

ФОТОПРИЕМНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ТЕПЛОВИЗОРА

Разработана технология изготовления фотоприемного модуля, охлаждаемого термоэлектрическим холодильником. В качестве фоточувствительного элемента используются фоторезисторы на основе гетерозпитаксиальных пленок КРТ, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Длинноволновой край чувствительности 5–7 мкм. Пороговая мощность $(1-5)10^{-10}$ Вт в полосе частот 0,1 Гц – 1 кГц. Разработан блок электроники, обеспечивающий необходимую стабилизацию рабочей точки (температуру и смещение) фоторезистора, усиление и фильтрацию сигнала.

Введение. Производство тепловизионного оборудования для гражданского применения (ГП) – контроль утечек тепла в зданиях, контроль линий электропередач, газопроводов, нефтепроводов, медицина и т. д. – базируется в основном на использовании одиночных фотоприемников (ФП), охлаждаемых жидким азотом. Это связано с тем, что одиночные охлаждаемые ФП с высокими параметрами позволяют обеспечить необходимое для ГП соотношение между температурным разрешением, пространственным разрешением и быстродействием, а стоимость линейчатых и матричных ФП чрезвычайно велика для использования их в ГП.

Однако в тепловидении ГП для многих задач не требуются предельные параметры инфракрасных ФП. К тому же не везде имеется возможность использования жидкого азота (например, переносной тепловизор, системы технологического контроля, доступ в которые затруднен или вообще невозможен в рабочем режиме, и другие). В этом случае необходимо использовать неохлаждаемые ФП или охлаждаемые ФП с помощью холодильников, работающих на основе эффекта Пельтье. За рубежом в последние годы ведутся интенсивные разработки матричных болометрических ФП. Сравнительно низкая ожидаемая стоимость и широкий спектральный диапазон делают их весьма привлекательными для применения в системах тепловидения ГП. Другая возможность – использование традиционных одиночных ФП при небольшом охлаждении с помощью термоэлектрических холодильников. При температурах, получаемых с помощью термоэлектрических пельтье-холодильников (~200 К), наиболее подходящими являются ФП на основе твердого раствора кадмий–ртуть–теллур (КРТ). На основе КРТ

можно изготовить ФП, работающие в широком спектральном диапазоне чувствительности от 1 до 20 мкм. Это достигается изменением состава КРТ.

Теоретическому и экспериментальному изучению высокотемпературных ФП на основе КРТ посвящено большое количество работ. Большинство представляющих практический интерес результатов обобщены и систематизированы в обзоре [1]. Подробный с учетом геометрических факторов и технологических возможностей теоретический анализ ФП на основе КРТ, имеющих рабочую температуру вблизи комнатной, приведен в [2].

Особенностью применения тепловизора ГП является небольшое расстояние до объекта (десять метров). На таких расстояниях поглощение парами воды в атмосфере не существенно. Тем не менее в области 4,1–4,7 мкм поглощение газами CO_2 , CO может быть велико. Проведенный нами анализ практически достижимых параметров ФП на основе КРТ в зависимости от длинноволновой границы показал, что для объектов с температурой в диапазоне 20–60 °С лучшие параметры могут обеспечить фоторезисторы (ФР) с длинноволновой границей 6–7 мкм. Для более горячих объектов могут быть применены ФП на основе диодов с длинноволновой границей в районе 4 мкм.

Однако изготовление ФР, работающих при температурах вблизи комнатной с длинноволновой границей 6–7 мкм, – достаточно сложная задача. Для ФР, работающих при температурах жидкого азота, практически все параметры определяются качеством исходного материала. Сами ФР представляют собой брусок однородного материала (пленки) *n*-типа проводимости с омическими контактами. Для ФР работающих при температурах вблизи комнатной, введение неоднородностей (неоднородное легирование, неомические контакты и т. п.) может быть использовано для повышения чувствительности. Это приводит к тому, что в реальных ФР возможна сильная зависимость фоточувствительности и шумов, особенно $1/f$ -шума, от частоты, рабочей температуры, величины и полярности приложенного к резистору напряжения смещения. Поэтому при использовании ФР, работающих с термоэлектрическим охлаждением, существует проблема задания рабочей точки.

Изготовители обычно приводят основные параметры своих ФП (обнаружительная способность D^* , пороговая мощность $P_{\text{пор}}$), измеренные на высокой частоте (десятьки килогерц), там, где нет $1/f$ -шума, причем при минимально достижимой используемой гелиево-холодильником температуре, в условиях, когда температура корпуса приемной головки равна 20 °С. В реальной ситуации температура корпуса тепловизора и соответственно головки ФП может быть значительно выше комнатной, и потому температура фоточувствительного элемента окажется выше определенной изготовителем. Нижняя рабочая частота в тепловизорах ГП обычно составляет единицы или даже десятые доли герца. Все это приводит к тому, что ФП с высокими паспортными параметрами при установке в тепловизионную систему оказывается совершенно неспособным создать нужное качество изображения. Поэтому для заданных условий эксплуатации тепловизионной системы и заданного частотного диапазона необходимо оптимизировать рабочую точку ФР по зависимостям чувствительности и спектральной плотности шума от температуры, напряжения смещения и частоты с учетом характеристик пельтье-холодильника. Пользователю для этого потребуется много времени, соответствующее с оборудованием и квалификацией.

Исходя из этих соображений, для использования в тепловизионных системах нами были разработаны и изготовлены фотоприемные модули (ФПМ), которые являются законченной конструкцией и не требуют от пользователя каких-либо усилий по оптимизации рабочей точки самого ФП и согласования его с усилителем.

