

Фотоэлектроника: элементная база и технология

УДК 621.383.4: 621.383.032.11

Сохраняемость параметров вакуумных фоторезисторов на основе CdHgTe

В. П. Пономаренко, Ю. С. Трошкин, А. В. Филатов
ФГУП «НПО "Орион"» — Государственный центр РФ, Москва, Россия

Приведены результаты исследований теплопритоков и фотоэлектрических параметров высокочувствительных вакуумных фоторезисторов из CdHgTe на спектральный диапазон 8—12 мкм в течение длительного срока хранения при нормальных климатических условиях. Рассмотрено влияние некоторых конструктивных элементов фотоприемников на стабильность теплопритоков во времени.

В кристаллической решетке твердого раствора CdHgTe (КРТ) энергия связи ртути с теллуром низкая [1, 2], поэтому при изготовлении приборов различные технологические процессы могут приводить к нарушению этой связи [3—6] и, как следствие, к нестабильности параметров приборов даже при комнатных температурах из-за высоких значений коэффициентов диффузии собственных точечных дефектов. Эксплуатационные характеристики фотоприемных устройств с вакуумными фотоприемниками (ФП) требуют длительного поддержания высокого вакуума в их рабочем объеме. Это достигается в первую очередь повышенной температурой обезгаживания при вакуумировании приборов и выбором конструктивных материалов. Возможность увеличения длительности поддержания вакуума обычно реализуется периодическим реактивированием газопоглотителей, расположенных в вакуумной полости ФП, как правило, один раз в год, а общее количество таких процедур ограничено 10—15.

Цель данной работы — исследование сохраняемости остаточного давления газов и основных фотоэлектрических параметров вакуумных ФП на основе КРТ для спектрального диапазона 8—12 мкм в течение длительного времени хранения при нормальных климатических условиях.

Конструкция и технология изготовления исследованных ФП подробно описаны ранее [7—9]. Входное окно из просветленного германия соединяли с корпусом с помощью пайки. Внутренний диаметр стеклянного колодца ФП составлял 6 мм, глубина держателя — 67,5 мм. На посадочное место держателя с помощью клеев монтировали: блок фоточувствительных элементов фоторезисторов (ФЧЭ) в топологии 2 линейки по 16 эле-

ментов; диафрагму, обеспечивающую плоский угол зрения (2φ) не менее 40° ; два датчика температуры на базе кремниевого p - n -перехода с температурным коэффициентом напряжения в районе азотных температур $\approx 1,7$ мВ/град.

На цоколе у основания держателя ФП располагали два нераспыляемых циалевых газопоглотителя марки ПЦ-1М. Объем вакуумной полости ФП ≈ 13 см³. Поскольку основной вклад в общий поток газоотделения узлов ФП вносят криогенные конструкционные клеи, то в процессе изготовления ФП проводилось вакуумное обезгаживание клеев и их компонентов. Суммарный объем клеев не превышал $8 \cdot 10^{-4}$ см³, а площадь их контакта с вакуумной полостью — не более $9 \cdot 10^{-3}$ см².

Фотоприемники вакуумировались с помощью откачной системы EBD-50BS фирмы "Ulvac" (Япония) при повышенной температуре корпуса ФП с охлаждением ФЧЭ до температуры 70°C [9].

Сохраняемость остаточного давления газов оценивалась косвенным методом по суммарной величине теплопритоков элементов конструкции ФП. Теплопритоки в нормальных климатических условиях определяли весовым методом. Использовались аналитические весы марки 1712MP8 фирмы "Sartorius" (Германия). Величина теплопритоков (Q) рассчитывалась по формуле

$$Q = m[r + c(T - 77)]/t, \quad (1)$$

где m — масса испаряемого жидкого азота, равная 0,1 г;

r — скрытая теплота испарения, равная 199 Дж/г;

c — усредненная теплоемкость паров азота, равная 1,05 Дж/(г·град);

t — время испарения 0,1 г жидкого азота, с;
 T — температура окружающей среды, 293 К;
 77 — температура кипения жидкого азота при нормальных климатических условиях, К.

