

УДК 621.383.4/5.029.71./73

Матричные фотоприемники 128×128 на основе слоев HgCdTe и многослойных гетероструктур с квантовыми ямами GaAs/AlGaAs

В. Н. Овсяк, Ю. Г. Сидоров, В. В. Васильев, В. В. Шашкин
Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

Разработана технология и изготовлены фотоприемные модули для спектральных диапазонов 3—5 и 8—12 мкм на основе гетероструктур Hg_{1-x}Cd_xTe/GaAs и многослойных гетероструктур с квантовыми ямами GaAs/AlGaAs, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Фоточувствительные слои Hg_{1-x}Cd_xTe выращивали на подложках GaAs с промежуточным буферным слоем CdZnTe. В целях уменьшения влияния поверхности на рекомбинационные процессы выращивались варизонные слои Hg_{1-x}Cd_xTe с повышенным составом к поверхности. Разработан и изготовлен по КМОП/ПЗС-технологии кремниевый мультиплексор с кадровой частотой считывания изображения 50 Гц. Гибридная микросборка матричных фотоприемников и мультиплексора проводилась методом групповой холодной сварки на индиевых столбах с контролем процесса присоединения. Изготовленные модули на основе слоев Hg_{1-x}Cd_xTe размерностью 128×128 элементов при рабочей температуре 78 К и частоте кадров 50 Гц имели температурное разрешение 0,02 и 0,032 К для модулей с границей чувствительности 6,0 и 8,7 мкм, соответственно. Фоточувствительные многослойные структуры с квантовыми ямами (МСКЯ) GaAs/AlGaAs изготавливали методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Показано, что разработанная технология позволяет получать многоэлементные фотоприемники размерностью 128×128 элементов ($\lambda_{\text{пик}} \approx 8$ мкм) с температурным разрешением модуля 0,021 и 0,06 К при рабочей температуре 54 и 65 К, соответственно.

Для разработки и изготовления фотоприемных модулей необходимо развитие следующих базовых технологий:

- молекулярно-лучевая эпитаксия для выращивания слоев Hg_{1-x}Cd_xTe и многослойных структур GaAs/AlGaAs;
- изготовление многоэлементных фоточувствительных структур;
- изготовление кремниевого мультиплексора;
- гибридная микросборка фоточувствительных структур и мультиплексора;
- разработки оборудования и методик для тестирования и оценки параметров фотоприемных модулей.

Ниже рассмотрены основные особенности этих технологий и приведены параметры изготовленных фотоприемных модулей.

Технология МЛЭ для выращивания слоев Hg_{1-x}Cd_xTe

Важными исходными параметрами материала для получения высокочувствительных ИК-фотоприемников (ФП) являются как электрофизические параметры (концентрация основных носителей заряда и их подвижность, время жизни неосновных носителей заряда), так и структурное совершенство (минимальная плотность дислокаций). Для $p-n$ -перехода необходимы оптимальные концентрации носителей в соответствующих областях и большое

время жизни. Последнее, как правило, лимитируется присутствием в пленке ловушек, которые связывают с наличием дислокаций. Особенно это важно для фотоприемников, работающих в спектральном диапазоне 8—12 мкм. Плотность дислокаций в материале для таких ИК-фотоприемников не должна превышать 10^5 см^{-2} . Для приемников, работающих в диапазоне 3—5 мкм, дислокации начинают влиять на их электрофизические характеристики при плотностях более 10^6 см^{-2} .

Значительного снижения стоимости получения материала CdHgTe для большеформатных ИК-фотоприемников позволяет применять метод МЛЭ при использовании так называемых альтернативных подложек из арсенида галлия и из кремния с промежуточным слоем CdZnTe . Преимущества метода МЛЭ при создании эпитаксиальных слоев над другими делают его наиболее технологичным и простым [1]. Применение аналитических средств контроля, основанных на оптоэлектронных эффектах, позволяет проводить процессы эпитаксии с контролем параметров в реальном времени. Лучшими являются оптические методы, среди которых в последнее время получил развитие метод эллипсометрии. Данный метод позволяет измерить скорость роста на начальной стадии, состав растущего слоя для сложных соединений, изменение рельефа растущей поверхности, температуру роста.

