

УДК 621.383

## Динамическая взаимосвязь в МФПУ на основе антимонида индия

К.О. Болтарь<sup>1,2</sup>, П.В. Власов<sup>1</sup>, А.А. Лопухин<sup>1</sup>, С.К. Ранцан<sup>1</sup>

*Эффект динамической взаимосвязи в аппаратуре с использованием МФПУ на основе антимонида индия может ухудшать ее тактико-технические характеристики. В данной работе проводилось исследование динамической взаимосвязи в матричных фоточувствительных элементах (МФЧЭ) с различными пассивирующими покрытиями. С этой целью была разработана методика оценки динамической взаимосвязи и выявлены основные закономерности явления. Результаты исследований показали, что пассивация напылением пленки ZnS позволяет существенно уменьшить динамическую взаимосвязь, повысить воспроизводимость и величину чувствительности МФПУ.*

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

*Ключевые слова:* динамическая взаимосвязь, МФПУ, фотодиоды на основе антимонида индия, пассивирующие покрытия.

### Введение

В матричных фотоприемных устройствах (МФПУ) на основе фотодиодов из антимонида индия наблюдается эффект динамической взаимосвязи [1, 2]. После окончания засветки какой-либо группы пикселей матрицы инфракрасным излучением высокой интенсивности с каждого из засвеченных пикселей на протяжении длительного времени (вплоть до десятков минут) регистрируется остаточный сигнал, в несколько раз превышающий шум.

Этот эффект, иногда также называемый эффектом памяти или эффектом латентного изображения, объясняется тем, что под действием сильного излучения среднего ИК-диапазона концентрация неосновных носителей заряда в приповерхностной области со-

стороны падающего излучения существенно увеличивается, в результате чего идет постепенное заполнение медленных уровней в приповерхностной области окисла, и скорость поверхностной рекомбинации уменьшается. После снятия ИК-излучения поверхностный потенциал восстанавливается до своего равновесного значения с характерным временем перезарядки медленных поверхностных уровней. Все это время, которое может составлять минуты и десятки минут, скорость поверхностной рекомбинации остается уменьшенной, а чувствительность ранее засвеченных пикселей МФПУ увеличенной.

Эффект динамической взаимосвязи в аппаратуре с использованием МФПУ на основе антимонида индия может ухудшать ее тактико-технические характеристики. В данной работе проводилось исследование динамической взаимосвязи в матричных фоточувствительных элементах (МФЧЭ) с различными пассивирующими покрытиями.

### Объект исследования

Нами исследованы закономерности эффекта динамической взаимосвязи в МФПУ формата 320x256 на основе фотодиодов из антимонида индия. Величина эффекта, как показывает опыт, зависит от ряда факторов и может составлять до 70 дБ от уровня засветки, что соответствует превышению шума МФПУ

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

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

**Лопухин Алексей Алексеевич**, ведущий научный сотрудник<sup>1</sup>.

**Ранцан Сергей Константинович**, инженер<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ОАО «НПО «Орион».

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

Тел.: 8 (499) 374-81-30. E-mail: orion@orion-ir.ru

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

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

Статья поступила в редакцию 25 февраля 2013 г.

© Болтарь К.О., Власов П.В., Лопухин А.А., Ранцан С.К., 2013

до 100 раз при засветке объектом с температурой 500 К.

Выявленные в ходе исследований основные закономерности явления динамической взаимосвязи характеризуются следующими особенностями:

- эффект формируется сильным ИК-излучением как в МФПУ с германиевым окном (граница 1,7 мкм), так и в МФПУ с фильтром 3,6 – 4,9 мкм;

- эффект может иметь как большой положительный, так и отрицательный контраст (рис. 1);

- зависит от напряжения, приложенного к  $p-n$ -переходам фотодиодов;

- наблюдается в МФПУ на основе InSb с пассивацией обратной (подвергнутой действию падающего излучению) стороны анодным окислом полупроводника (АОП), диэлектриком  $Si_3N_4$ , диэлектриком ZnS и другими; величина эффекта и чувствительность МФПУ сильно зависят от материала пассивирующего покрытия [3];

- в фотодиодах с тонкой базой (толщина фоточувствительного слоя  $d$  меньше диффузионной длины дырок  $Lp$ ) чувствительность засвеченных пикселей больше, чем у незасвеченных пикселей (положительный контраст);

- в фотодиодах с толстой базой ( $d > Lp$ ) наблюдается латентное изображение отрицательного контраста.

