

УДК 621.383.4/5:621.315.59

## Матричные фотоприемные устройства длинноволнового ИК-диапазона на основе кванторазмерной структуры AlGaAs/GaAs формата 384×288

К. О. Болтарь, И. Д. Бурлаков, П. В. Власов, А. А. Лопухин,  
В. П. Чалый, Н. И. Кацавец

*Исследованы характеристики матричных фотоприемных устройств на основе QWIP-структур формата 384×288 элементов с шагом 25 мкм. Установлено различие спектральных и вольтамперных характеристик для пластин эпитаксиальных структур QWIP. Наблюдается неоднородность выходного сигнала по площади фоточувствительных элементов с градиентами в различных направлениях. Фотоэлектрические параметры МФПУ сильно зависят от температуры охлаждаемого узла и смещения на фоточувствительном элементе. Эквивалентная шуму разность температур МФПУ составила 30 мК на кадровой частоте 120 Гц при температуре охлаждаемого узла 65 К.*

PACS: 07.07.Df, 07.57.-c, 81.05.Ea, 81.65.Rv

*Ключевые слова:* МФПУ, длинноволновый ИК-диапазон, QWIP структура, эпитаксиальные слои.

### Введение

Полупроводниковые системы, применяемые в настоящее время в инфракрасной (ИК) фотоэлектронике, продолжают интенсивно совершенствоваться за счет нанотехнологий. Это позволяет достичь лучших результатов при обнаружении сигналов ИК-спектра и их селекции. Одним из таких перспективных направлений является разработка и производство ИК-датчиков на квантовых

ямах (Quantum Well Infrared Photodetector, QWIP) [1—7].

Целью данной работы являлось исследование характеристик матричных фотоприемных устройств (МФПУ) на основе QWIP-структур AlGaAs/GaAs формата 384×288 элементов с шагом 25 мкм.

### Экспериментальные исследования

В работе измерены фотоэлектрические характеристики МФПУ формата 384×288 элементов с шагом 25 мкм на основе AlGaAs/GaAs QWIP-гетероструктур, изготовленных методом молекулярно-пучковой эпитаксии. В табл. 1 представлены характеристики выращенной эпитаксиальной QWIP-структуры.

Процессы изготовления матричных фоточувствительных элементов (МФЧЭ) включают в себя следующие процессы: фотолитография; «глубокое» травление с вертикальными (ширина канавки порядка 1 мкм и глубина до 5 мкм) и «пологими» стенками; пассивация поверхности; формирование двумерной дифракционной решетки на поверхности гетероструктуры; изготовление омических контактов; утоньшение и резку пластины на МФЧЭ.

**Болтарь Константин Олегович**, начальник НТК<sup>1</sup>, профессор<sup>2</sup>.

**Бурлаков Игорь Дмитриевич**, зам. ген. директора по инновациям и науке<sup>1</sup>.

**Власов Павел Влентинович**, ведущий инженер<sup>1</sup>.

**Лопухин Алексей Алексеевич**, начальник участка измерений НТК<sup>1</sup>.

**Чалый Виктор Петрович**, директор<sup>3</sup>.

**Кацавец Николай Иванович**, начальник отдела<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> АО «НПО «Орион».

Россия, 111538, Москва, ул. Косинская, 9.

Тел. (499) 374-94-00. Факс (499) 373-68-62.

E-mail: orion@orion-ir.ru

<sup>2</sup> Московский физико-технический институт.

Россия, 171700, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер. 9.

<sup>3</sup> ЗАО «Светлана-Рост».

Россия, 194156, С.-Петербург, просп. Энгельса, 27.

Статья поступила в редакцию 5 октября 2016 г.