В процессе хранения вакуумных ФП контролировались фотоэлектрические параметры их фоточувствительных элементов: темновое сопротивление — R_d , удельная обнаружительная способность — D^* (λ_{\max} , 1200,1) и вольтовая чувствительность $S_{U\lambda_{\max}}$ в максимуме спектральной характеристики в согласованном по сопротивлению нагрузке режиме измерения.

Среднее значение величины теплопритоков (1) после откачки по результатам измерения теплопритоков 50 ФП составило 0,217 Вт. Данная величина близка к расчетной, полученной с учетом тепловых потоков за счет теплопроводности (по стеклянной трубе держателя, токопроводящим дорожкам, электрическим выводам) и теплового излучения (между диафрагмой и входным окном, диафрагмой и боковой поверхностью корпуса, боковой поверхностью держателя и корпусом) элементов конструкции ФП, также теплового потока

за счет теплопроводности остаточных газов. При этом принималось, что распределение температуры по длине конструкции линейное, а коэффициенты теплопроводности материалов ФП линейно зависят от температуры. Среднее значение величины теплопритоков 10 ФП, имеющих в распоряжении на момент написания статьи, после восьми лет хранения при комнатной температуре составило 0,224 Вт. В течение всего срока хранения активация газопоглотителей не проводилась.

Так как при расчете теплопритоков по формуле (1) изменение температуры окружающей среды не учитывалось, можно считать, что вакуумные свойства ФП в процессе хранения достаточно стабильны. В табл. 1 приведено изменение средних значений основных фотоэлектрических параметров данных ФП, а в табл. 2 — распределение чувствительности по 32 каналам ФП № 46 по истечению восьми лет хранения при нормальных климатических условиях. ФЧЭ изготавливали по технологии с "теневыми" контактами и ионной обработкой подконтактных областей [7—9].

Таблица 1

Средние значения фотоэлектрических параметров вакуумных ФП в топологии 2×16 элементов (размер фоточувствительных площадок 0,05×0,05 мм)

№ п/п	№ ФП	Исходные значения		После восьми лет хранения	
		$D^*(\lambda_{\max}, 1200,1) \cdot 10^{10}$, см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹	$S_{U\lambda_{\max}} \cdot 10^4$, В·Вт ⁻¹	$D^*(\lambda_{\max}, 1200,1) \cdot 10^{10}$, см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹	$S_{U\lambda_{\max}} \cdot 10^4$, В·Вт ⁻¹
1	20	5,4	6,8	5,2	6,8
2	21	6,2	10,3	6,0	9,6
3	27	5,9	11,6	5,4	10,2
4	29	4,9	5,2	4,7	5,1
5	35	4,9	6,4	4,1	6,1
6	39	6,1	11,0	5,5	9,8
7	40	5,2	7,9	5,4	8,0
8	46	9,2	20,0	9,2	19,2
9	47	8,3	16,2	8,2	15,8
10	48	7,7	12,1	6,6	11,0

Таблица 2

Фотоэлектрические параметры вакуумного ФП № 46

№ канала	Исходные значения			После восьми лет хранения		
	R_d , Ом	$D^*(\lambda_{\max}, 1200,1) \cdot 10^{10}$, см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹	$S_{U\lambda_{\max}} \cdot 10^5$, В·Вт ⁻¹	R_d , Ом	$D^*(\lambda_{\max}, 1200,1) \cdot 10^{10}$, см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹	$S_{U\lambda_{\max}} \cdot 10^5$, В·Вт ⁻¹
1	92	9,2	2,05	90	9,4	2,00
2	92	9,5	2,11	90	9,4	2,00
3	111	7,8	1,76	110	7,6	1,68
4	94	9,3	2,06	92	8,8	1,98
5	89	9,4	2,02	88	9,3	1,92
6	89	9,5	2,08	88	9,2	1,98
7	86	9,9	2,20	85	9,3	2,00
8	87	9,6	2,18	86	9,1	2,04
9	85	10,0	2,07	83	9,0	1,88
10	86	9,7	2,02	85	9,0	1,88
11	84	8,6	1,78	82	8,6	1,64
12	86	9,4	2,02	85	8,9	1,84
13	85	9,4	1,98	83	9,3	1,85
14	85	9,2	2,01	84	8,9	1,83
15	84	9,1	1,92	83	9,3	1,83

