

УДК 621.383.4/5: 621.375

## Многоканальное высокочувствительное фотоприемное устройство с малым временем выхода на рабочий режим на основе фоторезистора из CdHgTe

В. С. Алексеевичева, И. Д. Бурлаков, А. П. Ильева, П. А. Кузнецов,  
В. П. Пономаренко, Г. Э. Поповян, Ю. С. Трошкин, А. В. Филатов, Ю. Н. Эсаулов  
ФГУП «Научно-производственное объединение "Орион"» — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

М. В. Липин

ООО НТК "Криогенная техника", Омск, Россия

*Приведены результаты разработки первого отечественного высокочувствительного 96-канального фотоприемного устройства на основе вакуумного фоторезистора из CdHgTe на спектральный диапазон 8—12 мкм, охлаждаемого микрокриогенной системой типа Сплит-Стирлинга, с удельной обнаружительной способностью  $(5—6,5) \cdot 10^{10}$  см $\cdot$ Гц $^{1/2} \cdot$ Вт $^{-1}$  и временем выхода не более 5 мин на режим охлаждения 80 К при температуре окружающей среды 50 °С.*

В последнее время широкое применение получили фотодиодные матрицы на основе твердого раствора Cd $_x$ Hg $_{1-x}$ Te (КРТ) на спектральный диапазон 8...—12 мкм [1]. Их высокие эксплуатационные характеристики обеспечивает вакуумная конструкция фотоприемников, разработанная ранее для фоторезисторов [2, 3], с количеством площадок до 32. В то же время интерес к фоторезисторам на основе КРТ по-прежнему сохранился из-за сравнительно простой технологии их изготовления, более низкой стоимости и возможности работы с высокой обнаружительной способностью в дальнем ИК-диапазоне.

Цель данной работы — разработка 96-канального охлаждаемого фотоприемного устройства (ФПУО) на основе фоторезистора из КРТ, работающего с микрокриогенной системой охлаждения типа Сплит-Стирлинга (МКС) с диаметром охлаждающего пальца 9 мм, с унифицированной вакуумной конструкцией фотоприемника (ФП). Эта конструкция может быть также использована для размещения в ней фотодиодных матриц большого формата.

Принципиальная схема такой вакуумной конструкции ФП представлена на рис. 1. Основной вклад в величину теплопритоков ФП вносит теплоприток по трубе держателя, поэтому для их снижения труба держателя изготавливалась из специального стекла, обеспечивающего надежный спай с металлическим (коваровым) основанием держателя. С этой же целью токоведущие дорожки в количестве 128 шт. изготавливались магнетронным напылением последовательно титана, меди и никеля [4], общая толщина металлизации не превышала 4 мкм, разделение на дорожки осуществлялось с помощью лазерной резки.

Введение в конструкцию вваренного в торец держателя металлического (молибденового) диска [5], на котором собираются блок фоточувствительных элементов (ФЧЭ), термодатчики и охлаждаемая диафрагма, позволило улучшить теплопередачу и, соответственно, уменьшить перепад температур между пальцем МКС и

ФЧЭ и снизить энергопотребление МКС в установленном режиме работы.

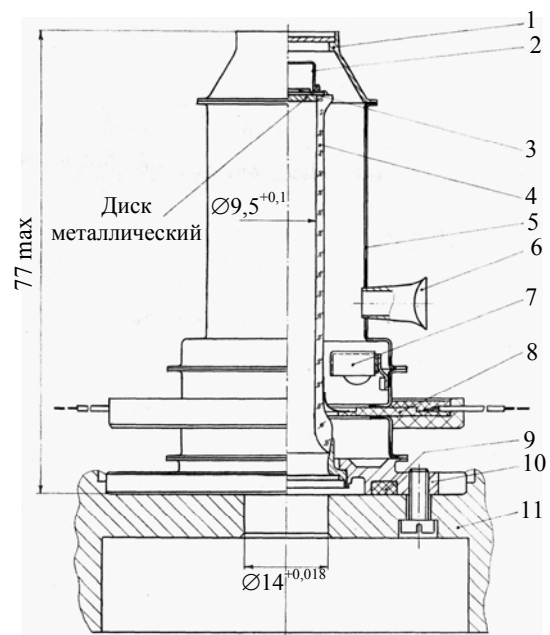


Рис. 1. Принципиальная схема вакуумной конструкции фотоприемника, работающего с микрокриогенной системой охлаждения:

- 1 — входное окно; 2 — диафрагма; 3 — ФЧЭ и термодатчики; 4 — держатель; 5 — оправа; 6 — штенгель; 7 — газо-поглотители; 8 — цоколь; 9 — уплотнитель; 10 — фланец; 11 — корпус ФПУ

Изготовление 96-площадочной линейки ФЧЭ с размером площадки 0,035×0,035 мм и шагом в линейке 0,070 мм осуществлялось по разработанной технологии [2, 6]. Для повышения вольтовой чувствительности за счет снижения скорости поверхностной рекомбинации на боковых гранях ФЧЭ при их меза-разделении в тех-

нологию введено ионное травление при криогенных температурах [7].

Для сведения к минимуму влияния паразитных засветок на внутреннюю поверхность коваровой диафрагмы электрохимическим способом наносился антиотражающий слой [8], обеспечивающий коэффициент отражения от этой поверхности не более 5 % в спектральном диапазоне 2—14 мкм. Минимальный плоский угол зрения ФП, формируемый охлаждаемой диафрагмой, составлял не менее 24°.

Вакуумирование ФП осуществлялось при повышенной температуре. Поддержание вакуума в объеме ФП при эксплуатации и хранении обеспечивалось нераспыляемыми газопоглотителями. Замер теплопритоков, изготовленных таким образом ФП, дал следующие средние значения с учетом теплоемкости отходящих паров жидкого азота: 0,35 Вт при температуре окружающей среды 20 °С и 0,5 Вт — при 50 °С.

Блок предварительного усиления сигналов (БПУ) был собран на базе разработанного в ФГУП «НПО "Орион"» малощумящего операционного усилителя Б1449УС1-1. Он был оптимизирован для применения в ФПУ с использованием обратной связи, сформированной внутри кристалла кремния. Собственный шум короткозамкнутого по входу усилителя — не более 3 нВ·Гц<sup>-1/2</sup> во всех условиях эксплуатации. Суммарный коэффициент усиления ≈5000. Микросборка 8-канального усилителя была собрана в корпусе 157.29-1. Для питания операционного усилителя использовался двухкаскадный стабилизатор напряжения 142ЕН6 с напряжением питания ±6,0 В. Для питания ФЧЭ использовался стабилизатор напряжения, разработанный в ФГУП «НПО "Орион"», с напряжением питания -9,0 В и с емкостными фильтрами для снижения помех. Полоса частот БПУ — 3,0—1,2·10<sup>5</sup> Гц, динамический диапазон по уровню напряжения шума 100.

Охлаждение ФЧЭ до температуры ≈80 К осуществлялось микрокриогенной системой с линейным приводом компрессора МСМГ-5А-1,3/80. МКС имеет демпфирующее устройство, устанавливаемое в холодной зоне, для снижения уровня механических колебаний передаваемых на ФЧЭ фотоприемника от поршня компрессора МКС. На рис. 2 приведена фотография данного многоканального фотоприемного устройства с МКС, закрепленного на технологическом кронштейне. В пользу применения МКС с линейным приводом можно привести несколько аргументов: МКС работает на постоянной частоте, поэтому возможна фильтрация электромагнитных помех; ресурс работы больше, чем у МКС с

вращательным приводом; акустический шум при работе существенно меньше.



Рис. 2. 96-канальное фотоприемное устройство с МКС, закрепленное на технологическом кронштейне

На рис. 3 приведено типичное распределение удельной обнаружительной способности  $D^*(\lambda_{\max}, 1200,1)$  и вольтовой чувствительности  $S_{(U\lambda_{\max})}$  в максимуме спектральной чувствительности вдоль линейки ФПУО. Как видно из рис. 3, данные параметры характеризуются высокой однородностью: при средних значениях  $D^*(\lambda_{\max}, 1200,1)$  и  $S_{(U\lambda_{\max})}$ , равных, соответственно,  $6,5 \times 10^{10}$  см·Гц<sup>1/2</sup>·Вт<sup>-1</sup> и  $9,1 \cdot 10^8$  В·Вт<sup>-1</sup>, разброс  $S_{(U\lambda_{\max})}$  от среднего значения составлял от 15,4 до 27,7 %.