#### Методика оценки динамической взаимосвязи

Для оценки динамической взаимосвязи различных матриц была разработана следующая методика. В поле зрения МФЧЭ вносят нагретый объект, температура которого составляет 500 К. Его фиксируют относительно матрицы в течение одной минуты, после

чего убирают. На изображении проявляется латентный след от объекта. В этот момент измерительной системой записывается кадр с изображением, в котором хранится информация об уровне сигнала в каждом элементе. Разница между средним сигналом в элементах, на которые попало излучение от объекта, с сигналом в соседних, не засвеченных элементах, считается абсолютной величиной динамической взаимосвязи.

Как правило, абсолютные значения величин не дают полноценной информации, что в нашем случае связано с разбросом чувствительности у различных МФПУ. Для повышения информативности напряжение сигнала нормируют на чувствительность, получая значение динамической взаимосвязи в процентах от уровня чувствительности МФПУ.

#### Результаты измерений

Измерения проводились на структурах, обладающих пассивацией обратной стороны анодным окислом, и на структурах с пассивацией ZnS, изготовленных по двум технологиям.

На рис. 2 представлены зависимости эффекта памяти, приведенного к величине заряда на емкости накопления в ячейке, от времени для структур с пассивацией АОП при различной длительности засветки (10 с, 30 с и 60 с) нагретым объектом с температурой 240 К. На начальном участке графиков в диапазоне от 2 до 8 минут наблюдается неэкспоненциальный спад эффекта памяти. Далее эффект вне зависимости от длительности засветки стремится к экспоненциальной зависимости с постоянной времени  $\sim 2,5$  ч, которая характеризует время перезарядки медленных поверхностных уровней. Также из графиков видна сильная зависимость первоначальной



Рис. 1. Нагретый объект в поле зрения МФПУ (паяльник).

