

УДК 621.383.4/5:621.315.59

## Матричное фотоприемное устройство на основе антимонида индия формата 640x512 с шагом 15 мкм

Д.Л. Балиев, К.О. Болтарь, П.В. Власов, Л.В. Киселева, В.Е. Ложников, А.А. Лопухин, Н.Г. Мансветов, В.В. Полунеев, В.С. Рудневский, А.В. Савостин

*Разработана технология изготовления крупноформатного матричного фотоприемного устройства (МФПУ) на спектральный диапазон 3–5 мкм формата 640x512 с шагом элементов 15 мкм на основе фотодиодов из антимонида индия. МФПУ является развитием выпускаемого серийно МФПУ формата 320x256 элементов с шагом 30 мкм с охладителем типа интегральный Стирлинг и блоком предварительной электронной обработки сигналов. Дефектность лучших образцов МФПУ составляет ≈0,1%. Среднее значение разности температур эквивалентной шуму (ЭШРТ) в оптимальном режиме составляет ≈21 мК.*

PACS: 07.57.Kp, 85.60.Dw

Ключевые слова: МФПУ, матрицы фотодиодов, антимонид индия, БИС считывания.

### Введение

Лучшие матричные фотоприемные устройства (МФПУ) на спектральный диапазон 3–5 мкм изготавливаются на основе фотодиодов из антимонида индия [1–4]. Повышенный формат в сочетании с малым шагом элементов МФПУ при низкой дефектности позволяет обеспечивать повышенную дальность обнаружения и распознавания объектов, снижение минимальной различимой разности температур и минимальных размеров обнаруживаемых целей, увеличение количества информации о наблюдаемых объектах. Поэтому крупноформатные МФПУ на основе антимонида индия находят все большее применение в военной и гражданской электронной аппаратуре.

В работе представлены характеристики отечественного крупноформатного МФПУ на основе антимонида индия формата 640x512 элементов с шагом 15 мкм, которое является развитием выпускаемого серийно МФПУ формата 320x256 элементов с шагом 30 мкм [5–7] с охладителем типа интегральный Стирлинг и блоком предварительной электронной обработки сигналов [8].

Балиев Дмитрий Леонидович, инженер.  
Болтарь Константин Олегович, нач. НТК, профессор\*.

Власов Павел Валентинович, вед. инженер

Киселева Лариса Васильевна, ст. науч. сотр.

Ложников Владислав Евгеньевич, гл. спец.

Лопухин Алексей Алексеевич, вед. науч. сотр.

Мансветов Николай Георгиевич, гл. спец.

Полунеев Владимир Васильевич, гл. спец.

Рудневский Владимир Сергеевич, вед. инж.

Савостин Александр Викторович, вед. инж.

ОАО «НПО «Орион»

Россия, 111123, Москва, ш. Энтузиастов, 46/2.

Тел.: (499) 374 9400, 374 9401.

E-mail: orion@orion-ir.ru

\*Московский физико-технический институт.

Россия, 141700, г. Долгопрудный МО, Институтский пер., 9.

Статья поступила в редакцию 2 марта 2014 г.

© Балиев Д.Л., Болтарь К.О., Власов П.В., Киселева Л.В., Ложников В.Е., Лопухин А.А., Мансветов Н.Г., Полунеев В.В., Рудневский В.С., Савостин А.В., 2014

### Описание разработанного МФПУ

Выбор шага элементов 15 мкм для нового МФПУ ускорил разработку его серийного производства, так как сохранился размер фоточувствительной области и мало изменился размер кристалла от 10,85x10,03 мм (320x256x30 мкм) до 11,1x10,46 мм (640x512x15 мкм), что позволило сохранить всю ранее разработанную конструкцию МФПУ и тепловизионной аппаратуры, в которой оно используется. Для реализации этого шага элементов потребовалось разработать новую технологию создания высоких и пластичных In-микроконтактов, для получения которых использовано анизотропное лучевое травление In ионами Ar<sup>+</sup> [9–11]. Эта технология была разработана как для БИС считывания, так и для матричного фоточувствительного элемента (МФЧЭ) на основе InSb.