На анализаторе спектра HP3562A фирмы Hewlett Packard исследовалась зависимость спектральной плотности напряжения шума ФПУО от частоты в диапазоне 2 Гц—100 кГц. На частоте работы поршня МКС (≈31 Гц) на всех ФПУО наблюдалось резкое (резонансное) увеличение амплитуды напряжения шума по сравнению с соседними частотами. Так, для ФПУО, распределение фотоэлектрических параметров которого изображено на рис. 3, это увеличение составило от 1,5 до 5,5 раза по линейке ФЧЭ, а на некоторых ФПУО для отдельных площадок эта величина достигала двух порядков.

≈30 Гц составляет  $10$  мВ·Гц<sup>-1/2</sup>, расчетный выброс напряжения шума увеличится в 5 раз.

Другой возможной причиной такого увеличения напряжения шума может быть проявление тензорезистивного эффекта в ФЧЭ [9, 10] с частотой перемещения поршня в охладителе МКС.

Устранение такого резонансного увеличения амплитуды напряжения шума осуществлялось

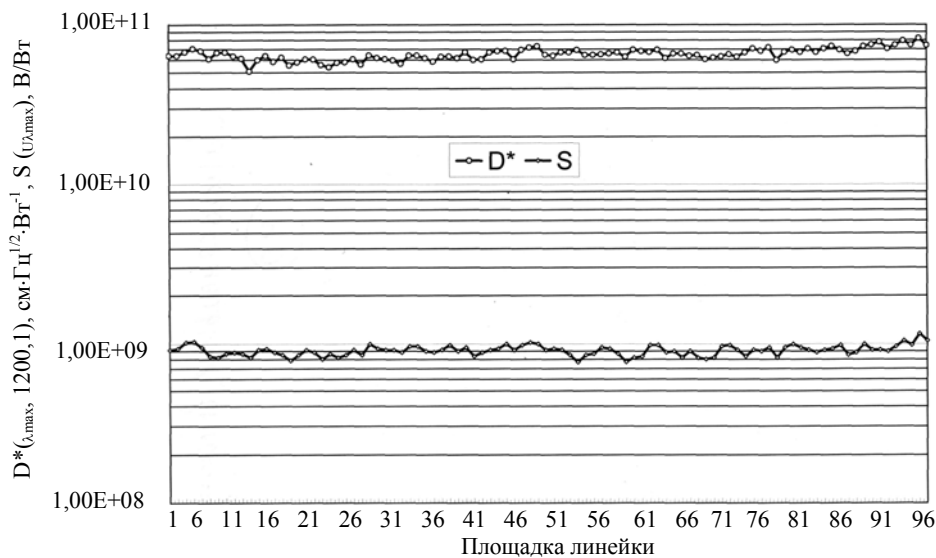


Рис. 3. Распределение удельной обнаружительной способности  $D^*(\lambda_{max}, 1200, 1)$  и вольтовой чувствительности  $S(U, \lambda_{max})$  в максимуме спектральной чувствительности вдоль линейки ФПУО

