

УДК 621.52:621.383.45:546.48'49'24

ВАКУУМНЫЕ ФОТОПРИЕМНИКИ ДЛЯ ДИАПАЗОНА 8—12 МКМ НА ОСНОВЕ ФОТОРЕЗИСТОРОВ ИЗ CdHgTe

Ю. С. Трошкин, А. В. Филатов, В. С. Алексеевичева, А. В. Гусаров,
А. П. Коршунова, Г. Э. Поповян, О. П. Посевин

Государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение «Орион»»,
Москва, Россия

Дано описание конструкции и характеристики вакуумных фоторезисторов из CdHgTe для спектрального диапазона 8—12 мкм, охлаждаемых с помощью просельных микротеплообменников и газовых криогенных машин, работающих по обратному циклу Стирлинга.

Повышение требований к тепловизионным приборам на основе фоторезисторов в части потребляемой мощности, массы и габаритов привело к необходимости создания фотоприемников с уменьшенными теплопритоками по конструкции и пониженным тепловыделением фоточувствительных элементов. Обеспечить такие требования могут вакуумная конструкция фотоприемников (ФП), специально разработанная технология и конструкция блока фоточувствительных элементов (ФЧЭ).

Принципиальная конструкция разработанных вакуумных ФП представлена на рис. 1. Основными ее узлами являются: блок фоточувствительного элемента, держатель, система токовыводов, колпак с выходным окном из просветленного германия, герметизирующий внутренний объем фотоприемника и гетеронасосы. Данная конструкция разрабатывалась для двух типов приемников: с диаметром внутреннего колодца держателя 6 и 12 мм.

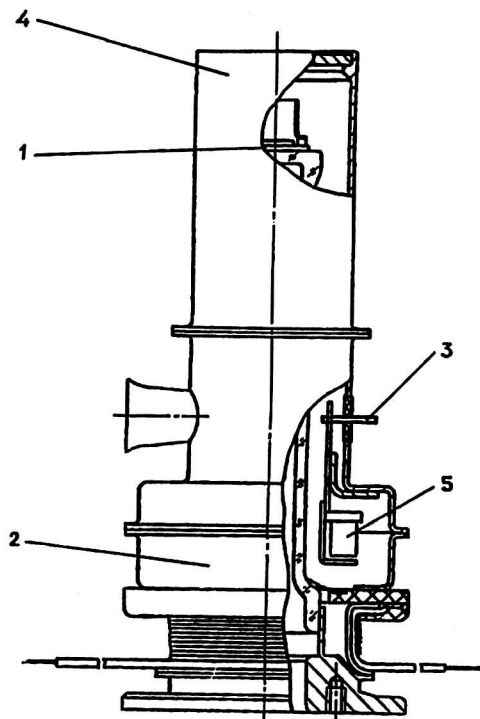


Рис. 1. Конструкция вакуумного фотоприемника:

1 — блок фоточувствительного элемента; 2 — держатель; 3 — система токовыводов;
4 — колпак; 5 — гетеронасосы

Блок фоточувствительного элемента состоит из фоточувствительных элементов на контактном растре, позволяющем осуществлять разварку электрических выводов от фоточувствительных элементов к внутренним выводам держателя фотоприемника. На растре размещаются также два датчика температуры на основе кремниевого обратно смещенного диода и охлаждаемая диафрагма с фильтром из просветленного антимонида индия, которая обеспечивает требуемый плоский угол зрения и отсекает излучение в спектральном диапазоне до 5 мкм (оптический фильтр разработан Ю. А. Глебовым). ФЧЭ состоит из двух линеек с количеством элементов до 48 в каждой линейке (2x48, 2x16) или одной линейки с 26 элементами (1x26). Чувствительные площадки имеют размеры 35x35 или 50x50 мкм, расстояние между осями линеек 150 мкм, шаг 70 и 100 мкм, соответственно. Для ФЧЭ 1x26 размер площадки 50x50 мкм, шаг 62 мкм. Использовалась конструкция ФЧЭ с "теневыми контактами" аналогично [1, 2]. Исходные пластины CdHgTe имели состав 0,215—0,220 мольных долей теллурида кадмия, концентрацию основных носителей тока $(2-4,5) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ и подвижность носителей не менее $2,0 \cdot 10^5 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$, время жизни неосновных носителей тока не менее $2 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ при температуре жидкого азота. В качестве подложки использовался лейкосапфир. Нижняя сторона пластины пассивировалась собственным анодным окислом. Диэлектрическим покрытием верхней стороны служила пленка Al_2O_3 толщиной 1200—1500 Å. Электрические контакты формировались последовательно катодным напылением слоев титана, золота и никеля на специально обработанные подконтактные области CdHgTe. Просветляющим защитным слоем служила пленка из сульфата цинка, наносимая ионнотермическим способом [3]. На рис. 2 приведена принципиальная схема фоточувствительного элемента.