© Болтарь К. О., Бурлаков И. Д., Власов П. В., Лопухин А. А., Чалый В. П., Кацавец Н. И., 2016

Таблица 1

Последовательность слоев	Толщина слоя, Å	Концентрация, см <sup>-3</sup>
Верхний контактный слой $n^+$ -GaAs	8000	$1 \times 10^{18}$
51 барьер $\text{Al}_{0,27}\text{Ga}_{0,73}\text{As}$	450	—
50 КЯ GaAs	50	$9 \times 10^{17}$
Нижний контактный слой $n^+$ -GaAs	15000	$1 \times 10^{18}$
Буферный слой GaAs	8000	$1,7 \times 10^{14}$
GaAs подложка: диаметр $(76,2 \pm 0,3)$ мм, толщина $(625 \pm 25)$ мкм	полуизолятор ориентации (100) $\text{EPD} < 5000 \text{ см}^{-2}$	

Спектральные характеристики чувствительности из разных пластин QWIP-структуры формата  $384 \times 288$  с шагом 25 мкм при температуре охлаждаемого узла 65 К представлены на рис. 1. Эти характеристики практически не изменяются в рабочем диапазоне температур МФПУ (60–70 К). Разброс максимума и ширины спектральной чувствительности обусловлены различием состава и толщиной слоев AlGaAs/GaAs в пластинах.

Различие характеристик пластин эпитаксиальных структур QWIP, помимо спектральных характеристик, ярко проявляется в вольт-амперных характеристиках чувствительности, представлен-

ных на рис. 2. Вольт-амперные характеристики всех QWIP-структур на каждой пластине мало различаются между собой. Видно, что токовая чувствительность при температурах АЧТ 300 К и 301 К выходит на максимум при смещении на QWIP-структуре  $U_{\text{см}} \geq 1,2$  В для пластины М1856 и  $U_{\text{см}} \geq 4,2$  В для пластины М1913. При тех же параметрах достигается и некоторая стабилизация темнового тока, хотя дифференциальные сопротивления существенно отличаются, а именно: 6 ГОм для пластины М1856 и 18 ГОм для пластины М1913. Шум при этом определяется током протекающим через ФЧЭ, а не напряжением смещения  $U_{\text{см}}$ .

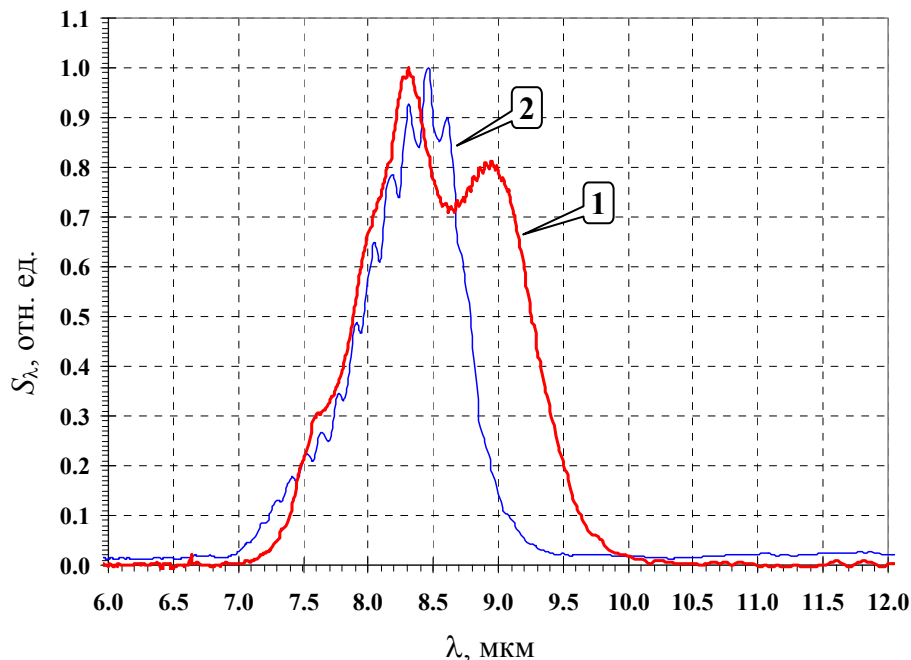


Рис. 1. Характеристики относительной спектральной чувствительности  $S_\lambda$  МФПУ формата  $384 \times 288$  с шагом 25 мкм для пластин М1856 (кривая 1) и М1913 (кривая 2).