Одним из возможных механизмов, который объясняет данное явление, может быть колебание температуры охлаждения ФЧЭ. Исходя из данного предположения можно оценить напряжение, возникающее на ФЧЭ вследствие модуляции температуры. Из полученной температурной зависимости темнового сопротивления ФЧЭ в диапазоне температур 79—100 К следует, что температурный коэффициент темнового сопротивления составляет  $\approx 1$  Ом/град, а из температурной зависимости отогрева ФП с МКС в том же диапазоне температур получена скорость отогрева  $\approx 0,6$  град/с. При равенстве времен нагрева и охлаждения ФЧЭ  $(1/(31 \cdot 2) \approx 15$  мс) температура ФЧЭ будет совершать осцилляции с частотой работы МКС и с амплитудой, равной  $0,6 \text{ град/с} \cdot 15 \text{ мс} = 9 \cdot 10^{-3}$  град. Это приведет к колебанию темнового сопротивления ФЧЭ на величину, равную  $1 \text{ Ом/град} \cdot 9 \cdot 10^{-3} \text{ град} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$ . При токе смещения на ФЧЭ, равном 3 мА, амплитуда колебания напряжения составит  $9 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot 3 \text{ мА} = 27 \text{ мкВ}$  в единичной полосе, а действующее напряжение составит  $\approx 10 \text{ мкВ}$ . Учитывая, что коэффициент усиления БПУ равен  $\approx 5000$ , на выходе БПУ на этой частоте получим напряжение  $\approx 50 \text{ мВ} \cdot \text{Гц}^{-1/2}$ . Так как средний уровень шумов ФПУО на частотах вариациями конструкции демпфирующего устройства, расположенного между гильзой МКС и дном держателя. На рис. 4 приведена типичная зависимость спектральной плотности шума ФПУО в диапазоне 2 Гц—100 кГц со специально подобранным демпфирующим устройством, имеющим усилие сжатия существенно меньше по сравнению со стандартным устройством. Как видно из рис. 4, в спектре шума отсутствуют резонансные частоты.

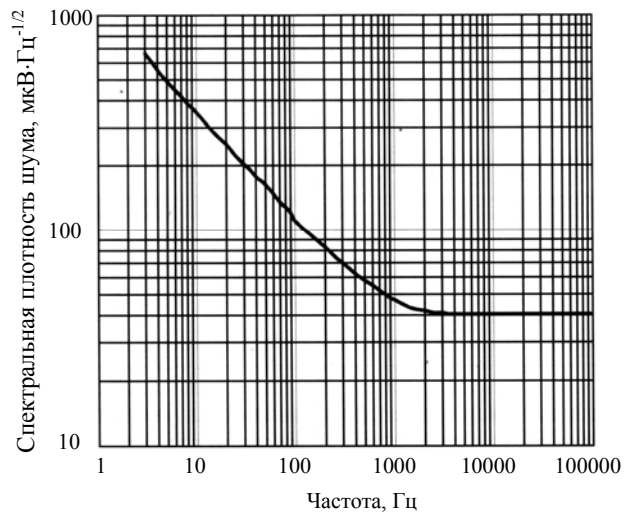


Рис. 4. Зависимость спектральной плотности шума ФПУО в диапазоне 2 Гц—100 кГц

Для исследования теплофизических характеристик ФПУО снимались зависимости потребляемой мощности МКС от времени работы ФПУО с таким демпфирующим устройством. На рис. 5 приведена типичная зависимость потребляемой мощности от времени работы ФПУО при температуре окружающей среды 20 °С (кривая —♦—) и 50 °С (кривая —▲—). Как видно на рис. 5, время достижения температуры 100 К (подача рабочего напряжения на ФЧЭ) составляет 2—3 мин, а время достижения температуры 80 К — не более 3 мин при температуре окружающей среды 20 °С и не более 5 мин — при 50 °С. Потребляемая мощность в стационарном режиме для ФПУО с вакуумным ФП при температуре окружающей среды 50 °С составляет не более 60 Вт, включая питание МКС, БПУ и ФП.

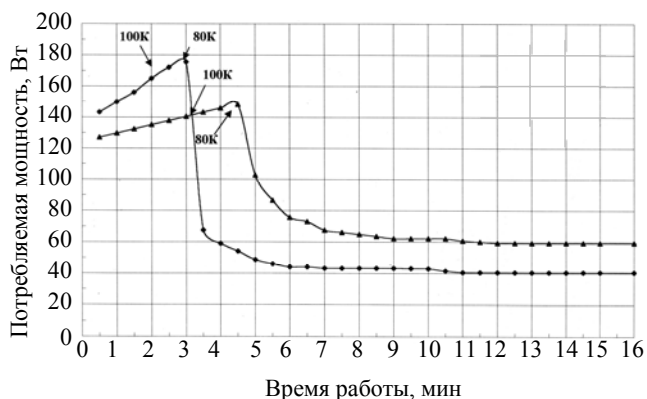


Рис. 5. Зависимость потребляемой мощности МКС от времени работы ФПУО при температуре окружающей среды 20 °С (—◆—) и 50 °С (—▲—)

Авторы выражают благодарность Ю. П. Шаронову за полезные советы при проведении исследований.