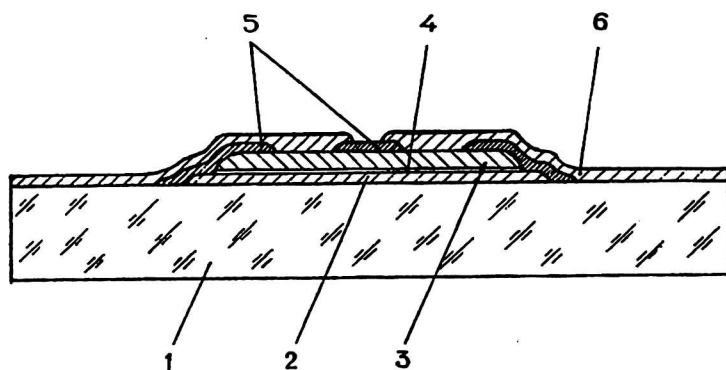


Рис. 2. Принципиальная схема фоточувствительного элемента:
1 — сапфировая подложка; 2 — клей; 3 — CdHgTe; 4 — анодный окисел;
5 — диэлектрическое покрытие; 6 — металлизация

Физические размеры линейки ФЧЭ фактически ограничены ее топологией (размерами фоточувствительных площадок, их расположением и количеством) и контактными областями ФЧЭ. С целью миниатюризации конструкций ФП обычно используется следующая схема расположения электрических выводов: чувствительные площадки в блоке ФЧЭ электрически объединяются по n -элементов с одним общим выводом, причем электрические выводы каждого из n -элементов и общий вывод каждой следующей группы n -элементов выводятся относительно оси линейки в одну сторону. При подаче рабочего тока смещения на каждый

элемент ФЧЭ в процессе накопления генерируемых носителей заряда происходит фотоэлектрическое смещение центра чувствительности каждой группы соседних l -элементов в противоположные стороны. Оптическое изображение объекта, получаемое в результате преобразования в ФПУ, может иметь вид "зебры". Данный эффект существенно уменьшается за счет асимметричного расположения электрических контактов относительно оптической площадки [1] и полностью устраняются для топологии две линейки по 16, 32 и 48 элементов в каждой, когда единый общий вывод расположен между двумя линейками. Однако при достаточно малом расстоянии между центрами площадок двух линеек (150 мкм) возникает проблема электрической взаимосвязи между площадками за счет падения напряжения на части общего вывода, расположенного между линейками. Это особенно существенно для многоплощадочных ФЧЭ. Поэтому в случае топологии 2x48 элементов чувствительные площадки группировались по 8 элементов (четыре элемента из одной линейки и четыре — из другой) с одним общим выводом. Далее с помощью конкретного растра при сварке обеспечивался выход индивидуальных сигнальных выводов и общего для них электрического вывода в одну сторону относительно оси симметрии линейки ФЧЭ, что позволяет снизить шумы, создаваемые в результате работы ФПУ в так называемый "электромагнитной рамке". Природа данных шумов связана с тем, что электрическая цепь каждого канала представляет собой петлю длиной 10—20 см, и в каждой может наводиться э. д. с. от внешних электромагнитных полей.

