

Широкоформатные QWIP матрицы, фоточувствительные в спектральных диапазонах $8\div 10$ и $3\div 5$ мкм.

Андрианов Н.А., Дудин А.Л., Кацавец Н.И., Кокин С.В., Чалый В.П., Шуков И.В.
ЗАО «Светлана-Рост», С.Петербург, Россия

Широкоформатные QWIP (quantum well infrared photodetector) фотоприемные матрицы (ФПМ) предназначены для использования в качестве фоточувствительного элемента в тепловизионных системах нового поколения [1,2].

Фоточувствительность QWIP ФПМ основана на «межподзонных» переходах носителей заряда на уровнях размерного квантования в энергетических квантовых ямах (КЯ), образованных квантово-размерными слоями и широкозонными барьерами [3]. Меняя толщину, материал КЯ или «высоту» барьера, можно управлять спектром фоточувствительности (ФЧ) таких матриц. Наибольший практический интерес представляют спектральные области $8\div 10$ мкм и $3\div 5$ мкм («окна» прозрачности атмосферы).

В настоящей работе представлены результаты разработки широкоформатных ФПМ (см. таблицу 1), работающих в этих диапазонах, на основе системы материалов GaAs/AlGaAs ($8\div 10$ мкм) и InGaAs/AlGaAs ($3\div 5$ мкм).

Таблица 1

№п/п	Формат	Шаг (мкм)	Размер элемента (мкм)	Тип (производитель) мультиплексора
1	320x256	30	28x28	ISC 9705 (FLIR Systems, USA)
2	384x288	25	23x23	ISC 0208 (FLIR Systems, USA)
3	384x288	20	18x18	(ОАО «Интеграл», Беларусь)
4	640x512	20	18x18	ISC 0402 (FLIR Systems, USA) (ОАО «Интеграл», Беларусь)

Гетероструктуры (ГС) для ФПМ выращивались на GaAs подложке диаметром три дюйма методом молекулярно-лучевой эпитаксии на отечественной установке STE-3532 (производитель ЗАО «Научно-технологическое оборудование», Россия, С.Петербург) по технологии, защищенной патентом [4].

В GaAs/AlGaAs системе ГС состояла из пятидесяти сильнолегированных кремнием GaAs КЯ ($n=10^{18}$ см⁻³) толщиной $45\div 55\text{Å}$, окруженных специально нелегированными Al_xGa_{1-x}As барьерами ($x=0,27$) толщиной 450Å , и контактных GaAs

слоев ($n=2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$) толщиной порядка 1 мкм. Плотность ростовых дефектов на поверхности ГС не превышала 500 см^{-2} .

Технология изготовления ФПМ на основе выращенных включала в себя:

- формирование методом плазменного травления меза-структуры с «пологими» стенками под омические контакты (фото 1);
- напыление и вжигание многослойных омических контактов;
- формирование фоточувствительных элементов (ЧЭ) методом плазменного травления меза-структур с вертикальными стенками (фото 2);
- защита поверхности меза-структуры с помощью напыления диэлектрика (SiN_x);
- формирование на поверхности ЧЭ двумерной дифракционной решетки (ДДР) с периодом 2,7 мкм путем «мелкого» ($\lambda/4$) травления контактного слоя (фото 3);

