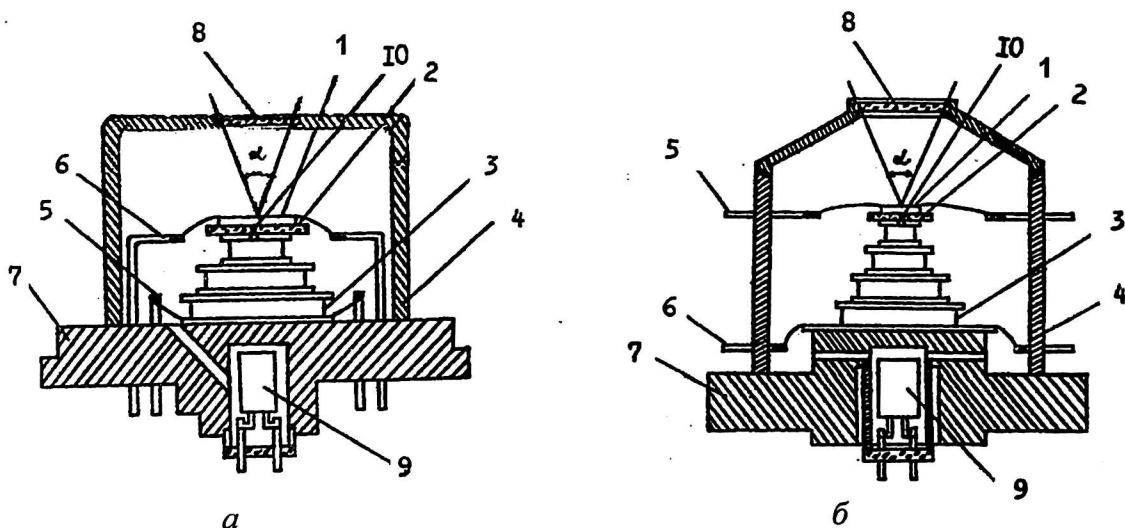
*Разработаны, изготовлены и исследованы фотоприемники с термоэлектрическим охладителем (ТЭО) на рабочую область спектра 3–5 мкм (IFE-1) и 10–12 мкм (IFE-2). В качестве материала для фоточувствительных элементов (ФЧЭ) использовались монокристаллы твердых растворов кадмий–ртуть–теллур определенных составов. Испытания показали, что фотоприемники устойчивы к вибрации в диапазоне частот от 10 до 2500 Гц при ускорении до 10 g, многократным ударам при нагрузке до 15 g и длительности ударного импульса 1–5 мс, одиночному удару при пиковом ускорении 100 g и длительности импульса 0,1–2 мс.*

Повышение рабочих температур полупроводниковых охлаждаемых приемников излучения позволяет существенно улучшить массогабаритные и стоимостные характеристики фотоприемных устройства, упростить конструкцию и облегчить условия эксплуатации и тем самым значительно расширить сферу их применения. Эти преимущества особенно наглядно проявляются при использовании для охлаждения ФЧЭ ТЭО, которые при температурах теплопоглощающей поверхности не ниже  $\sim 190$  К характеризуются высокими значениями коэффициента полезного действия и малым весом [1].

Нами разработаны, изготовлены и испытаны конструкции фотоприемников с ТЭО на рабочую область спектра 3–5 и 10–12 мкм. Конст-

рукции разработанных и изготовленных нами ИК-приемников на область спектра 3–5 мкм (IFE-1) и 10–12 мкм (IFE-2) представлены на рисунке.

Чувствительные элементы на подложках из лейкосапфира приклеены эпоксидным компаундом к теплопоглощающим площадкам (холодным спаям) термоэлектрических охладителей. Охлаждение чувствительных элементов до рабочей температуры 196–205 К осуществляется с помощью трех- или четырехкаскадного ТЭО. Предусмотрена возможность непрерывного контроля температуры охлаждения ФЧЭ с помощью терморезистора 10, приклеенного к охлаждающей площадке ТЭО.