Наиболее значительным изменениям подверглась схемотехника БИС считывания, созданная по нормам проектирования КМОП 0,18 мкм с напряжением питания 3,3 В [12, 13]. Схема считывания в ячейке – прямая инжекция, состоит из двух емкостей (накопления и хранения), что позволило реализовать режим интегрирования и опроса Snapshot IWR (интегрирование во время считывания). Количество выходов программируемое 4 или 8 с частотой считывания по каждому каналу 10 МГц при максимальной частоте кадров 200 Гц. Максимальная потребляемая мощность не превысила 100 мВт.

Для анализа процессов, происходящих в ячейках, необходимо знать коэффициенты передачи с емкостей накопления  $C_{int}$  на выход БИС считывания. Благодаря наличию в каждой ячейке антиблэммингового транзистора с управляемым общим напряжением VABL, который предназначен для поддержания работы согласующего транзистора VB в линейном режиме в случае мощной засветки, можно рассчитать коэффициенты передачи из зависимости выходного сигнала от напряжения антиблэмминга. Для получения этой зависимости необходимо поддерживать режим ограничения антиблэммингового транзистора за счет повышенного уровня излучения от протяженного АЧТ и выбора

максимального времени накопления. По результатам указанных измерений в диапазоне напряжений антиблуминга 0–1,5 В среднее значение коэффициента передачи с емкости накопления  $C_{int}$  на выход БИС считывания  $K_{tr}$  составило 0,77. При этом его разброс по ячейкам не превысил 1%.

Используя значение коэффициентов передачи в ячейках, а также измерив зависимости сигнала и шума на выходе БИС считывания от времени накопления при условии работы МФПУ в VLIP-режиме можно оценить величину емкостей накопления по формуле:

$$C_{int} = \frac{K_{trans}q(V_T - V_{T=0})}{\sigma_T^2 - \sigma_{T=0}^2},$$

где  $K_{trans}$  – коэффициент передачи с емкости накопления  $C_{int}$  на выход БИС считывания;  $V_T$  – напряжение сигнала на выходе БИС считывания при времени накопления  $T$ ;  $\sigma_T$  – ср. кв. значение шума на выходе БИС считывания при времени накопления  $T$ ;  $q$  – заряд электрона.

По результатам измерений сигнала и шума в интервале времен накопления 2–9 мс рассчитанное по указанной

формуле значение емкости накопления в ячейках составило  $\approx 0,45$  пФ, что согласуется с расчетным значением емкости накопления 0,492 пФ с погрешностью менее 10%. Точность измерения емкости накопления определяется точностью измерения среднеквадратичного значения шума и близостью работы МФПУ к VLIP-режиму.

Таким образом, при 8-канальном подключении удалось получить функционирование МФПУ в режиме шума, ограниченного флуктуациями фонового излучения (VLIP-режим) в широком диапазоне уровня разряда накопительных конденсаторов ячеек МФПУ на частоте 7,5 МГц (рис. 1). Из рисунка видно, что шум электроники при времени накопления равно нулю составляет  $\sim 800$  электронов на накопительном конденсаторе в ячейке. При сложении по квадратам шума в VLIP-режиме и шума электроники, что справедливо в случае некоррелированности этих шумов, видно хорошее совпадение измеренного шума с теоретическим шумом, ограниченным флуктуациями фонового излучения, что свидетельствует об отсутствии избыточных собственных шумов InSb фотодиодов.