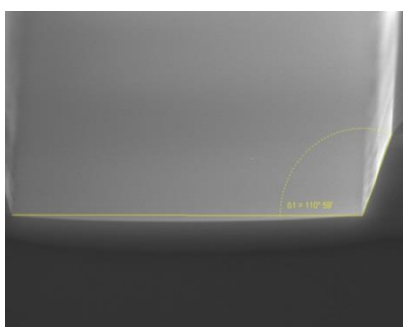


Фото 1

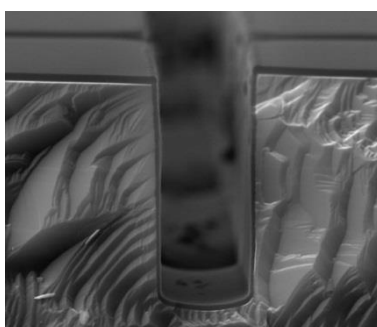


Фото 2

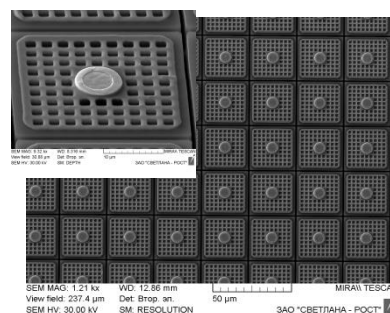


Фото 3

- напыления методом электронного испарения In контактов высотой 5 мкм для монтирования матриц на мультиплексор;
- защита In контактов от окисления с помощью фоторезиста.

Фотоэлектрические характеристики матриц оценивались на одиночных тестовых элементах (ТЭ) размерами $500 \times 500 \text{ мкм}^2$, сформированных на пластинах ГС рядом с ФПМ.

На рис.1 представлены вольт-амперные характеристики (ВАХ) темновых токов $\text{GaAs}/\text{AlGaAs}$ ТЭ при различной температурах. Протяженные пологие участки при величинах $1 \div 5 \text{ В}$ свидетельствует о резких потенциальных барьерах на гетерограницах барьер-КЯ [5], необходимых для достижения наилучших характеристик ФПМ (низкой величины темнового тока и высокого отношения сигнал/шум).

На рис. 2 представлены зависимости ФЧ ФПМ от величины приложенного электрического напряжения (U). До $U=3 \text{ В}$ ФЧ резко увеличивается, проходит через максимум и после $U=5 \div 6 \text{ В}$ уменьшается.

На рис.3 представлены ФЧ ФПМ с толщиной КЯ 45\AA (1) и 50\AA (2), соответственно. Из рисунка видно, что уменьшение толщины КЯ приводит к сдвигу

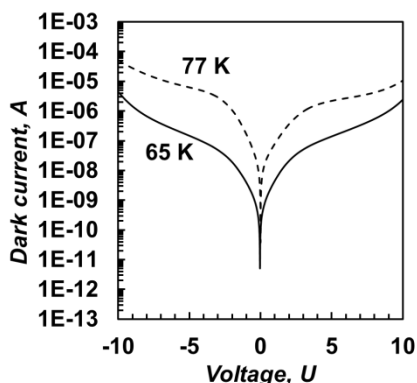


Рис.1

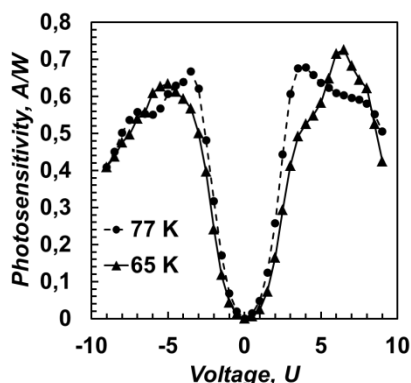


Рис.2

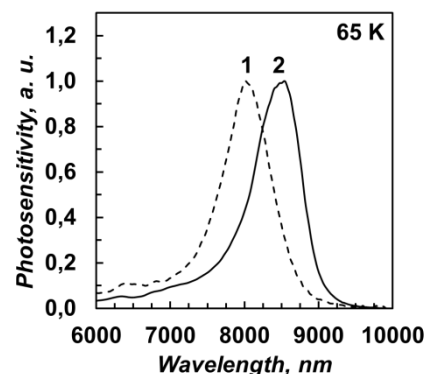


Рис.3

максимума ФЧ ФПМ в коротковолновую область спектра.

С учетом уровня шума такие ФПМ имеют удельную обнаружительную способность на уровне $5 \cdot 10^{10} \text{ см} \cdot \text{Гц}^{1/2} \text{ Вт}^{-1}$ и разность температур эквивалентная шуму 25K.