Эпитаксиальные слои КРТ на подложках CdZnTe , согласованные по параметрам кристаллических решеток, имеют высокое кристаллическое совершенство, которое определяется в основном кристаллическим совершенством подложки. Такие слои используют для производства матричных многоэлементных ФП с высокими фотоэлектрическими параметрами. Однако увеличение размерности фотоприемников приводит к резкому возрастанию их стоимости. Применение подложек из арсенида галлия и кремния дает возможность выращивать эпитаксиальные слои КРТ большой площади. Структурное совершенство таких слоев оказывается ниже, чем аналогичных на подложках CdZnTe . Тем не менее такие слои используются для создания матриц фотодиодов размерностью до 256×256 диапазона длин волн 8—12 мкм и матриц большей размерности (до 1024×1024) — для среднего ИК-диапазона.

Один из важных параметров слоев КРТ для многоэлементных ФП — однородность состава по площади. Причем для ФП, работающих в диапазоне 8—12 мкм, изменение состава не должно превышать $\Delta x = 0,002$ на 10 мм на пластине диаметром до 76 мм. Для выращивания однородных по толщине эпитаксиальных пленок КРТ необходимо разработать молекулярные источники с практически неизменными молекулярными потоками в течение длительного времени и знать последующие изменения при уменьшении вещества в тиглях, чтобы можно было корректировать температуры источников для поддержания стабильных молекулярных потоков [2].

Нами разработано и изготовлено оборудование для МЛЭ с автоматизированной системой управления технологическими процессами и средствами контроля качества слоев в процессе роста (*in situ*), ориентированное на промышленное производство эпитаксиального материала КРТ на различных подложках.

Установка МЛЭ представляет собой технологическую линию, построенную на основе проведенных физико-химических исследований процессов эпитаксии из молекулярных пучков на подложках CdTe и GaAs [3]. Технологический модуль имеет оригинальную конструкцию и предназначен для выращивания слоев методом МЛЭ, в том числе и ртутьсодержащих.

Разработанная система автоматизированного управления технологическим процессом обеспечивает прецизионное поддержание условий процесса выращивания буферных слоев на подложке GaAs и пленок КРТ. Использование автоматического эллипсометра позволяет менять состав слоя по толщине по заданной программе или поддерживать его постоянным с высокой степенью точности, корректируя температуры молекулярных источников. Гетероструктура на основе слоев CdHgTe для изготовления многоэлементных ФП выглядит следующим образом:

- варизонный слой — CdHgTe, $x = 0,22-0,3$; $d = 0,5-1,0$ мкм;
- однородный слой — CdHgTe, $x = 0,22$; $d = 6-10$ мкм;
- варизонный слой — CdHgTe, $x = 0,22-0,3$; $d = 0,5-1,0$ мкм;
- буферный слой — CdZnTe, $d = 3,4$ мкм;
- подложка — GaAs, $d = 300-400$ мкм.

Фотоприемные матрицы 128×128 на основе ГЭС слоев CdHgTe для среднего и дальнего ИК-диапазонов

Молекулярно-лучевая эпитаксия, позволяя варьировать состав слоев CdHgTe в процессе роста, является универсальным методом при создании фоточувствительных структур для ИК-фотоприемников. Изменение состава рабочего слоя позволяет изготавливать ФП, обладающие высокой чувствительностью в широком спектральном диапазоне. Ранее нами было показано [4], что введение широкозонных слоев на границах позволяет исключить влияние поверхностей на рекомбинации носителей заряда и получать большие эффективные времена жизни.

При использовании многоэлементных фотоприемных устройств на основе слоев CdHgTe, полученных методом МЛЭ, существенным параметром является последовательное сопротивление растекания по подложке. Суммарный ток от отдельных $n-p$ -переходов, текущий в p -слое CdHgTe к базовому контакту, может достигать величины, при которой падение напряжения в слое изменяет рабочую точку (напряжение смещения) фотодиодов. В работе [5] продемонстрированы возможности метода МЛЭ для изготовления одиночных фотодиодов с низким (до 10 Ом) последовательным сопротивлением путем выращивания слоев со специальным профилем. Нами разработана технология изготовления матричных фотоприемных структур размерностью 128×128 элементов с низким последовательным сопротивлением, которая обеспечивает однородный рабочий режим каждого элемента матрицы.