Основной вклад в величину теплопритоков ФП вносит теплоприток по трубе держателя. Расчеты показывают, что по сравнению с ранее используемым держателем в виде металлической трубы с токоведущими дорожками из никелевых проводов, закрепленных в полиамидном кабеле, наиболее перспективным путем снижения теплопритока является изготовление держателя из стекла с металлизацией и последующим выделением токопроводящих дорожек. Металлизация на внешней поверхности держателя формировалась последовательным магнетронным напылением хрома, алюминия и никеля. Разделение трехслойной металлизации на индивидуальные дорожки осуществляется лазерной резкой. При этом сопротивление токоведущих дорожек при температуре жидкого азота не более 2 Ом.

Так как ФП должен сохранять вакуумные характеристики в течение всего срока эксплуатации в условиях заданных внешних механических и климатических воздействий и циклических изменений температуры охлаждения, то в процессе его изготовления использовались специальные технологические процессы. Корпусные детали изготавливались из материалов, полученных методом двойной вакуумной переплавки, и подвергались отжигу в вакууме. Между собой детали соединялись методами аргонно-дуговой и электронно-лучевой сварки для образования вакуумно-плотных швов. Для повышения надежности поддержания вакуума в процессе эксплуатации и хранения использовались геттеры, позволяющие их многократное активирование. Величина теплопритоков конструкции с учетом тепла отходящих паров при температуре +60 °С не более 0,8 Вт для ФП с диаметром колодца 12 мм и не более 0,3 Вт — для ФП с диаметром колодца 6 мм.

На рис. 3 приведено распределение удельной обнаружительной способности и вольтовой чувствительности в согласованном режиме 96 площадочного ФП в топологии 2x48 (размер чувствительных площадок 35x35 мкм, плоский угол зрения 40 град). Средние значения параметров при нормальных климатических условиях для лучших ФП составили: $D^* (\lambda_{\max}, 1200, 1) = 8 \cdot 10^{10} \text{ см} \cdot \text{Гц}^{1/2} \cdot \text{Вт}^{-1}$
 $S_u (\lambda_{\max}) = 8,5 \cdot 10^4 \text{ В} \cdot \text{Вт}^{-1}$ при среднем токе смещения 2,1 мА. Уход параметров при изменении температуры окружающей среды до +60 °С составил: по

обнаружительной способности не более 30 %, по вольтовой чувствительности не более 10 %; а при температуре окружающей среды -60°C : по обнаружительной способности — не более +30 %, по вольтовой чувствительности не более +10 %. Время фотоответа ФЧЭ ограничивалось пролетом носителей между “теньевыми контактами” и составляло не более 1 мкс. Тепловыделение каждого элемента не более 0,1 мВт.