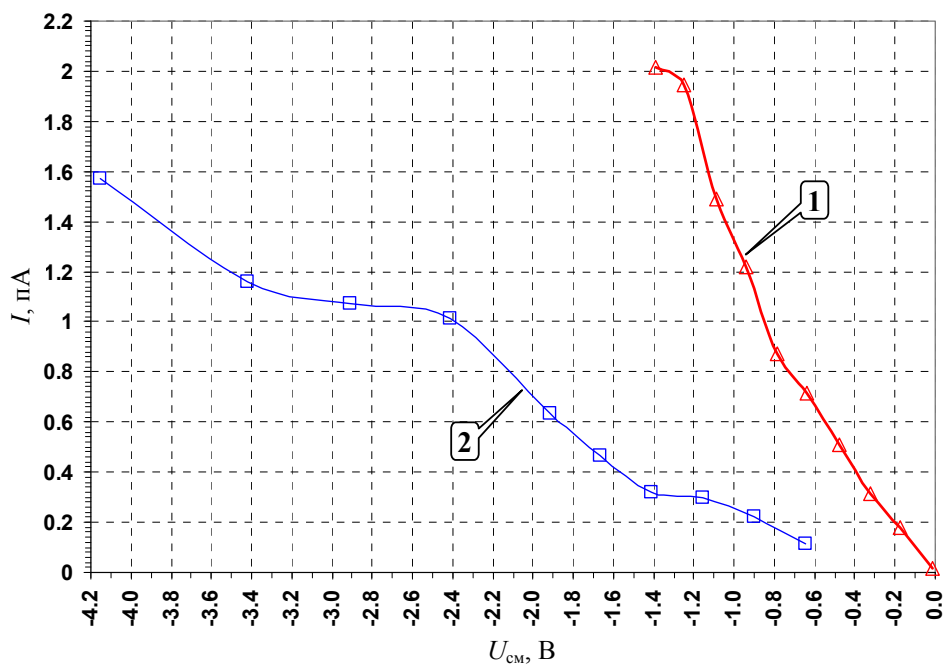


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики МФПУ при температурах АЧТ 300 К и 301 К для пластин М1856 (кривая 1) и М1913 (кривая 2).

Изготовленные МФПУ показали неоднородность выходного сигнала с градиентами в различных направлениях. Расположение градиентов МФЧЭ по пластине показывает центральную симметричность, что обусловлено источником, расположенным в центре пластины, при эпитаксиальном выращивании QWIP-структуры. Направление градиентов показывает, что выходной сигнал (т.е. сумма фонового и темнового сигналов) увеличивается от центра к периферии пластины. Эта неоднородность уменьшается при уменьшении

температуры криостатирования за счет уменьшения темнового тока.

Значения эквивалентной шуму разности температур (ЭШРТ) и дисперсии вольтовой чувствительности (при относительном отверстии охлаждаемой диафрагмы  $f/2.7$  и времени накопления 7 мс) значительно возрастают с увеличением температуры охлаждаемого узла, что отражено на рис. 3 и рис. 4 соответственно. Дефектность МФПУ практически не зависит от температуры охлаждаемого узла.