№ канала	Исходные значения			После восьми лет хранения		
	$R_d, \text{Ом}$	$D^* (\lambda_{\max}, 1200, 1) \cdot 10^{10}, \text{см} \cdot \Gamma_{\text{ц}}^{1/2} \cdot \text{Вт}^{-1}$	$S_{U\lambda_{\max}} \cdot 10^5, \text{В} \cdot \text{Вт}^{-1}$	$R_d, \text{Ом}$	$D^* (\lambda_{\max}, 1200, 1) \cdot 10^{10}, \text{см} \cdot \Gamma_{\text{ц}}^{1/2} \cdot \text{Вт}^{-1}$	$S_{U\lambda_{\max}} \cdot 10^5, \text{В} \cdot \text{Вт}^{-1}$
16	85	9,2	2,04	83	9,4	1,94
17	86	9,3	2,05	83	9,6	2,00
18	86	8,9	1,99	85	9,9	2,01
19	86	8,8	1,99	84	9,6	1,95
20	86	9,4	2,14	87	9,8	2,15
21	85	9,2	2,01	84	9,6	2,00
22	86	9,3	2,02	91	10,0	2,13
23	84	9,5	1,98	83	9,7	1,98
24	86	9,4	2,11	86	10,0	2,14
25	84	9,3	2,03	83	9,7	2,00
26	89	7,3	1,58	88	7,4	1,53
27	85	9,7	2,01	84	8,8	1,89
28	86	9,6	2,08	85	9,3	1,95
29	86	9,1	1,85	84	8,7	1,71
30	88	6,8	2,10	87	9,0	1,97
31	85	10,0	2,07	84	9,3	1,86
32	92	8,8	2,08	91	8,4	1,87

В течение времени теплопритоки могут изменяться из-за увеличения давления в вакуумной полости ФП за счет протекания процессов газовой выделенной и газопропускания элементов конструкции ФП и др. Тепловой поток за счет теплопроводности остаточных газов ($Q_{r.g}$) будет складываться из потока за счет теплопроводности остаточных газов между холодной поверхностью держателя и теплой поверхностью корпуса (Q_1) и потока — за счет теплопроводности остаточных газов между холодной поверхностью диафрагмы и теплой поверхностью входного окна ФП (Q_2):

$$Q_{r.g} = Q_1 + Q_2 \quad (2)$$

Из кинетической теории газов известно, что для коаксиальных цилиндров тепловой поток за счет теплопроводности остаточных газов описывается уравнением [10, 11]

$$Q_1 = \frac{2\pi\lambda(T_2 - T_1)aL}{a \ln(r/a) + (\lambda/2\alpha\lambda_m P)(a/r + 1)}, \text{Вт} \quad (3)$$

а между двумя параллельными пластинами

$$Q_2 = \pi b^2 \frac{\lambda(T_2 - T_1)}{l + (\lambda/\alpha\lambda_m P)}, \text{Вт} \quad (4)$$

где λ — средняя теплопроводность воздуха в интервале температур T_1 — T_2 , $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$;

α — коэффициент аккомодации воздуха по отношению к металлической поверхности, равный 0,9;

λ_m — молекулярная теплопроводность воздуха, равная $160 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1} \cdot \text{Торр}^{-1}$;

P — остаточное давление в вакуумной полости ФП, Торр;

L — длина держателя;

l — расстояние от диафрагмы до входного окна;

r, a — внутренний и внешний радиусы вакуумной полости и, соответственно, держателя;

b — радиус диафрагмы;

T_2, T_1 — температура теплой и холодной стенок, град.