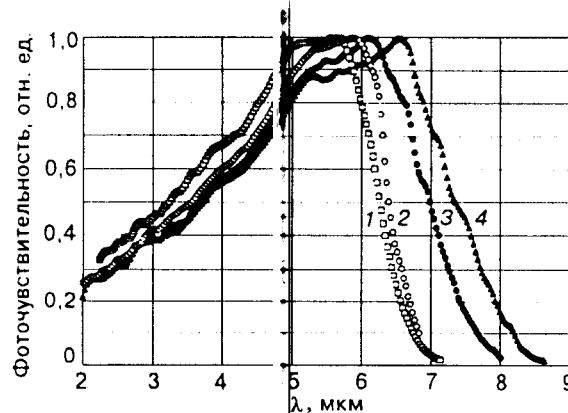
Устройство и характеристики ФПМ. Фотоприемный модуль состоит из размещенных в общем корпусе фотоприемной головки и блока электроники. Фотоприемная головка включает в себя термоэлектрическую батарею, фоторезистор на основе КРТ и датчик температуры, расположенные на холодной поверхности батареи. Блок электроники обеспечивает необходимую стабилизацию рабочей точки (температуру и смещение) фоторезистора, усиление и фильтрацию сигнала.

ФР представляет собой мезоструктуру, изготовленную на основе гетероструктуры КРТ, выращенной методом МЛЭ на подложке из арсенида галлия. На поверхности пленки и границе с буферным слоем выращивались широкозонные слои с составом $x_{\text{CdTe}} = 0,3 - 0,5$ и толщиной $0,5 - 1,5$ мкм для уменьшения влияния поверхностной рекомбинации и обеспечения долговременной стабильности параметров фоторезисторов.

Фотоприемная головка заполнена сухим азотом и герметизирована. Входное окно изготовлено из BaF_2 .

Использовались два типоразмера ФР. ФР с активной площадкой $0,1 \times 0,1$ мм и контактными площадками $0,3 \times 0,3$ мм предназначены для распространенных тепловизоров на одиночных фотоприемниках. ФР с активной площадкой 1×1 мм и контактными площадками 1×1 мм изготовлены для специального широкоугольного (угол обзора равен 110°) тепловизора со спиральной разверткой.

Ниже приведены характеристики ФПМ, используемого в составе тепловизионной системы технологического контроля за изготовлением детонационных шнуров на Новосибирском механическом заводе «Искра». В техноло-



Спектральные характеристики фотоприемных модулей:

1 — $P_{\text{пор}}(\lambda_{\text{max}} = 5,6 \text{ мкм}) = 1,1 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}$; 2 — $P_{\text{пор}}(\lambda_{\text{max}} = 5,9 \text{ мкм}) = 1,9 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}$; 3 — $P_{\text{пор}}(\lambda_{\text{max}} = 6,1 \text{ мкм}) = 3 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}$; 4 — $P_{\text{пор}}(\lambda_{\text{max}} = 6,6 \text{ мкм}) = 5 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}$. Пороговые мощности приведены для полных частот $0,1 \text{ Гц} - 60 \text{ кГц}$

гическом процессе контролируется распределение температуры поверхности в диапазоне 30 – 120 °С. Модуль эксплуатируется с ноября 1997 года.

Основные параметры ФПМ: длинноволновая граница фоточувствительности (λ_c) 6,2 мкм; положение максимума спектральной чувствительности (λ_{\max}) 5,6 мкм; вольт-ваттная чувствительность модуля ($R_V(\lambda_{\max})$) $7,2 \cdot 10^6$ В/Вт; нестабильность вольт-ваттной чувствительности при изменении окружающей температуры от 0 до 45 °С не более 1,5 %; фоточувствительная площадь (A) $0,1 \times 0,1$ мм; апертурный угол (2θ) 66°; расстояние от плоскости фотоприемника до внешней поверхности модуля (минимальный рабочий отрезок) 8 мм; рабочая полоса частот (по уровню 3 дБ) 0,1 Гц – 60 кГц; пороговая мощность на λ_{\max} в рабочей полосе частот $1,1 \cdot 10^{-10}$ Вт; требования к источнику питания: $V_{\text{пит1}}$ – $+6,5 \text{ В} \pm 5 \%$, 1 А; $V_{\text{пит2,3}}$ – $\pm 15 \text{ В} \pm 10 \%$, 50 мА; габариты модуля $100 \times 70 \times 60$ мм.

Спектральная характеристика ФПМ представлена на рисунке (кривая 1). На этом же рисунке показаны спектральные характеристики других ФПМ, имеющих длинноволновые границы в диапазоне длин волн 5–7 мкм (кривые 2–4).

Заключение. Разработана технология изготовления фотоприемного модуля, работающего при охлаждении термоэлектрическим холодильником и предназначенного для тепловизора на одиночном фотоприемнике с высокими фотоэлектрическими характеристиками в заданном спектральном диапазоне. Такие характеристики позволяют применять данный ФПМ вместо охлаждаемых жидким азотом фотоприемников.

Разработанный ФПМ используется в действующем тепловизоре, эксплуатируемом в заводских условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rogalski A., Piotrowski J. Intrinsic infrared detectors // Prog. Quant. Electron. 1988. 12. P. 87.
2. Niedziela T. Near room temperature narrow-bandgap infrared photon detectors // Publishing Division of Air Force Institute of Technology. Warsaw, 1996.

Поступила в редакцию 26 мая 1998 г.