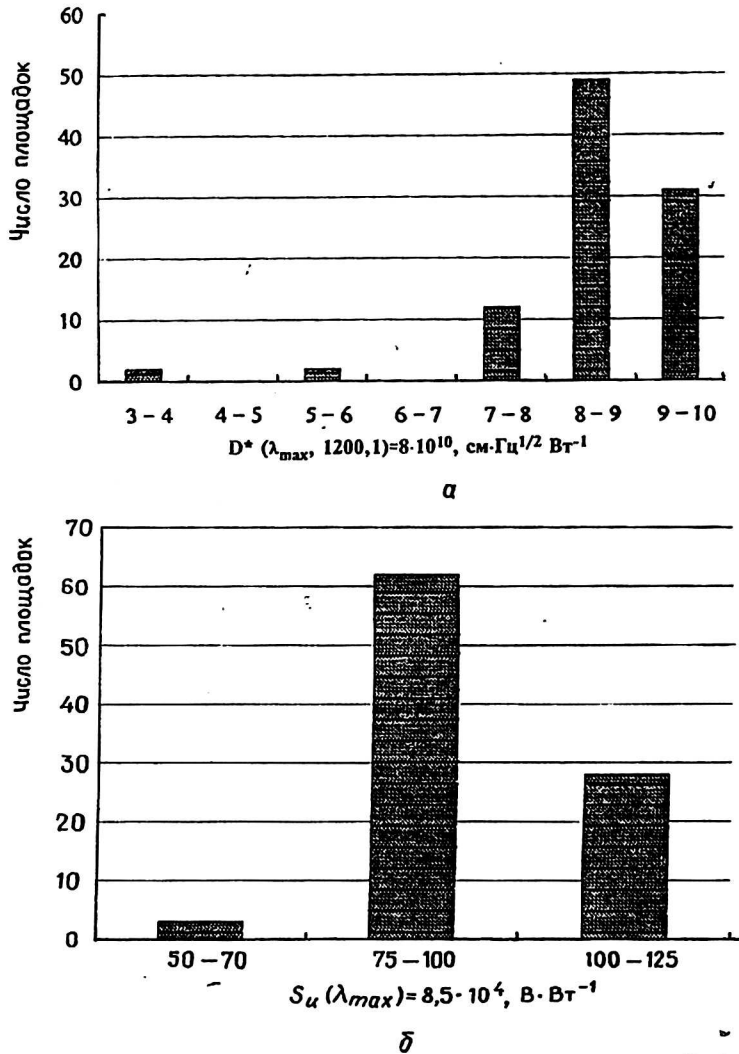


Рис. 3. Распределение удельной обнаружительной способности (а) и вольтовой чувствительности (б) 96-площадочного фотоприемника

В табл. 1 и 2 приведены максимально достигнутые параметры фотоприемников в топологии 1x26 и 2x16 при охлаждении от МТО. На рис. 4 приведены типичные спектральные характеристики fotocувствительности фотоприемника без отрезающего фильтра и с отрезающим охлаждаемым фильтром из просветленного с двух сторон антимионда индия. Плоский угол зрения фотоприемника 26 град. В табл. 3 приведены средние значения 32-площадочного ФП в зависимости от плоского угла зрения.

Приведенные результаты показывают, что разработанная конструкция и технология вакуумных фотоприемников позволяет получать параметры ФП, огра-

ниченными фоновым излучением, а использование для охлаждения фотоприемников ГКМ позволяет понизить рабочую температуру до 70 К и повысить за счет этого чувствительность. В табл. 4 приведены параметры вакуумного фотоприемника в топологии 1x26 (согласованный режим по сопротивлению, $S = 50 \times 50$ мкм) при охлаждении ГКМ с холодопроизводительностью 0,7 Вт.

Таблица 1

Параметры вакуумного фотоприемника 1x26 с охлаждаемым фильтром из InSb

№ п/п	R_T , Ом	I_{CM} , mA	$D^*(\lambda_{max}, 80, 1) \cdot 10^{10}$, см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹	$D^*(\lambda_{max}, 1200, 1) \cdot 10^{10}$, см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹	$D^*(\lambda_{max}, 2000, 1) \cdot 10^{10}$, см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹	$S_v(\lambda_{max}) \cdot 10^4$, В·Вт ⁻¹
1	99	5,0	1,9	5,3	9,6	5,51
2	96	5,1	1,7	4,8	8,7	5,81
3	96	5,1	1,7	4,7	8,4	5,61
4	94	5,2	1,7	4,7	8,5	5,61
5	94	5,2	1,6	4,4	8,0	5,20
6	96	5,1	1,9	5,3	9,5	5,61
7	97	5,1	2,0	5,5	8,3	5,81
8	97	5,1	1,8	5,1	9,2	5,92
9	96	5,1	1,9	5,3	9,5	5,92
10	99	5,0	1,8	5,0	9,1	5,51
11	99	5,0	1,9	5,4	9,8	5,71
12	99	5,0	1,9	5,3	9,6	5,81
13	100	5,0	1,9	5,3	9,6	5,81
14	103	4,9	1,8	5,1	9,1	5,41
15	102	5,0	1,6	4,6	8,2	5,20
16	104	4,9	1,7	4,7	8,5	5,30
17	104	4,9	1,7	4,7	8,5	5,30
18	104	4,9	1,7	4,2	9,2	5,00
19	103	4,9	1,6	4,6	8,3	4,90
20	104	4,9	1,7	4,9	8,8	5,10
21	105	4,9	1,8	5,1	9,1	5,41
22	102	5,0	1,6	4,6	8,3	5,41
23	104	4,9	1,7	4,3	9,4	5,20
24	106	4,9	1,7	4,8	8,7	5,30
25	106	4,9	1,8	4,9	8,8	5,30
26	104	4,9	1,7	4,8	8,7	4,59
Средние значения			1,8	4,9	8,9	5,43