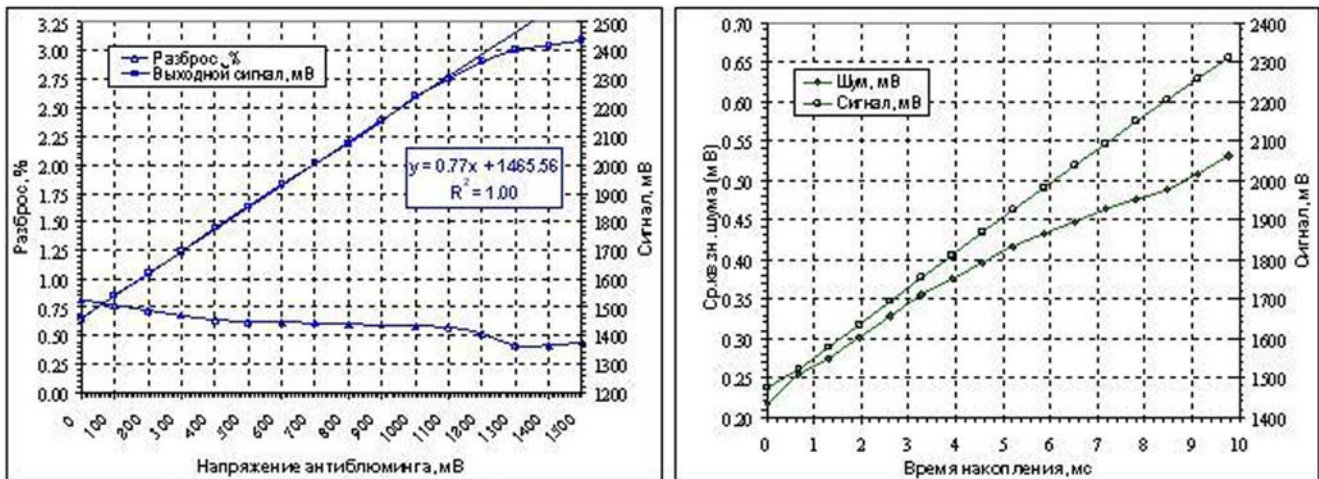


Рис. 1. Зависимости выходного сигнала и его разброса от напряжения антиблуминга, а также шума и сигнала на выходе БИС считывания от времени накопления.

Из графиков следует, что при оптимальном времени накопления фотоэлектронов 11,3 мс (при относительном отверстии охлаждаемой диафрагмы 1:4 и фильтром на спектральный диапазон 3,6–4,8 мкм), обеспечивающем 70%-разряд емкости накопления БИС считывания, дополнительный шум за счет шумов БИС считывания, блока сопряжения и системы аналого-цифрового преобразования выходного сигнала не превышает 12% фундаментального шума фонового излучения. На рис. 2 представлена зависимость средней разности температур, эквивалентной шуму (ЭШРТ), от времени накопления.

Определены значения темнового и фонового токов разряжающих накопительные конденсаторы в ячейках. Темновой ток составил 8 пА. При этом фоновый ток превысил его в 5,5 раз (44 пА), что обеспечило при оптимальном времени накопления 11,3 мс ЭШРТ, равную 20,9 мК, при температуре АЧТ 27 °С и уровне выходного сигнала, равного 0,7 от максимального его размаха.

Дефектность лучших образцов, в основном, состоящая из элементов с повышенными токами утечек, составляет  $\approx 0,1\%$ . Ниже приведен пример инфракрасного изображения, на котором видно температурное распределение внутри человеческого глаза (рис. 3). Также на изображении руки отчетлива заметна уникальная, динамически меняющаяся карта распределения потовых желез. Это показывает, что МФПУ на основе антимионида индия формата 640x512 с шагом 15 мкм может быть успешно применено в медицине для абсолютно безопасной, пассивной инструментальной диагностики.

## Заключение

В работе исследованы и определены основные характеристики крупноформатного МФПУ на спектральный диапазон 3–5 мкм формата 640x512 с шагом элементов 15 мкм на основе фотодиодов из антимионида индия. Темновой ток фоточувствительного элемента