Фоточувствительные слои CdHgTe выращивались на подложке GaAs диаметром 76 мм с ориентацией (103) с промежуточным буферным слоем CdZnTe. Температура роста слоя CdHgTe — 180÷190 °С, буферного слоя — 240÷300 °С. Неоднородность состава по площади 1 см² составляла не более $\Delta X = \pm 0,002$. Непосредственно после роста пленки имеют n -тип проводимости. После отжига при $T = 230$ °С в течение 200 ч тип проводимости конвертировался в p -тип. Концентрация дырок p и подвижность μ_p в объеме пленки при $T = 77$ К составляли $7 \cdot 10^{15}$ см⁻³ и 320 см²V⁻¹c⁻¹ (для образца с $\lambda_c = 6,0$ мкм) и $1,6 \cdot 10^{16}$ см⁻³ и 300 см²V⁻¹c⁻¹ (для образца с $\lambda_c = 8,7$ мкм), соответственно.

Методом низкотемпературной планарной технологии [6] на выращенных слоях CdHgTe были изготовлены матричные фотоприемники размерностью 128×128 элементов с шагом фоточувствительных элементов 50 мкм. Фотодиоды сформированы ионной имплантацией бора с энергией ионов 120 кэВ. Площадь $n-p$ -переходов составляла 17×17 мкм².

Перед сборкой с мультиплексором были измерены вольт-амперные характеристики и зависимости дифференциального сопротивления от напряжения смещения произвольных элементов матричных фотоприемников. Средние величины произведения R_0A элементов матричных фотоприемников составляли $6 \cdot 10^3$ и $22 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ для среднего и дальнего ИК-диапазонов, соответственно.

Технология и фотоприемные матрицы 128×128 на основе МСКЯ GaAs/AlGaAs

Фотоприемные элементы на основе МСКЯ GaAs/AlGaAs представляют собой периодическую структуру из узкозонного легированного GaAs и широкозонного твердого растворов $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, окруженных проводящими слоями GaAs. При толщине слоев GaAs меньше или сравнимой с длиной свободного пробега электронов происходят квантование их движения в направлении оси роста и расщепление энергетических состояний в зоне проводимости GaAs на мини-зоны с энергией $E_n \approx p_{||}^2/2m^* + (h^2\pi^2/2m^*a^2)n^2$, где $p_{||}$ — импульс электрона в плоскости слоев; m^* — эффективная масса; a — ширина квантовой ямы GaAs; h — постоянная Планка; $n = 1, 2, \dots$ — целое число.

Фотопроводимость в такой структуре обеспечивается оптически активными переходами, разрешенными только для поляризации света, перпендикулярной квантово-размерным слоям, между нижней заполненной мини-зоной и разрешенными связанными состояниями внутри ямы GaAs или несвязанными состояниями над потенциальным барьером (край зоны проводимости AlGaAs). Параметры фотоприемника (квантовая эффективность, величина темнового тока) зависят от положения уровней квантования относительно друг друга и относительно потенциального барьера, от величины тянущего электрического поля, концентрации электронов в яме GaAs, рабочей температуры и размеров отдельного фотоприемного элемента.

Фоточувствительные структуры изготавливались МЛЭ на установке Riber 32P. В качестве подложек использовался полуизолирующий GaAs АГЧП-10 диаметром 2". Расчетная толщина слоев GaAs и состав барьеров $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ выбирались таким образом, чтобы второй уровень в квантовой яме (КЯ) GaAs находился ниже края зоны проводимости $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ на 5—15 мэВ. В этом случае обеспечивалось максимальное значение отношения фототока к темновому току при напряжениях смещения на структуре 2—4 В.

Особое значение имеют точность изготовления состава барьеров $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ и его однородности по площади. Высокая однородность толщины слоев по площади образца в данной установке (в пределах $(x - x_0) < 0,01$) достигалась за счет определения оптимального угла положения манипулятора относительно источников и вращения подложки во время роста. Установлено, что для оптимального углового положения оси подложки относительно молекулярных источников неоднородность толщины слоя GaAs по площади пластины не превышает 1,5 %.