#### Литература

1. Бовина Л. А., Стафеев В. И. Фотодиоды и фотодиодные матрицы на основе  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ // Прикладная физика. 1999. № 2. С. 58.

2. Трошкин Ю. С., Филатов А. В., Алексеевичева В. С., Гусаров А. В., Коришнова А. П., Поповян Г. Э., Посевин О. П. Вакуумные фотоприемники для диапазона 8—12 мкм на основе фоторезисторов из  $\text{CdHgTe}$ // Там же. С. 63.

3. 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  $\text{CdHgTe}$ // Там же. С. 76.

4. Гусаров А. В., Поповян Г. Э., Трошкин Ю. С., Филатов А. В., Филачев А. М., Хитрова Л. М.// Свидетельство на полезную модель 16626 РФ, 2001.

5. Поповян Г. Э., Трошкин Ю. С., Филачев А. М., Филачев А. М., Хитрова Л. М.// Свидетельство на полезную модель 10879 РФ, 1999.

6. Поповян Г. Э., Трошкин Ю. С., Филатов А. В., Филачев А. М., Хитрова Л. М.// Свидетельство на полезную модель 11938 РФ, 1999.

7. Филатов А. В., Лукаш В. И., Поповян Г. Э., Трошкин Ю. С., Шаронов Ю. П. Влияние режимов ионного травления на параметры фоторезисторов из  $\text{CdHgTe}$ // Прикладная физика. 2002. № 6. С. 123.

8. Беляев В. П., Поповян Г. Э., Трошкин Ю. С., Филатов А. В., Филачев А. М.// Пат. РФ 2178018, 2002.

9. Баранский П. И., Клочков В. П., Потыкевич И. В. Полупроводниковая электроника. Свойства материалов. Справочник. — Киев: Наукова думка. 1975. С. 102.

10. Берченко Н. Н., Кревс В. Е., Средин В. Г. Полупроводниковые твердые растворы и их применение. Справочные таблицы// Военное издательство МО СССР. — М., 1982. С. 108.

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2004 г.

## The multichannel high-sensitivity photoreception device with small time output for an operating conditions on the basis of the photoresistor from $\text{HgCdTe}$

V. S. Alekseevicheva, I. D. Burlakov, A. P. Ilieva, P. A. Kuznetsov, G. E. Popovyan,  
V. P. Ponomarenko, Yu. S. Troshkin, A. V. Filatov, Yu. N. Esaulov  
ORION Research-and-Production Association, Moscow, Russia

M. V. Lipin

STC Cryogenic Technique Ltd., Omsk, Russia

The results of development of the first domestic high-sensitivity 96-channel photoreception device are given on the basis of the vacuum photoresistor from  $\text{HgCdTe}$  for a spectral range 8—12 microns cooled by microcryogenic system of a type Linear-Split-Cycle-Stirling Cooler, with specific detectivity in a maximum of spectral sensitivity  $(5-6,5) \cdot 10^{10} \text{ sm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$  and time of an output no more than 5 min on a mode of cooling 80 K at temperature of an environment 50 °C.

УДК 621.383.52:546.48'49'24

## Оптический фильтр ИК-фотоприемника на основе эпитаксиального слоя КРТ, выращенного методом эпитаксии из металлоорганических соединений

К. О. Болтарь, Н. И. Яковлева, И. Д. Бурлаков, В. И. Стафеев,  
М. В. Седнев, Е. В. Пермикина

ФГУП «Научно-производственное объединение "Орион"» — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

А. Н. Мусеев, А. П. Котков, Н. Д. Гришинова