При расчете теплопритоков исходя из выражений (2)—(4), принималось, что распределение температуры по длине держателя линейное от $T_1 = 80 \text{ К}$ до $T_2 = 300 \text{ К}$, что на самом деле для стеклянного держателя соответствует действительности. Значение температурной зависимости коэффициента теплопроводности воздуха взято из работы [10].

На рис. 1 приведена расчетная зависимость теплопритоков за счет теплопроводности остаточных газов ($Q_{r.g}$) при изменении их давления в вакуумной полости для описанной выше конструкции ФП. Положение данной кривой существенно не изменяется в достаточно широких пределах изменения конструктивных элементов ФП. Заметный вклад в величину теплопритоков ($\geq 10\%$) тепловой поток $Q_{r.g}$ может дать при увеличении остаточного давления в вакуумной полости ФП до $5 \cdot 10^{-4}$ Торр за счет газопроницаемости и газовой выделенной элементов конструкции ФП в течение времени. Известно, что газовыделение полимерных пленок и эпоксидных клеевых композиций после длительного вакуумирования с прогревом характеризуется величиной $10^{-8} \div 10^{-9}$ Торр·л·с⁻¹·см⁻² [12, 13] при комнатной температуре. В нашем случае при остаточном давлении в вакуумной полости ФП не хуже $5 \cdot 10^{-4}$ Торр, зная объем вакуумной полости, площадь клеевых соединений и время

хранения ФП ($2,5 \cdot 10^8$ с), получим газовыделение $\leq 3 \cdot 10^{-12}$ Торр-л-с $^{-1}$ -см $^{-2}$. Ясно, что при такой величине газовыделения увеличение времени хранения в несколько раз не приводит к существенному ухудшению теплопритоков ФП. Поэтому можно отказаться от проведения в процессе эксплуатации данной конструкции ФП регламентных работ, связанных с активированием газопоглотителей.

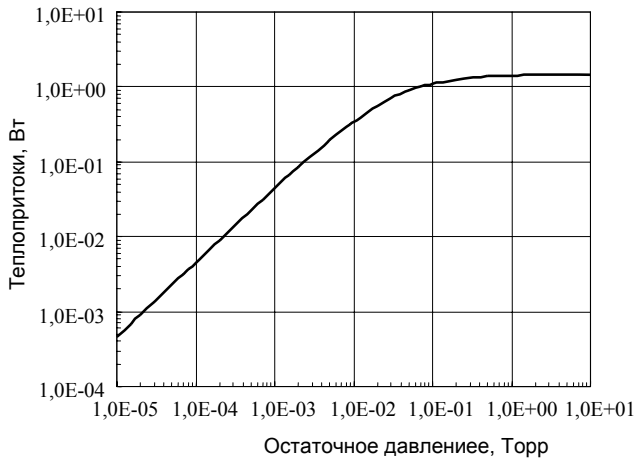


Рис. 1. Расчетная зависимость теплопритоков за счет теплопроводности остаточных газов при изменении давления в вакуумной полости ФП

Для оценки газопроницаемости клеевых композиций, используемых для соединения входных германиевых окон с вакуумным корпусом [14], по описанной выше технологии были изготовлены ФП с другими конструктивными параметрами: внутренний диаметр стеклянного колодца ФП — 9 мм, длина держателя в вакуумной полости — 64 мм. Кроме того, для улучшения теплопередачи между ФЧЭ и системой охлаждения в торец стеклянного держателя был вварен металлический диск [9], на котором собирался блок ФЧЭ с датчиками температуры и охлаждаемой диафрагмой. На цоколе у основания держателя ФП располагали четыре нераспыляемых циалевых газопоглотителя марки ПЦ-1М. Объем вакуумной полости ФП ≈ 33 см 3 . Суммарный объем клеев без учета клеевой области входного окна не превышал $1,8 \cdot 10^{-3}$ см 3 , а площадь — не более $16 \cdot 10^{-3}$ см 2 . Площадь клеевой области входного окна в вакуумной полости при толщине клея 50 мкм составляла не менее $25 \cdot 10^{-3}$ см 2 . На рис. 2 приведены экспериментальные результаты изменения теплопритоков данной конструкции ФП во времени (ряд 1). После активации одновременно четырех газопоглотителей теплопритоки ФП уменьшились до 0,32 Вт. Здесь же приведены расчетные зависимости суммарных теплопритоков в соответствии с (2)—(4) в предположении, что остаточное давление в вакуумной полости ФП