Таблица 2

Параметры вакуумного фотоприемника 2x16

№ п/п	R_T , Ом	$D^*(\lambda_{max}, 1200, 1) \cdot 10^{10}$, см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹	$S_v(\lambda_{max}) \cdot 10^4$, В·Вт ⁻¹	№ п/п	R_T , Ом	$D^*(\lambda_{max}, 1200, 1) \cdot 10^{10}$, см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹	$S_v(\lambda_{max}) \cdot 10^4$, В·Вт ⁻¹
1	116	6,7	1,22	17	118	6,7	1,23
2	111	6,4	1,24	18	112	6,4	1,29
3	114	6,4	1,21	19	115	6,9	1,22
4	112	6,2	1,25	20	112	5,9	1,13
5	116	6,9	1,22	21	112	6,1	1,23
6	112	6,0	1,19	22	112	6,0	1,21
7	116	6,7	1,22	23	112	5,7	1,19
8	111	6,1	1,18	24	113	5,8	1,17
9	116	7,0	1,22	25	111	5,7	1,22
10	110	6,5	1,22	26	114	6,0	1,17
11	116	6,5	1,22	27	116	3,8	1,18
12	111	6,5	1,24	28	115	5,9	1,20
13	115	6,0	1,22	29	118	5,9	1,25
14	111	6,6	1,20	30	118	5,5	1,21
15	114	6,4	1,21	31	120	6,2	1,28
16	113	6,3	1,17	32	120	5,3	1,22

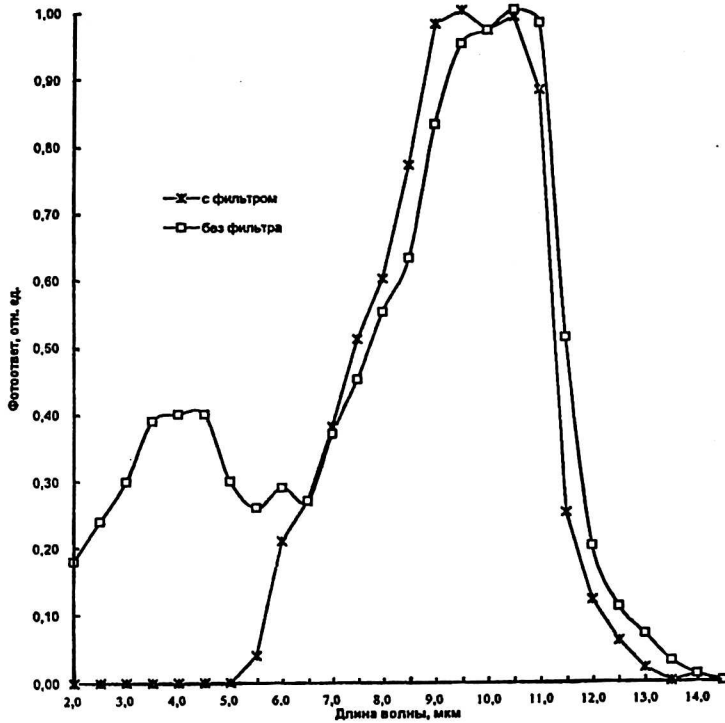


Рис. 4. Спектральные характеристики фоточувствительности фотоприемника без и с отсекающим фильтром

Таблица 3
Средние значения удельной обнаружительной способности и вольтовой чувствительности 32-площадочного ФП в зависимости от плоского угла зрения

№ п/п	Угол зрения, град	$D^*(\lambda_{\max}, 1200, 1) \cdot 10^{10}$, см·Гц ^{1/2} · Вт ⁻¹	$S_v(\lambda_{\max}) \cdot 10^4$, В · Вт ⁻¹
1	180	4,1	3,2
2	40	7,5	4,0
3	20x10	9,5	4,6