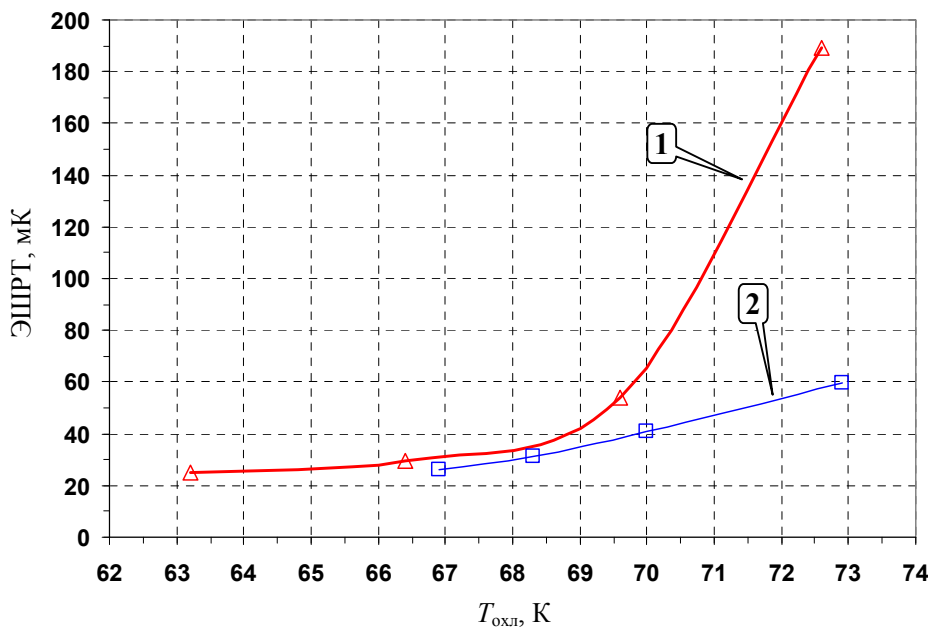


Рис. 3. Зависимость ЭШРТ от температуры T охлаждаемого узла МФПУ с МФЧЭ из пластин М1856 (кривая 1) и М1913 (кривая 2).

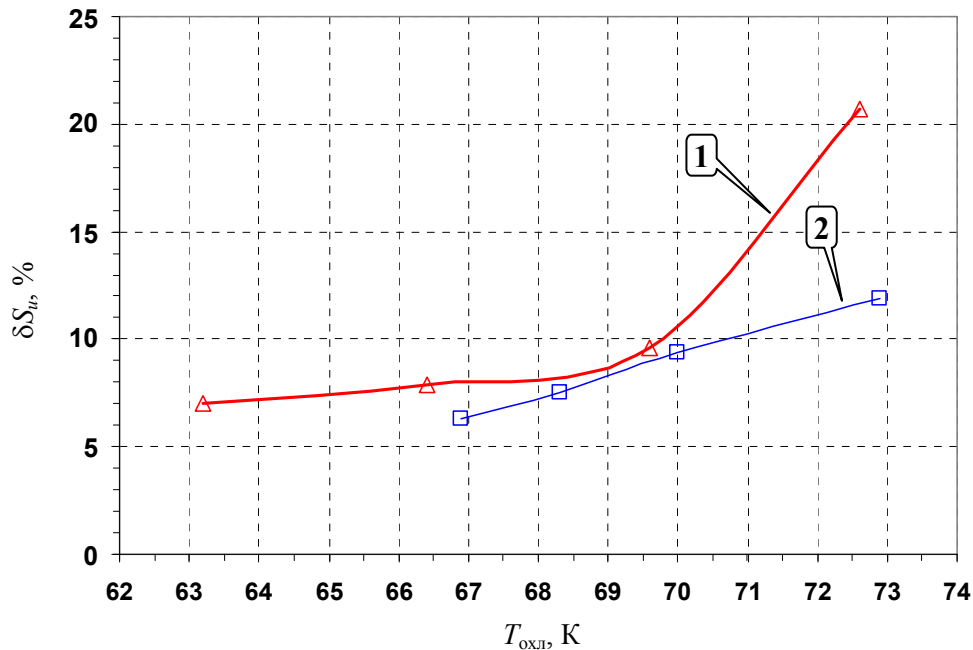


Рис. 4. Зависимости дисперсии вольтовой чувствительности от температуры охлаждаемого узла МФПУ с МФЧЭ из пластин М1856 (кривая 1) и М1913 (кривая 2).

Помимо QWIP МФПУ формата 384×288 элементов с шагом 25 мкм были изготовлены аналогичные QWIP МФПУ формата 320×256 элемен-

тов с шагом 30 мкм и 640×512 элементов с шагом 20 мкм. В табл. 2 представлены параметры этих МФПУ.

Таблица 2

Параметры	384×288_25 ( $d/f = 1/2,7$ , $T_{фчэ} = 65$ К, $T_{нак} = 7$ мс)	320×256_30 ( $d/f = 1/2$ , $T_{фчэ} = 66$ К, $T_{нак} = 3$ мс)	640×512_20 ( $d/f = 1/2$ , $T_{фчэ} = 65$ К, $T_{нак} = 2,6$ мс)
Длина волны максимума спектральной чувствительности, мкм	8,5	8,3	8,1
Ширина характеристики спектральной чувствительности по уровню 0,5, мкм	1,26	1,1	1,1
ЭШРТ, мК	25,8	19,8	28,0
Дефекты роста, %	0,02±0,2	0,06	0,05
Дисперсия неоднородности вольтовой чувствительности, %	5,5	5,6	7,9

Реализованы следующие эксплуатационные характеристики МФПУ формата 384×288 элементов со значением ЭШРТ менее 30 мК:

- кадровая частота — 120 Гц (время накопления < 7 мс);
- рабочая температура охлаждаемого узла — 68 К;
- мощность потребления МКС в режиме регулирования при НКУ — 12 Вт.