от времени хранения (t) подчиняется зависимости $P(t) = P_0 + K t$ (см. рис. 2, ряд 3) и $P(t) = P_0 + (Dt)^{1/2}$ (см. рис. 2, ряд 2), где $P_0 = 1 \cdot 10^{-4}$ Торр, $K = 3,5 \cdot 10^{-9}$ Торр-с $^{-1}$, $D = 3,5 \cdot 10^{-9}$ Торр 2 -с $^{-1}$. Сравнение изменения величин теплопритоков во времени для представленных двух вакуумных конструкций ФП, в которых входное окно соединено с корпусом ФП с помощью пайки и клея, показывает, что во втором случае наблюдается изменение величины теплопритоков в течение 1—1,5 лет. Наилучшее соответствие расчетной зависимости изменения теплопритоков от времени с экспериментальными результатами (см. рис. 2) получено при степенной зависимости давления остаточных газов от времени с показателем степени, равным 1/2. Это характерно для протекания диффузионных процессов. Поэтому можно предположить, что изменение теплопритоков во времени может лимитироваться возможной диффузией молекул воздуха через клеевое соединение входного окна с корпусом и/или через сварной шов металлического диска со стеклом держателя ФП.

При охлаждении данной конструкции ФП, например микрокриогенной системой типа Сплит-Стирлинга с холодопроизводительностью 1,0 Вт и тепловыделении ФЧЭ 0,1 Вт (1 мВт на чувствительную площадку), газопоглотители необходимо активировать, как видно из рис. 2, не позже чем через 14 мес хранения и/или эксплуатации прибора, что не противоречит мировой практике.

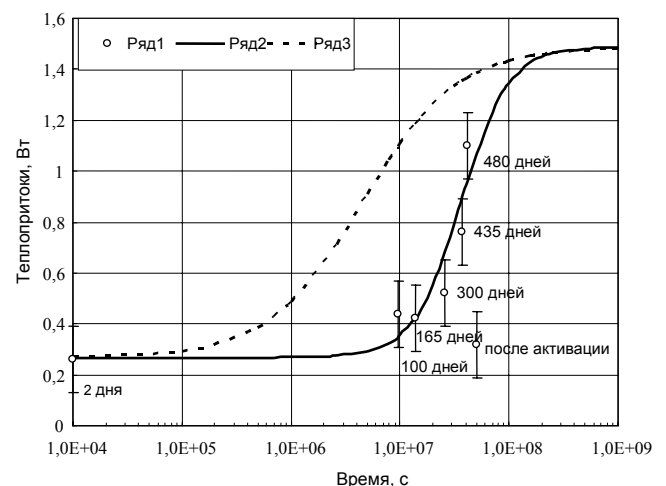


Рис. 2. Экспериментальные результаты изменения теплопритоков вакуумной конструкции ФП от времени хранения (ряд 1) и расчетные зависимости при: $P(t) = P_0 + (Dt)^{1/2}$ (ряд 2) и $P(t) = P_0 + Kt$ (ряд 3)

Из приведенных экспериментальных результатов видно, что фотоэлектрические параметры вакуумных фоторезисторов стабильны в течение длительного времени хранения при комнатной температуре. В табл. 3 для сравнения приведены

результаты сохраняемости фотоэлектрических параметров многоэлементных фоторезисторов в газонаполненном исполнении фотоприемника с различным размером фоточувствительной площадки в случае комнатной и повышенных температур хранения (85 и 100 °С), ФЧЭ которых также изготавливались по описанной выше технологии. Как видно из табл. 3, разработанная технология изготовления фоточувствительных элементов фоторезисторов позволяет во время обезгаживания ФП увеличить температуру на блоке фоточувствительных элементов до 85—100 °С. Однако практическая целесообразность этого до конца не изучена, поскольку ресурс стабильности фотоэлектрических параметров ФП может стать меньше без существенного повышения сохраняемости вакуумных характеристик конструкции ФП в течение длительного времени эксплуатации изделий.