Специфика испарения Al предполагает однородность по площади не хуже, чем для GaAs, что и было подтверждено измерениями. Кроме того, нами использовался описанный в литературе прием прерывания роста на стадии завершения выращивания ямы GaAs для "выглаживания" поверхности. Время "выглаживания" варьируется в интервале 10—30 с. Контроль за процессом "выглаживания" осуществляется путем наблюдения за интенсивностью зеркального рефлекса ДБЭ. Исследование различных МСКЯ, выращенных в оптимизированных условиях, методами просвечивающей электронной микро-

скопии высокого разрешения, низкотемпературной фотолуминесценции и комбинационного рассеяния света, показало, что шероховатость гетерограниц не превышает одного монослоя. Толщина барьерных слоев $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ составляла $400\text{--}500 \text{ \AA}$ и была выбрана с таким расчетом, чтобы туннельная составляющая тока между основными уровнями квантования в соседних ямах была пренебрежимо мала по сравнению с термоактивационным током в диапазоне температур $60\text{--}80 \text{ K}$.

Фоточувствительный слой состоял из 50 периодов КЯ GaAs и барьеров $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. С обеих сторон фоточувствительного слоя изготавливались проводящие контакты из GaAs:Si толщиной 1 мкм. Концентрация Si в проводящих контактных слоях составляла $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Концентрация Si в квантово-размерных слоях GaAs выбиралась в пределах $(4\text{--}5) \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$, что близко к оптимальной концентрации для МСКЯ фоторезисторов. Во избежание накопления примесного Si на границах раздела GaAs/AlGaAs легирование квантовых ям проводилось в центральных частях GaAs на расстоянии двух монослоев от гетерограниц.

Воспроизводимость ростовых параметров МЛЭ AlGaAs, однородность, структурное совершенство слоев и точность поддержания состава $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ позволяют изготавливать структуры с заранее заданными параметрами.

На рис. 1 изображены расчетные и экспериментальные зависимости темнового тока в МСКЯ-структурах с различной спектральной фоточувствительностью. В расчетах принималось, что в AlGaAs с $x \approx 0,3$ электронная подвижность $\mu_e = 2 \cdot 10^3 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ и скорость насыщения $V_s = 7 \cdot 10^7 \text{ см/с}$. Энергия донорного состояния в КЯ $E_D \approx 11,6 \text{ мЭВ}$.

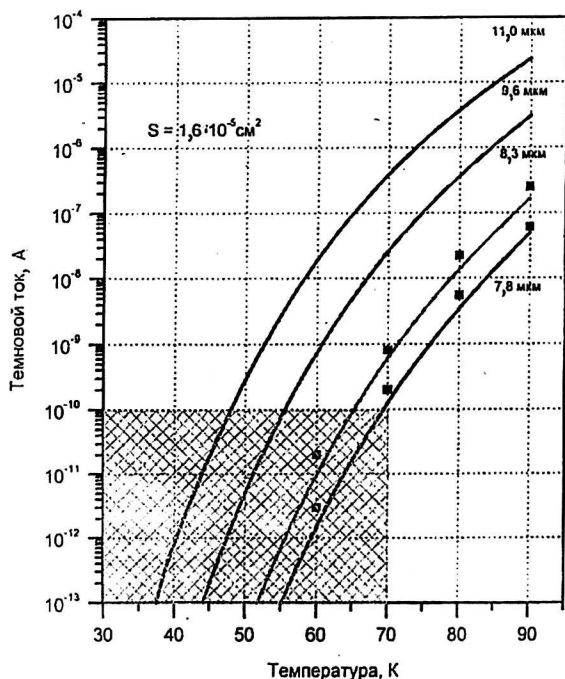


Рис. 1. Расчетные (линии) и экспериментальные (точки) зависимости темнового тока фоторезисторов МСКЯ GaAs/AlGaAs с различным положением максимума фоточувствительности. Заштрихованная область — рабочий диапазон температур и токов матричного фотоприемного модуля с зарядовой емкостью $4 \cdot 10^7$ электронов