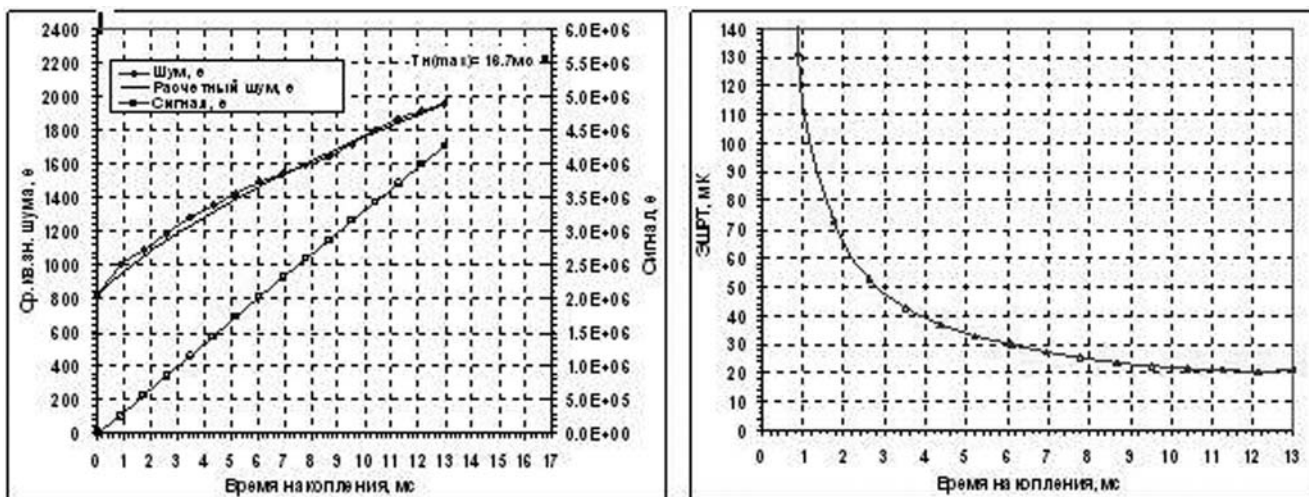


Рис. 2. Зависимости шума, расчетного шума в VLIP-режиме и сигнала, а также ЭШРТ ( $df = 1:4$ ,  $T_{фон} = 300 K$ ) от времени накопления.

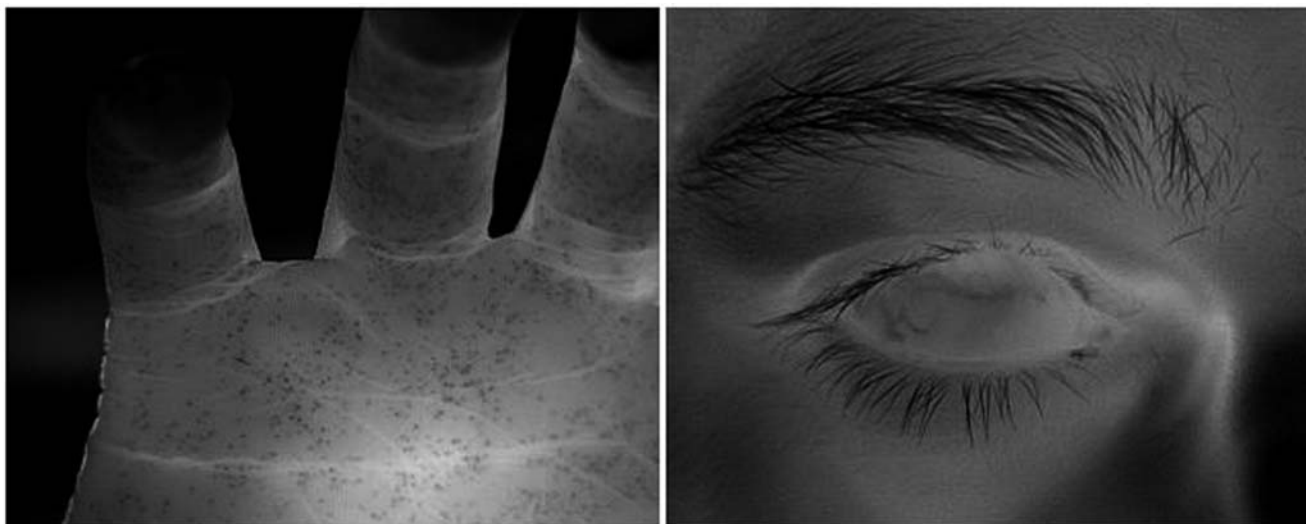


Рис. 3. ИК-изображения руки и глаза МФПУ на основе InSb формата 640x512 с шагом 15 мкм.

МФПУ составил 8 пА. Среднее значение измеренного коэффициента передачи с емкости накопления на выход БИС считывания составило 0,77. Измеренное значение емкостей накопления в ячейках составило  $\approx 0,45$  пФ, что согласуется с расчетным значением 0,492 пФ с погрешностью менее 10%.

В 8-канальном режиме в широком диапазоне уровня разряда накопительных конденсаторов ячеек МФПУ на частоте 7,5 МГц удалось получить функционирование МФПУ в VLIP-режиме. При оптимальном времени накопления 11,3 мс, соответствующем уровню выходного сигнала, равного 0,7 от его максимального размаха, и температуре АЧТ 27 °С ЭШРТ составила 20,9 мК. Дефектность лучших образцов МФПУ составляет  $\approx 0,1\%$ .

Разработанное крупноформатное МФПУ по своим характеристикам не уступает зарубежным аналогам и может с успехом применяться в тепловизионной аппаратуре различного назначения.