Как предполагалось в теоретических работах [15, 16], использование в технологии изготовления

фоточувствительных элементов фоторезисторов блокирующих и "теневого" контактов позволяет не только повысить вольтговую чувствительность по сравнению с параметрами фоторезисторов, выполненных в классическом дизайне, но и достигнуть предельной обнаружительной способности, характерной для фотовольтаических приборов, т. е. в $\sqrt{2}$ раз.

Выводы

Разработанная конструкция и технология высокочувствительных вакуумных фоторезисторов на основе КРТ для спектрального диапазона 8—12 мкм обеспечивают требуемую для потребителей ФП стабильность теплопритоков и фотоэлектрических параметров в течение необходимого времени.

Таблица 3

Средние значения фотоэлектрических параметров многоэлементных фоторезисторов при различных условиях хранения (газонаполненная конструкция)

№ п/п	$D^*(\lambda_{max}, 1200, 1) \cdot 10^{10}$, см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹		$SU_{\lambda_{max}} \cdot 10^3$, В·Вт ⁻¹		Условия хранения		Количество (n) и размер площадок, мм	Плоский угол зрения 2φ, град
	до	после	до	после	время	температура, °С		
1	4,4	5,5	20	27	5 лет	Комнатная	n = 128, 0,15×0,08	≥35
2	3,9	4,9	36	34	15 лет		n = 128, 0,05×0,05	≥40 *
3	2,9	2,8	51	51	7 лет			180
4	5,2	6,0	118	105	4 года		n = 128, 0,035×0,035	≥35
5	2,8	2,8	56	79	150 ч	100	n = 128, 0,035×0,035	180
6	3,0	3,2	26	28	1000 ч	85	n = 30, 0,035×0,035	180

* Классический дизайн исполнения фоточувствительных элементов фоторезистора.

Литература

1. Wiedemeier H., Trivedi S. B., Whiteside R. C., Polosch W. The heat formation of mercury vacancies in Hg_{0,8}Cd_{0,2}Te//J. Electrochem. Soc. 1986. V. 33. № 11. P. 2399.
2. Заитов Ф. А., Исаев Ф. К., Гориков А. В. Дефектообразование и диффузионные процессы в некоторых полупроводниковых твердых растворах. — Баку: Азернешр, 1984.
3. Raccach P. M., Lee U., Silberman J. A., Spicer W. E., Wilson J. A. Evidence of stress-migration in Hg_{1-x}Cd_xTe//Appl. Phys. Lett. 1983. V. 42. № 4. P. 374.
4. Silberman J. A., Morgen P., Lindan I., Spicer W. E., Wilson J. A. Room temperature stability of cleaved Hg_{1-x}Cd_xTe//J. Vac. Sci. Technol. 1982. V. 21. № 1. P. 154.
5. Nitz G., Schlicht B., Dornhaus R. Long-term Hall-type conversion by vacancy diffusion at room temperature//Appl. Phys. Lett. 1979. V. 34. № 8. P. 490.
6. Lunn M. A., Dobson P. S. Ion beam milling of Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te//J. of Crystal Growth. 1985. V. 73. P. 379.
7. Трошкин Ю. С., Филатов А. В., Алексеевичева В. С., Гусаров А. В., Коришнуова А. П., Поповян Г. Э., Посевин О. П. Вакуумные фотоприемники для диапазона 8—12 мкм на ос-