Конструкция ФПМ для спектрального диапазона $3 \div 5 \text{ мкм}$ содержала двадцать пять КЯ $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($y=0,27$) толщиной порядка 35\AA , легированных кремнием на уровне 10^{18} см^{-3} и ограниченных $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0,3 \div 0,38$) барьерами, а также контактные GaAs слои толщиной порядка 1 мкм и легированием $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Технология изготовления ФПМ состояла из технологических операций аналогичных GaAs/AlGaAs ФПМ, за исключением того, что на поверхности ФПМ не были сформированы ДДР.

На рис.4,5 и 6 представлены ВАХ темновых токов тестовых ФП размером $500 \times 500 \text{ мкм}^2$, зависимость ФЧ от приложенного электрического напряжения (U) и длины волны падающего излучения для ФПМ с различным содержанием Al в барьере - различной «высотой» барьера (1 - $x=0,3$; 2 - $x=0,35$; 3 - $x=0,38$), соответственно.

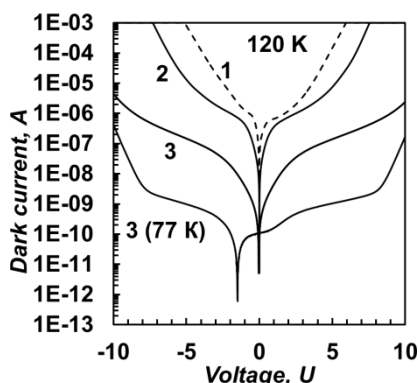


Рис.4

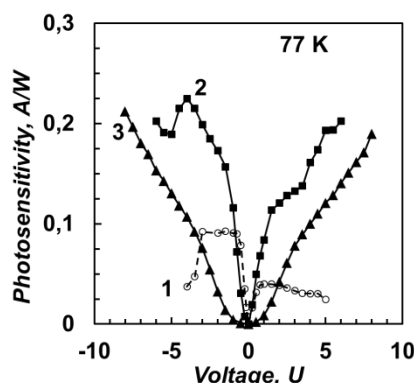


Рис.5

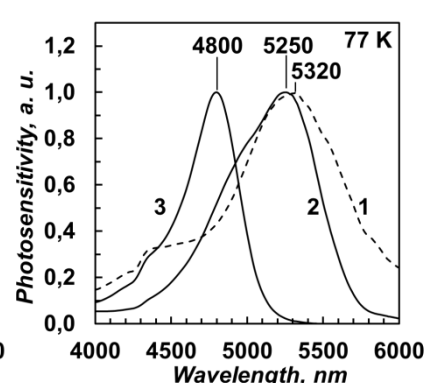


Рис.6

Темновой ток таких ФПМ при азотной температуре определялся поверхностными утечками и при $U=1 \div 3 \text{ В}$ составлял величину порядка 10^{-10} А (рис.4). Характер ВАХ,

положение, ширина спектров и величина ФЧ существенным образом зависели от состава барьерных слоев (высоты барьеров). Формирование ДДР на поверхности ФПМ с соответствующим периодом может увеличить их ФЧ не менее, чем в 3÷5 раз.

Разработанная технология изготовления широкоформатных QWIP ФПМ GaAs/AlGaAs и InGaAs/AlGaAs на GaAs подложке открывает возможность получения широкоформатных QWIP ФПМ двухспектрального диапазона.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства Образования и Науки Российской Федерации (Уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI58114X0006).

Литература

1. H.Schneider, H.C.Liu// Quantum well infrared photodetectors. Physics and applications, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.
2. A. Rogalski// Recent progress in third generation infrared detectors, Journal of Modern Optics, v. 57, No. 18, 2010, 1716–1730.
3. B.F. Levine// Quantum-well infrared photodetectors, J. Appl. Phys, 1993, v.74,1-81.
4. Красовицкий Д.М., Чалый В.П., Кацавец Н.И., Дудин А.Л.//Способ выращивания гетероструктуры для инфракрасного фотодетектора, Патент: RU 2469432 С1 МПК H01L21/20 (2006.01).
5. Куликов В.Б., Будкин И.В. // Прикладная физика. 2003. т.5. с.79