Матрица фотоприемников изготавливалась методами фотолитографии и представляет собой периодически расположенные мезаструктуры, полученные жидкостным травлением, размером 40×40 мкм и периодом 50 мкм. Нижний контактный слой GaAs:Si — общий для всех элементов [7]. Омические контакты к проводящим слоям GaAs:Si получены вжиганием Ge/Au/Ni/Au. Для того чтобы обеспечить поглощение ИК-излучения в МСКЯ при нормальном падении света на матрицу фотоприемников со стороны подложки, на каждом фотоприемном элементе матрицы методами электронной и оптической литографии изготавливалась двумерная дифракционная решетка в виде шахматной доски с периодом 2,8—3,0 мкм. Травление решетки осуществлялось в плазме CCl_2F_2 на глубину 0,7—0,8 мкм. Для гибридной сборки фотоприемной матрицы с кремниевым мультиплексором на поверхности омического контакта выполнялись In-столбы высотой 5—7 мкм.

Кремниевый мультиплексор

Разработаны два типа кремниевых мультиплексоров.

Первый тип мультиплексора выполнен с прямым доступом к произвольным элементам фотоприемной матрицы и с внешним накоплением; использовался для детального обследования таких параметров массива элементов матрицы, как вольт-амперные характеристики, спектральная чувствительность, шумовые параметры и т. п. Однако мультиплексор может использоваться и самостоятельно для получения ИК-изображения при небольшой (до 10 Гц) частоте кадров. Его преимущество — возможность работы с фотоприемниками при высоких темновых токах (для фотоприемников с границей чувствительности более 12 мкм) и повышенных (до 200 К) температурах.

Второй тип мультиплексора разработан и изготовлен по КМОП/ПЗС-технологии с *n*-карманом. Мультиплексор используется для считывания фотосигналов с матрицы фотодиодов на CdHgTe и с матрицы фоторезисторов на МСКЯ GaAs/AlGaAs. Схема считывания позволяет регулировать время накопления при фиксированном времени кадра, что обеспечивает увеличение динамического диапазона ИК-ФПУ при высоком уровне входных токов. На рис. 2 представлена его схема.

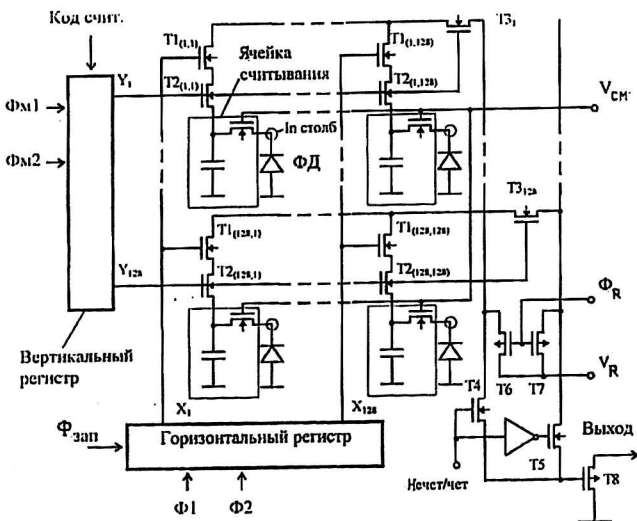


Рис. 2. Принципиальная схема кремниевого мультиплексора

Мультиплексор состоит из матрицы 128×128 ячеек считывания, горизонтального и вертикального регистров, схемы управления временем накопления и выходного узла. Каждая ячейка считывания мультиплексора непосредственно соединена с фотодиодом через индиевый столб и содержит входной транзистор, емкость накопления и два ключа T1 и T2, затворы которых присоединены к адресным шинам. С помощью входного транзистора устанавливается напряжение смещения на ФП и считывается фототок. Фототок интегрируется на емкости ПЗС под затвором накопления. Емкость накопления составляет 1 пФ.

Минимальное время накопления равно времени считывания двух строк, максимальное — времени кадра. Режим “электронной заслонки”, предусмотренный в мультиплексоре, позволяет расширить динамический диапазон входных сигналов в 64 раза по сравнению со случаем интегрирования фототока в течение всего времени кадра. Максимальный входной ток мультиплексора составляет 0,3—20 нА для максимального и минимального времени накопления, соответственно.