- нове фоторезисторов из CdHgTe//Прикладная физика. 1999. № 2. С. 63.
8. Климанов Е. А., Неверов Е. С., Поповян Г. Э., Трошкин Ю. С., Филатов А. В., Балоев В. А. Многоканальные высокочувствительные ФПУ на основе фоторезисторов из CdHgTe// Там же. 2002. № 2. С. 76.
9. Алексеевичева В. С., Бурлаков И. Д., Ильева А. П., Кузнецов П. А., Пономаренко В. П., Поповян Г. Э., Трошкин Ю. С., Филатов А. В., Эсаулов Ю. Н., Литин М. В. Многоканальное высокочувствительное фотоприемное устройство с малым временем выхода на рабочий режим на основе фоторезисторов из CdHgTe//Там же. 2006. № 2. С. 53.
10. Уайт Г. К. Экспериментальная техника в физике низких температур. — М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1961.
11. Дэйшман С. Научные основы вакуумной техники. — М.: Мир, 1964.
12. Rosenblum S. S. Vacuum outgassing rates of plastic and composites for electrical insulators//J. Vac. Sci. Technol. 1986. V. A4. № 1. P. 107.
13. Литин Ю. В., Марсон С. А.//Пластические массы. 1979. № 1.

14. Хитрова Л. М., Поповян Г. Э., Трошкин Ю. С., Филатов А. В. Клеевая эпоксидная композиция: Пат. на изобретение 2269561 RU C1; 10.02.2006.

15. Smith D. L. Effect of blocking contacts on generation-recombination noise and responsivity in intrinsic photoconductors//J. Appl. Phys. 1984. V. 56. № 6. P. 1663.

16. Smith D. L. Theory of generation-recombination noise and responsivity in overlap structure photoconductors//Ibid. 1983. V. 54. № 9. P. 5441.

Статья поступила в редакцию 15 мая 2007 г.

Shelf life and operating characteristics of the vacuum photoresistors from HgCdTe

V. P. Ponomarenko, Y. S. Troshkin, A. V. Filatov
Orion Research-and-Production Association, Moscow, Russia

Results of researches of heat leakage and photo-electric parameters of high-sensitivity vacuum photoresistors from HgCdTe on a spectral range 8—12 microns during a long period of storage are resulted under normal climatic conditions. Influence of some constructive elements of photodetectors on stability of heat leakage in time is considered.

УДК 621.383

Исследование зонной чувствительности лавинных фотоприемников в режиме счета фотонов

А. О. Зеневич, Е. В. Новиков
Высший государственный колледж связи, г. Минск, Республика Беларусь

Представлены результаты исследования зонной чувствительности работающих в режиме счета фотонов лавинных фотоприемников с большой фоточувствительной площадью. Показано, что квантовая эффективность регистрации зависит от области засветки фоточувствительной поверхности фотоприемника.

В настоящее время для регистрации сверхслабых потоков оптического излучения используются фотоприемники, работающие в режиме счета фотонов: это фотозлектронные умножители (ФЭУ) и лавинные фотоприемники (ЛФП) [1].

ЛФП имеют ряд преимуществ по сравнению с ФЭУ: более низкие напряжения питания, повышенная механическая прочность, небольшие габариты и более высокая чувствительность в ближней инфракрасной области. Однако им не удалось на сегодняшний день полностью вытеснить ФЭУ. Одной из причин является то, что в режиме счета фотонов при комнатных температурах могли работать только ЛФП с небольшой площадью фоточувствительной площадки ($\geq 0,3 \text{ мм}^2$) [2]. Лавинные фотоприемники с большой фоточувствительной площадкой требовали охлаждения до температур жидкого азота и ниже, что затрудняло их применение. В последнее время удалось получить кремниевые ЛФП с гетеропереходом с фоточувствительной площадью до 7 мм^2 , отличающиеся

низким уровнем термоэлектрических шумов, что позволяет использовать их в режиме счета фотонов при комнатных температурах [3].

Одной из наиболее важных характеристик фотоприемника в режиме счета фотонов является его зонная чувствительность, отражающая степень отклонения квантовой эффективности регистрации для различных точек засветки фоточувствительной площадки от средней величины, определенной для всей фоточувствительной площадки. Измерения этой характеристики для ЛФП до настоящего времени не проводились. Цель данной статьи — оценка зонной чувствительности ЛФП для различных напряжений питания в режиме счета фотонов.

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования использовались ЛФП с фоточувствительной площадью 7 мм^2