Таблица 4

Параметры фотоприемника 1x26 с охлаждением ГKM

№ п/п	T = 77 K			T = 70 K		
	R_T , Ом	$D^*(\lambda_{\max}, 20000, 1) \cdot 10^{10}$, см·Гц ^{1/2} · Вт ⁻¹	$S_v(\lambda_{\max}) \cdot 10^4$, В · Вт ⁻¹	R_T , Ом	$D^*(\lambda_{\max}, 20000, 1) \cdot 10^{10}$, см·Гц ^{1/2} · Вт ⁻¹	$S_v(\lambda_{\max}) \cdot 10^4$, В · Вт ⁻¹
1	61	4,2	3,40	53	6,7	7,87
2	57	4,8	3,08	50	8,4	7,18
3	58	4,8	3,16	51	8,0	7,31
4	57	4,5	3,16	50	7,6	7,45
5	56	4,8	3,00	49	8,5	7,18
6	61	2,9	3,12	56	6,3	8,28
7	58	3,4	3,04	54	8,0	7,87
8	54	4,3	2,92	50	9,3	7,31
9	55	4,5	3,04	50	9,4	7,73
10	55	4,6	3,04	50	9,2	7,59

Окончание табл. 4

№ п/п	T = 77 K			T = 70 K		
	R_T , Ом	$D^*(\lambda_{max}, 20000, 1) \cdot 10^{10}$, см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹	$S_v(\lambda_{max}) \cdot 10^4$, В · Вт ⁻¹	R_T , Ом	$D^*(\lambda_{max}, 20000, 1) \cdot 10^{10}$, см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹	$S_v(\lambda_{max}) \cdot 10^4$, В · Вт ⁻¹
11	53	4,8	2,92	50	9,8	7,31
12	53	4,5	2,92	50	9,3	7,31
13	52	4,6	2,96	49	9,2	7,31
14	53	4,8	3,04	49	9,9	7,73
15	54	4,6	2,96	49	10,2	7,45
16	53	4,6	3,04	48	9,8	7,45
17	53	4,9	3,00	48	9,8	7,45
18	53	4,1	2,96	48	8,8	7,31
19	53	4,3	3,00	48	9,3	7,59
20	53	4,6	3,00	47	10,0	7,87
21	55	4,7	3,12	49	9,7	7,73
22	55	4,7	3,12	49	10,2	8,00
23	55	4,6	3,12	51	10,1	8,28
24	53	4,8	3,04	50	10,2	8,00
25	53	4,2	3,00	50	10,5	8,00
26	75	3,1	3,32	69	7,3	8,97

Высокая точность обработки поверхностей ФП, предназначенных для стыковки с системой охлаждения, позволяет для обеспечения рабочей температуры 70—80 К использовать дроссельные разомкнутые или замкнутые системы охлаждения, а также микрокриогенные системы с газовыми криогенными машинами типа Стирлинга или Сплит-Стирлинга. С учетом высоких фотоэлектрических параметров представленные вакуумные фотоприемники могут применяться в тепловизионных приборах и системах различного назначения.

Л и т е р а т у р а

1. Kinch M. A., Borrello S. R., Breazale B. H., Simmons A. Geometrical enhancement of HgCdTe photoconductive detectors//Infrared Phys. 1977. V. 17. P. 137—145.
2. Smith D. L. Theory of generation-recombination noise and responsivity in overlap structure photoconductors//J. Appl. Phys. 1983. V. 54. № 9. P. 5441—5448.
3. Г л е б о в Ю. А., К а б а к о в а З. Н. Получение оптических слоев сульфидов и селенидов из ионизированных молекулярных пучков: Тр. Ин-та проблем материаловедения. — Киев, 1977. Вып. 4.

VACUUM PHOTODETECTORS ON THE BASIS OF 8—12 μm CdHgTe PHOTORESISTORS

U. S. Troshkin, A. V. Filatov, V. S. Alekseivischeva, A. V. Gusarov, A. P. Korshunova, G. E. Popovyan, O. P. Posevin

The State Unitary Enterprise «RD&P Centre “Orion”», Moscow, Russia

The construction and performances of vacuum photoresistors cooled with the help choking microheat exchangers and gas cryogenic machines operating on a backward cycle Stirling are featured.