Гибридная микросборка матричных фотоприемных модулей

Сборка матричных фотоприемных модулей на основе КРТ осуществлялась методом холодной сварки под давлением индиевых микростолбов [6, 8]. Кристаллы мультиплексора и фотоприемной матрицы ориентировали друг относительно друга по осям соединяемых матриц так, что отклонение от идеального совпадения краевых индиевых микростолбов было не более 2 мкм в плоскости планара (XY), а перекося по оси Z не превосходил ± 1 мкм. В процессе сжатия кристаллов предусмотрена автопланаризация их поверхностей. К моменту завершения процесса холодной сварки планарные поверхности останавливаются на заданном расстоянии друг от друга. Боковой дрейф кристаллов в процессе сварки составляет не более 2 мкм. Максимальная предельная механическая нагрузка определяется из измеренных кривых пластического течения индиевых столбов [8], их высоты и площади. Давление, необходимое для пластического течения индиевых столбов, находится в интервале 0,3—0,9 кгс/мм². Проведенные исследования влияния вертикального давления на параметры n — p -переходов в слоях CdHgTe показали, что их деградация начинается при давлении более 1,5 кгс/мм² [9]. Поэтому для надежной сварки индиевых столбов при сборке модулей на основе КРТ нами используется давление не более 1,0 кгс/мм², при этом количество соединенных ячеек достигает 99,9 %. Сборка модулей на МСКЯ GaAs/AlGaAs осуществлялась по аналогичной технологии, но в отличие от КРТ не наблюдалось деградации электрофизических характеристик фотоматриц при увеличении давления до 5—6 кгс/мм².

Параметры фотоприемных модулей на основе CdHgTe

Определение фотоэлектрических параметров фотоприемных модулей проводилось при рабочей температуре 78—80 К и температуре фона 293 К. Фоновый поток ограничивался охлаждаемой диафрагмой и составлял в диапазоне фоточувствительности $4,43 \cdot 10^{15}$ и $2,97 \cdot 10^{16}$ фотонов/(см²·с) для первого ($\lambda_c = 6,0$ мкм) и второго ($\lambda_c = 8,7$ мкм) модулей, соответственно. Время интегрирования сигнала для первого модуля составляло около 900 мкс (накопление в течение шести строк при кадровой частоте 50 Гц), а для второго модуля — 130 мкс. В этом случае для получения времени интегрирования менее длительности одной строки подача смещения на фотодиоды осуществлялась импульсом,

длительность которого и определяла время накопления. Измерение электрического сигнала производилось быстродействующим 14-битным АЦП с достаточно малым собственным шумом (менее 0,5 младшего разряда), что позволило свести к минимуму погрешность в определении шумов.

Ниже приведены основные параметры фотоприемных модулей на основе CdHgTe для среднего и дальнего ИК-диапазонов.

Длинноволновая граница чувствительности, мкм.....	6	8,7
Формат.....	128×128	128×128
Шаг в матрице, мкм.....	50	50
Частота кадров, Гц.....	50	50
Рабочая температура, К.....	78	78
NETD, К.....	0,02	0,027

Примеры тепловых изображений, полученных с объективом $F/1,6$ при частоте кадров 50 Гц, показаны на рис. 3.