### Заключение

Основные результаты работы можно сформулировать следующим образом.

Исследованы характеристики матричных фотоприемных устройств на основе QWIP-структур формата 384×288 элементов с шагом 25 мкм. Установлено различие спектральных и вольтамперных характеристик для пластин эпитаксиальных структур QWIP. Наблюдается неоднородность выходного сигнала по площади фоточувствительных элементов с градиентами в различных направлениях. Фотоэлектрические параметры МФПУ сильно зависят от температуры охлаждаемого узла и смещения на фоточувствительном элементе. Эквивалентная шуму разность температур МФПУ составила 30 мК на кадровой частоте 120 Гц при температуре охлаждаемого узла 65 К.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Web-сайт АО «НПО «Орион» / <http://www.orion-ir.ru>
2. Балиев Д. Л., Болтарь К. О., Власов П. В., Киселева Л. В., Ложников В. Е., Лопухин А. А., Мансветов Н. Г., Полуноев В. В., Рудневский В. С., Савостин А. В. // Прикладная физика. 2014. № 2. С. 41.
3. Болтарь К. О., Киселева Л. В., Лопухин А. А., Савостин А. В. / Патент РФ № 2460174. 2012 г.
4. Gross W., Hierl T., Schulz M. // Optical Engineering. 1999.
5. Соляков В. Н., Кортиков М. В. // Прикладная физика. 2010. № 1. С. 58.
6. Болтарь К. О., Власов П. В., Лопухин А. А., Мансветов Н. Г. // Прикладная физика. 2014. № 3. С. 67.
7. Ефимова З. Н., Ефимов И. В., Мансветов Н. Г., Лопухин А. А., Власов П. В., Киселева Л. В., Савостин А. В. Патент РФ № 2571171. 2014 г.

## Features of a FPA on the base of the LWIR QWIP 384×288 detectors

*K. O. Boltar<sup>1,2</sup>, I. D. Burlakov<sup>1</sup>, P. V. Vlasov<sup>1</sup>, A. A. Lopukhin<sup>1</sup>,  
V. P. Chaliy<sup>3</sup>, and N. I. Katsavec<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Orion R&P Association  
9 Kosinskaya str., Moscow, 111538, Russia  
E-mail: [orion@orion-ir.ru](mailto:orion@orion-ir.ru)

<sup>2</sup> Moscow Institute of Physics and Technology  
9 Institute al., Dolgoprudny, Moscow Region, 141700, Russia

<sup>3</sup> Svetlana-Rost, JSC  
27 Engels av., S.-Petersburg, 194156, Russia

*Received October 5, 2016*

***The features of a FPA with 384×288 elements and 25 μm pitch are investigated. The maximum wavelength of a spectral sensitivity is about 8.5 μm. NETD is equal to 25.8 mK at an optimal integration time of 7.0 ms at a relative aperture of the cold shield 1:2.7 and a spectral filter. Defectiveness is about (0.02±0.2) %. The FPA working temperature is 65 K.***

PACS: 07.07.Df, 07.57.-c, 81.05.Ea, 81.65.Rv

*Keywords:* Focal Plane Array, LWIR, QWIP, epitaxial layer.

## REFERENCES

1. <http://www.orion-ir.ru> (Web-site of Orion R&P Association, Russia).
2. D. K. Baliev, K. O. Boltar, P. V. Vlasov, et al., Prikl. Fiz., No. 2, 41 (2014).
3. K. O. Boltar, L. V. Kiseleva, A. A. Lopukhin, and A. V. Savostin, RF Patent No. 2460174. (2012).
4. W. Gross, T. Hierl, and M. Schulz, Optical Engineering (1999).
5. V. N. Solyakov and M. V. Kortikov, Prikl. Fiz., No. 1, 58 (2010).
6. K. O. Boltar, P. V. Vlasov, A. A. Lopukhin, and N. G. Mansvetov, Prikl. Fiz., No. 3, 67 (2014).
7. Z. N. Efimova, I. V. Efimov, N. G. Mansvetov, et al., RF Patent No. 2571171 (2014).