Конструкции фотоприемников с термоэлектрическим охлаждением на область спектра 3–5 мкм IFE-1 (а) и 10–12 мкм IFE-2 (б):

1 — ФЧЭ; 2 — подложка из лейкосапфира; 3 — термоэлектрический охладитель (ТЭО); 4 — колпак (крышка); 5 — гермоводы ФЧЭ; 6 — гермоводы питания ТЭО; 7 — цоколь; 8 — входное окно; 9 — газопоглотитель; 10 — терморезистор

Колпаки (крышки), герметизирующие объемы фотоприемников, в которых расположены ФЧЭ с ТЭО, приварены к цоколям электронно-лучевой сваркой. В состав колпаков входят входные окна, изготовленные из просветленной германиевой пластины диаметром 16 мм и толщиной 0,5 мм.

Система тоководов фотоприемника IFE-1 на диапазон 3—5 мкм (см. рисунок, а) включает в себя цоколь 7, выполненный из сплава 29НК (ковар) со стеклянно-металлическими гермовводами 5 для ФЧЭ и 6 — для подвода тока питания ТЭО.

В конструкции фотоприемника IFE-2 на диапазон спектра 10—12 мкм (см. рисунок, б) для улучшения сброса тепла с горячих спаев ТЭО цоколь выполнен из меди с последующим никелированием поверхности в виде массивной детали с развитой поверхностью. В отличие от конструкции IFE-1, в состав цоколя не входят стеклометаллические вводы, что обеспечивает минимальное тепловое сопротивление, а следовательно, более благоприятные условия для сброса тепла с тепловыделяющей поверхности (с горячих спаев) ТЭО. С другой стороны, перемещение стеклометаллических гермовводов 5 и 6 из горячей зоны на боковую поверхность колпака, изготовленного из сплава 29НК (ковар) со сравнительно низкой теплопроводностью создаст благоприятные условия для сведения к минимуму паразитных теплопритоков по этим конструктивным элементам к ФЧЭ.

Внутренняя полость фотоприемников вакуумирована. Использование в конструкциях газопоглотителя (геттера) 9, поглощающего оставшиеся после откачки газы, дает возможность поддерживать в рабочем объеме фотоприемников в течение всего срока его службы давление остаточных газов не выше  $10^{-3}$  Па, что позволяет стабилизировать фотоэлектрические характеристики фотоприемников. В разработанных нами фотоприемниках применен нераспыляемый титановый геттер ПНТ-2.

ТЭО и другие конструктивные элементы тщательно очищали путем их отмывания в ультразвуковых ваннах, подвергали предварительному отжигу при 393 К и финишному — при 333 К. Длительность как предварительного, так и финишного отжига составляла ~150 ч, давление в откачной системе —  $10^{-5}$ — $10^{-6}$  Па. Все эти принятые технологические меры позволили стабилизировать параметры фотоприемника на исходном уровне в течение всего срока службы и предотвратить их деградацию в процессе эксплуатации.

В качестве ФЧЭ использовали монокристаллы твердых растворов кадмий—ртуть—теллур (КРТ).

Диапазон изменения ширины запрещенной зоны от 0 до 1,6 эВ для кристаллов  $Cd_xHg_{1-x}Te$  ( $0 < x < 1$ ) при изменении  $x$ , наряду с характерными для этого материала малыми значениями эффективных масс носителей заряда и большими значениями подвижности электронов, позволяет получать высокоэффективные детекторы, работающие в широком интервале длин волн от 1 до 30 мкм [2—3].

Фоточувствительные элементы обоих типов фотоприемников с ТЭО выполнены в планарном исполнении с применением методов фотолитографии для создания необходимой топологии чувствительных элементов.

Фоточувствительный элемент фотоприемника IFE-1 на диапазон 3—5 мкм (см. рисунок, а) представляет собой одноэлементный фоторезистор с размерами приемной площадки  $1,0 \times 1,0$  мм<sup>2</sup> из монокристаллических образцов состава  $x = 0,28$ — $0,30$  толщиной ~20 мкм.