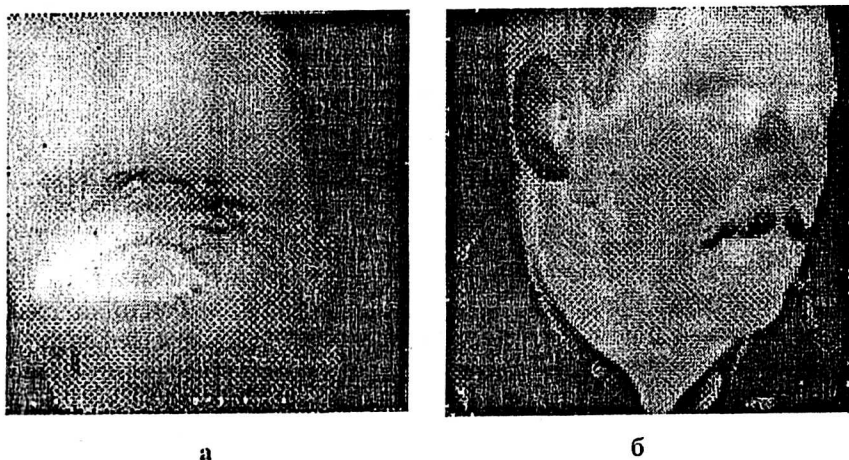
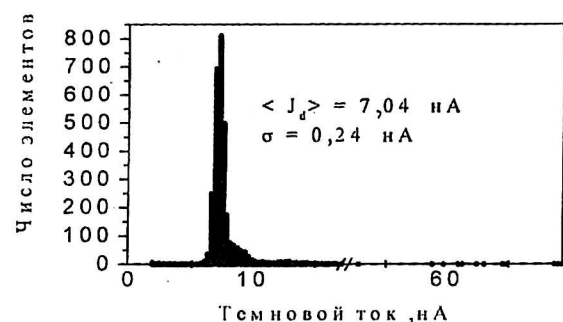


Рис. 3. Примеры теплового изображения с модулями 128×128 на основе CdHgTe с границей чувствительности:
а — 6 мкм; б — 8,7 мкм

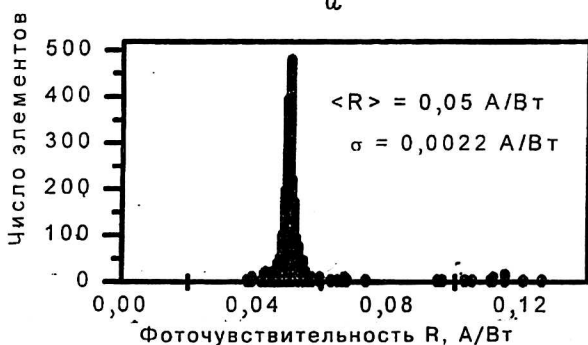
Параметры фотоприемных модулей на основе МСКЯ GaAs/AlGaAs

В отличие от КРТ в МСКЯ GaAs/AlGaAs основным источником избыточных токов и шумов является термоактивационный ток, что заставляет снижать рабочую температуру модуля до 45—65 К в зависимости от спектрального диапазона фотоматрицы (см. рис. 1). В нашем случае исследовались модули с максимумом фоточувствительности вблизи 8 мкм, и рабочая температура модуля в составе кремниевого мультиплексора, описанного выше, составляла 60—65 К.

На рис. 4 представлены гистограммы распределения фототока фотоматрицы и темнового тока модуля с максимумом фоточувствительности при 8 мкм. Гистограмма темнового тока снималась в жидком азоте, чтобы минимизировать нагрев модуля управляющими токами коммутатора и обеспечить точный контроль температуры.



а



б

Рис. 4. Гистограммы распределения темнового тока фотоприемного модуля (а) и фоточувствительности (б) элементов матрицы на основе МСКЯ GaAs/AlGaAs 128×128

Неоднородность величины темновых токов по элементам матрицы мы связываем с ростовыми дефектами, природа которых и внутренняя структура пока еще недостаточно ясны, но корреляцию между числом дефектов на отдельных элементах и темновыми токами мы наблюдали на некоторых образцах. Прямой расчет показывает, что при приведенных значениях фоточувствительности температурное разрешение составляет 0,06 К при температуре 65 К.

Пример теплового изображения, полученного с объективом $F/1,6$ при частоте кадров 50 Гц, показан на рис. 5. Спектральный диапазон 7,5—8,5 мкм, рабочая температура 65 К.