**Литература**

1. Rogalski A. // VOL. 2012. V. 36. P. 342.

2. www.scd.co.il SCD Semiconductor Devices. Israel  
 3. www.sbfpr.com Lockheed Martin Corporation Santa Barbara Focalplane. USA  
 4. orion-ir.ru ОАО «НПО «Орион» ГНЦ РФ. Россия  
 5. Болтарь К.О., Киселева Л.В., Лопухин А.А., Савостин А.В. Способ изготовления матричного фотоприемника (варианты) / Патент РФ № 2460174. 2012.  
 6. Болтарь К.О., Власов П.В., Лопухин А.А. и др. // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1. № 6. С. 733.  
 7. Болтарь К.О., Власов П.В., Лопухин А.А. и др. // Прикладная физика. 2013. № 6. С. 67.  
 8. Соляков В.Н., Корнеева М.Д., Кортиков М.В., и др. // Прикладная физика. 2011. № 4. С. 96.  
 9. Болтарь К.О., Корнеева М.Д., Мезин Ю.С., и др. // Прикладная физика. 2011. № 1. С. 96.  
 10. Кардонов Н.В., Климанов Е.А., Ляликов А.В., и др. // Прикладная физика. 2012. № 3. С. 66.  
 11. Дирочка А.И., Климанов Е.А., Мезин Ю.С., и др. // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1. № 1. С. 65.  
 12. Хромов С.С., Зайцев А.А. // Прикладная физика. 2011. № 2. С. 100.  
 13. Кузнецов П.А., Хромов С.С. // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1. № 3. С. 321.

## Focal plane array 640x512 InSb detectors with the 15 $\mu\text{m}$ pitch

*D. L. Baliev, K. O. Boltar., P. V. Vlasov, L. V. Kiseleva, V. E. Lozhnikov, A. A. Lopukhin, N. G. Mansvetov, V. V. Poluneev, V. C. Rudnevsky, and A. V. Savostin*

Orion R&P Association  
46/2 Enthusiasts highway, Moscow, 111123, Russia  
E-mail: orion@orion-ir.ru

*Received March 2, 2014*

*Performance of FPA 640x512 elements with pitch 15  $\mu\text{m}$  are developed. They are based on the serial FPA with 320x256 elements which have pitch 30  $\mu\text{m}$  with a type cooler integrated Stirling and the block of preliminary electronic processing of signals. The best FPA's defectivity has made  $H^{*0,1}$  %. In optimum condition, NETD is equal 20,9 mK.*

PACS: 07.57.Kp, 85.60.Dw

Keywords: FPA, indium antimonide photodiodes, ROIC.

### References

1. A. Rogalski, VOL **36**, 342 (2012).
2. SCD Semiconductor Devices. Israel, <http://www.scd.co.il>
3. Lockheed Martin Corporation Santa Barbara Focalplane. USA, <http://www.sbfpc.com>
4. Orion R&P Association, Russia, <http://www.orion-ir.ru>
5. K. O. Boltar, L. V. Kiseleva, A. A. Lopukhin, et. al., Russia, Patent No. 2460174 (2012).
6. K. O. Boltar, P. V. Vlasov, A. A. Lopukhin, et al., Uspekhi Prikladnoi Fiziki **1**, 733 (2013).
7. K. O. Boltar, P. V. Vlasov, A. A. Lopukhin, et al., Prikladnaya Fizika, No. 6. 67 (2013).
8. V. N. Solyakov, M. D. Korneeva, M. V. Kortikov, et al., Prikladnaya Fizika, No. 4, 96 (2011).
9. K. O. Boltar, M. D. Korneeva, Yu. S. Mezin, et. al., Prikladnaya Fizika, No. 1, 96 (2011).
10. N. V. Kardonov, E. A. Klimanov, A. V. Lyalikov, et al., Prikladnaya Fizika, No. 3, 66 (2012).
11. A. I. Dirochka, E. A. Klimanov, Yu. S. Mezin, et al., Uspekhi Prikladnoi Fiziki **1**, 65 (2013).
12. S. S. Khromov and A. A. Zaitsev, Prikladnaya Fizika, No. 2, 100 (2011).
13. P. A. Kuznetsov and S. S. Khromov, Uspekhi Prikladnoi Fiziki **1**, 321 (2013).