Исходные образцы КРТ имели  $n$ -тип проводимости с концентрацией электронов  $(0,3$ — $1,0) \cdot 10^{14}$  см<sup>-3</sup> при 77 К. При температуре 200 К такой материал имеет собственную проводимость с концентрацией носителей заряда  $n_i = 1 \cdot 10^{15}$  см<sup>-3</sup>.

Исследование температурных зависимостей времени жизни  $\tau$  неосновных носителей заряда в кристаллах  $Cd_xHg_{1-x}Te$  с  $x = 0,28$ — $0,30$  показало, что  $\tau$  имеет максимум в области температур 200—210 К. Это позволило использовать для охлаждения ФЧЭ трехкаскадный ТЭО, обеспечивающий необходимый температурный уровень охлаждения ~205 К при температуре окружающей среды 300 К.

Фоточувствительные элементы после отбора по фотоэлектрическим параметрам монтировали в рабочий корпус прибора с встроенным трехкаскадным ТЭО. К контактным областям ТЭО припаивали тоководы — золотые или никелевые проволоки диаметром 30 мкм. После распайки контактов производили защиту поверхности ФЧЭ путем пассивации поверхности элемента в плазме высокочастотного разряда с последующим нанесением на нее слоя сульфида цинка толщиной ~1 мкм методом ионно-термического испарения [4].

После откачки рабочего объема и герметизации корпуса измеряли фотоэлектрические параметры фотоприемника. Величина удельной обнаружительной способности на длине волны  $\lambda = 4,5$  мкм составила  $D_{\lambda \max}^* \geq 1 \cdot 10^{10}$  см·Гц<sup>1/2</sup>·Вт<sup>-1</sup>, темновое сопротивление — в пределах  $R = 400$ — $1000$  Ом, время выхода прибора на режим — 120 с, ток питания ТЭО — 2,0—2,2 А, потребляемая мощность ТЭО — 4,0—4,4 Вт. Постоянная времени фотоприемника, определенная из спада

кривых релаксации, оказалась равной  $\sim 10^{-6}$  с.

Фотоувствительный элемент фотоприемника на диапазон 10–12 мкм (см. рисунок, б) представляет собой одноэлементный фоторезистор размерами  $4,0 \times 4,0$  мм<sup>2</sup> из монокристаллов  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  ( $x = 0,19-0,21$ )  $p$ -типа проводимости с концентрацией дырок  $p = (1-3) \cdot 10^{16}$  см<sup>-3</sup> при 77 К. При температуре 200 К проводимость таких образцов остается примесной (слабый  $p$ -тип). Необходимо отметить, что в работе [4] на основании анализа экспериментальных данных и теоретического изучения вопроса выяснено, что фоторезисторы на основе КРТ более многообещающи, чем фотодиоды для работы в диапазоне 8–12 мкм при температуре  $\sim 200$  К.

В отличие от фоторезистора на диапазон 3–5 мкм, учитывая малую величину удельного сопротивления используемого полупроводникового материала ( $\rho < 0,1$  Ом·см), приемная площадка ФЧЭ выполнена в виде "меандра" с зазорами между площадками  $\sim 50$  мкм. Такое конструктивное исполнение позволяет при одинаковой рассеиваемой тепловой мощности увеличить вольтовую чувствительность по сравнению с обычным фоторезистором такой же площади.

Исследование спектральных характеристик ФЧЭ показало, что с повышением температуры вследствие увеличения ширины запрещенной зоны используемого состава КРТ максимум спектральной чувствительности сдвигается от 16–17 мкм при 80 К до 10–15 мкм — при 200 К [6]. Для охлаждения чувствительного элемента фотоприемника IFE-2 на диапазон 10–12 мкм нами был использован четырехкаскадный ТЭО, позволяющий поддерживать температуру ФЧЭ на уровне  $\sim 196$  К при температуре окружающей среды 300 К. Для разработанного фотоприемника величина удельной обнаружительной способности на длине  $\lambda = 10,6$  мкм составила  $D^*_{\lambda_{\max}} \geq 2 \cdot 10^9$  см·Гц<sup>1/2</sup>·Вт<sup>-1</sup>, темновое сопротивление —  $R = 100-150$  Ом, время выхода прибора на режим — 150 с, ток питания ТЭО — 2,0–2,2 А, потребляемая мощность ТЭО — 8–10 Вт. Постоянная времени фотоприемника, определенная из амплитудно-частотных характеристик, менее  $10^{-6}$  с.