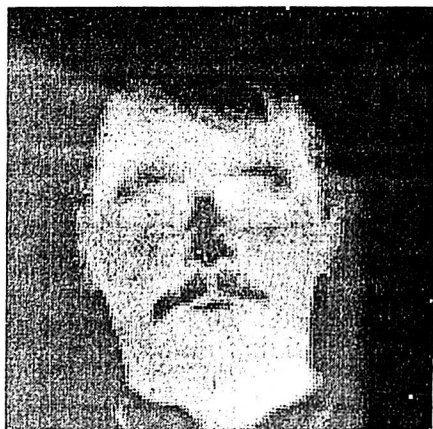


Рис. 5. Тепловое изображение с матричного фотоприемного модуля на основе МСКЯ GaAs/AlGaAs форматом 128×128

Таким образом, показано, что разработанные технологии выращивания гетероструктур CdHgTe/CdZnTe/GaAs и МСКЯ GaAs/AlGaAs методом МЛЭ, изготовления многоэлементных фотоприемников, кремниевого мультиплексора и гибридной микросборки позволяют изготавливать фотоприемные модули для среднего и дальнего ИК-диапазонов с высокими фотоэлектрическими параметрами.

Л и т е р а т у р а

1. Arias J. M., Zandian M., Shin S. H. et. al. Dislocation density reduction by thermal annealing of HgCdTe epilayers grown by molecular beam epitaxy on GaAs substrates//J. Vac. Sci. Technol. 1991. V. B. 9. № 3. P. 1646.
2. Varavin V. S., Dvoretzky S. A., Liberman V. I. et. al. The controlled growth of high-quality mercury cadmium telluride//Thin solid films. 1995. № 267. P. 121.
3. Varavin V. S., Dvoretzky S. A., Liberman V. I. et. al. Molecular beam epitaxy quality HgCdTe films control of the composition distribution//J. Cryst. Growth. 1996. № 159. P. 1161.
4. Осадчий В. М., Сусяков А. О., Васильев В. В., Дворецкий С. А. Эффективное время жизни носителей заряда в варизонных структурах на основе CdHgTe//ФТП. 1999. Т. 33. № 3. С. 293.
5. Варавин В. С., Васильев В. В., Захарьян Т. И. и др. Фотодиоды с низким последовательным сопротивлением на основе варизонных эпитаксиальных слоев CdHgTe//Оптический журнал. 1999. Т. 66. № 12. С. 69.
6. Vasilyev V. V., Esaev D. G., Klimenko A. G. et al. Focal plane arrays based on HgCdTe epitaxial layers MBE-grown on GaAs substrates: Proc. SPIE. 1997. № 3061. P. 956.
7. Демьяненко М. А., Копп О. Р., Курышев Г. Л. и др. ИК-матричный фотоприемный модуль на основе многослойных гетероструктур с квантовыми ямами GaAs/AlGaAs// Автометрия. 1998. № 4. P. 35.
8. Клименко А. Г., Войнов В. Г., Новоселов А. Р. и др. Особо пластичные индиевые микро-столбы для матричных ФПУ на основе CdHgTe//Там же. № 4. С. 105.
9. Romashko L. N., Klimenko A. G., Kravchenko A. P. et. al. Influence of dislocation on performance of MBE CdHgTe photodiodes: Proc. SPIE. 1998. № 3437. P. 446.

IR photodetector arrays 128×128 based on HgCdTe films and GaAs/AlGaAs multiquantum well

V. N. Ovsyuk, Yu. G. Sidorov, V. V. Vasiliev, V. V. Shashkin
Institute of Semiconductor Physics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russia

Designed technology and fabricated IR focal plane arrays for spectral ranges 3—5 and 8—12 μm based on heterostructures Hg_{1-x}Cd_xTe/GaAs and quantum well infrared photodetectors GaAs/AlGaAs, growing by molecular-beam epitaxy. The photosensitive of Hg_{1-x}Cd_xTe and CdZnTe buffer layers were grown on GaAs substrate. For the purpose to reduce an influence of surface on recombination processes graded-gap Hg_{1-x}Cd_xTe layers with the increased composition to surfaces were grown. Designed and fabricated silicon multiplexes operating with the frame rate up to 50 Hz. For the fabrication of photosensitive module was used method of group cool welding through indium bumps. Noise Equivalent Temperature Differences (NETD) of module with dimensionality 128×128 at the operating temperature 78 K were 0,02 and 0,032 K for the cutoff wavelength 8 and 8,7 μm, accordingly. Multiple quantum well structures were grown using molecular beam epitaxy. It is shown that developed technology allows to get a QWIP arrays 128×128 (λ_{max} ≈ 8 μm) with NETD = 0,021 and 0,067 K at operating temperature 54 and 63 K, accordingly.