Для оценки надежности конструкций разработанных нами фотоприемников с встроенным

термоэлектрическим охладителем было исследовано влияние внешних факторов — вибрации, многократных и одиночных ударов, тепла и холода, резкой смены температур — на параметры фотоприемников. Испытания показали, что фотоприемники устойчивы к вибрации в диапазоне частот 10–2500 Гц при ускорении до 10  $g$ , многократным ударам при нагрузке до 15  $g$  и длительности ударного импульса 1–5 мс (общее число ударов 12 000), одиночному удару при пиковом ускорении 100  $g$  и длительности импульса 0,1–2 мс (общее число ударов 9). Дополнительно проводили испытание на воздействие линейного (продольного) ускорения до 100  $g$  при длительности воздействия не менее 10 с.

После проведения испытаний каких-либо повреждений чувствительного элемента и контактной системы, как и всего прибора в целом, не наблюдалось.

#### Основные параметры фотоприемников

	IFE-1	IFE-2
Рабочая область спектра, $\Delta\lambda$ , мкм	3–5	10–12
$\lambda_{\max}$ , мкм	4,5	10,6
Обнаружительная способность <sup>*</sup> , $D^*_{\lambda_{\max}}$ , см·Гц <sup>1/2</sup> ·Вт <sup>-1</sup>	$1 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^9$
Быстродействие, с	$10^{-6}$	$10^{-6}$
Размеры ФЧЭ, мм <sup>2</sup>	1×1	4×4
Темновое сопротивление, Ом	0,4–1,0	0,10–0,15
Рабочая температура, К	205–210	196–200
Время выхода в режим ТЭО, с	120	150
Ток питания ТЭО, А	2,0–2,2	2,0–2,2
Мощность ТЭО, Вт	4,0–4,4	8–10

\* Измерения проводились на частоте 1200 Гц.

#### Литература

1. Анатыхук Л. И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: Справочник. — Киев: Наукова думка. 1979.
2. Dornhaus R., Nimitz G. The properties and application of the HgTe alloy system// Narrow gap semiconductors. Berlin. 1983. P. 119–281.
3. Elliot C. T. CdHgTe Infrared detectors// J. Cryst. Growth. 1985. V. 72. № 1–2. P. 434–461.
4. Nemirovsky Y., Gosten R. Plasma anodization of  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ // Appl. Phys. Lett. 1980. V. 37. № 9. P. 813–817.
5. Capocci F. A., Harkere A. T. et al. Thermoelectrically cooled CdTe detectors of CO<sub>2</sub> laser radiation: Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Conf. Adv. IR Detect. and Systems, London, 26–28 Oct., 1983. N-Y. 1983. P. 40–44.
6. Chu J., Xu S., Tang D. Energy gap versus alloy composition and temperature in  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  // Appl. Phys. Lett. 1983. V. 43. № 11. P. 1064–1066.

## Photoreceivers with thermoelectric coolers for 3–5 and 10–12 $\mu\text{m}$ spectral region

*B. Sh. Barkhalov*

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

*It have been designed, manufactured and tested the photoreceivers for a spectral region 3–5  $\mu\text{m}$  (IFE-1) and 10–12  $\mu\text{m}$  (IFE-2) with a built-in thermoelectric coolers. As a material for photosensitive elements single crystals of cadmium–mercury–tellurium solid solution of certain compositions were used. The testing have shown, that the photoreceivers are inconvertible against vibration in a frequency band from 10 up to 2500 Hz at acceleration up to 10 g, repeated shocks at a loading up to 15 g and duration of a shock impulse from 1 up to 5  $\mu\text{s}$ , single shock at peak acceleration 100 g and pulse length 0,1–2  $\mu\text{s}$ .*