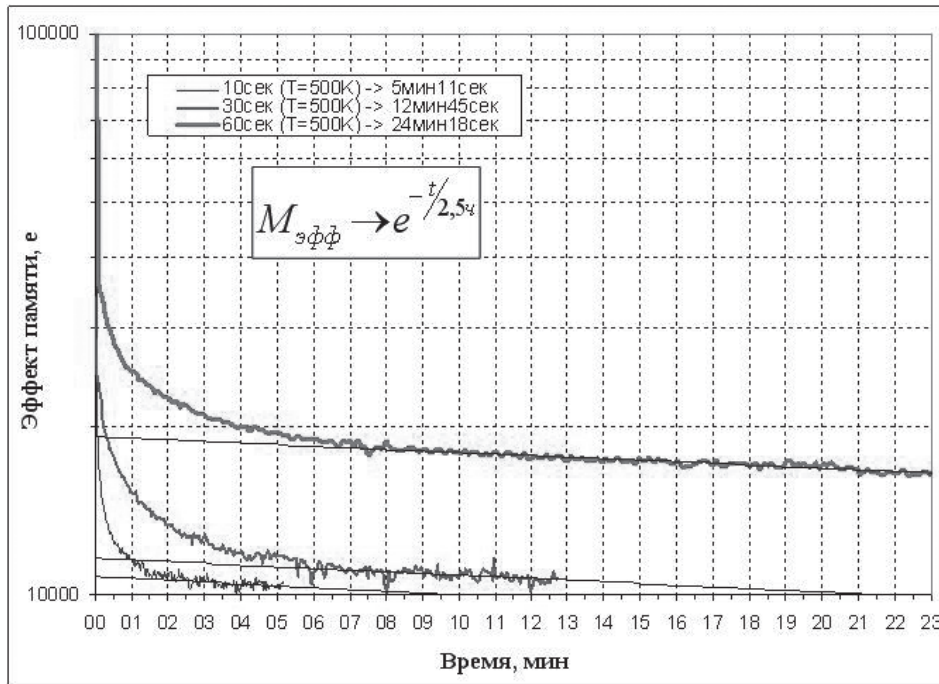


Рис. 2. Зависимости эффекта памяти приведенного к величине заряда на ёмкости накопления в ячейке от времени для структур с пассивацией АОП при различной длительности засветки (10 с, 30 с и 60 с) нагретым объектом с температурой 500 К.

величины эффекта от длительности засветки нагретым объектом, что свидетельствует о необходимости наличия значительного количества избыточных фотогенерированных носителей заряда для заполнения медленных поверхностных уровней на границе раздела InSb/АОП.

Из интегральных функций распределения

МФПУ формата 320x256 по динамической взаимосвязи (рис. 3) и величине чувствительности (рис. 4) видно, что динамическая взаимосвязь для МФПУ с покрытием обратной стороны анодным окислом в ~ 9 раз больше, чем для МФПУ с покрытием ZnS, а чувствительность в 1,5 – 3 раза меньше (в зависимости от технологии изготовления).

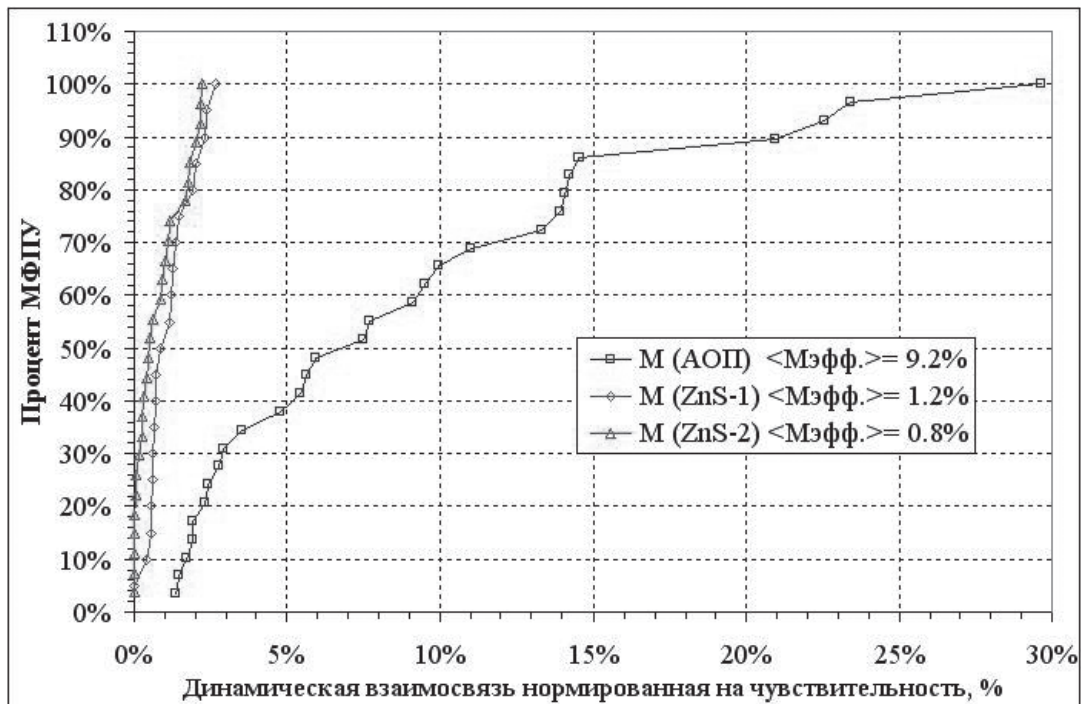


Рис. 3. Интегральная функция распределения МФПУ, изготовленных с пассивацией АОП и с двумя вариантами пассивации ZnS, по величине динамической взаимосвязи.

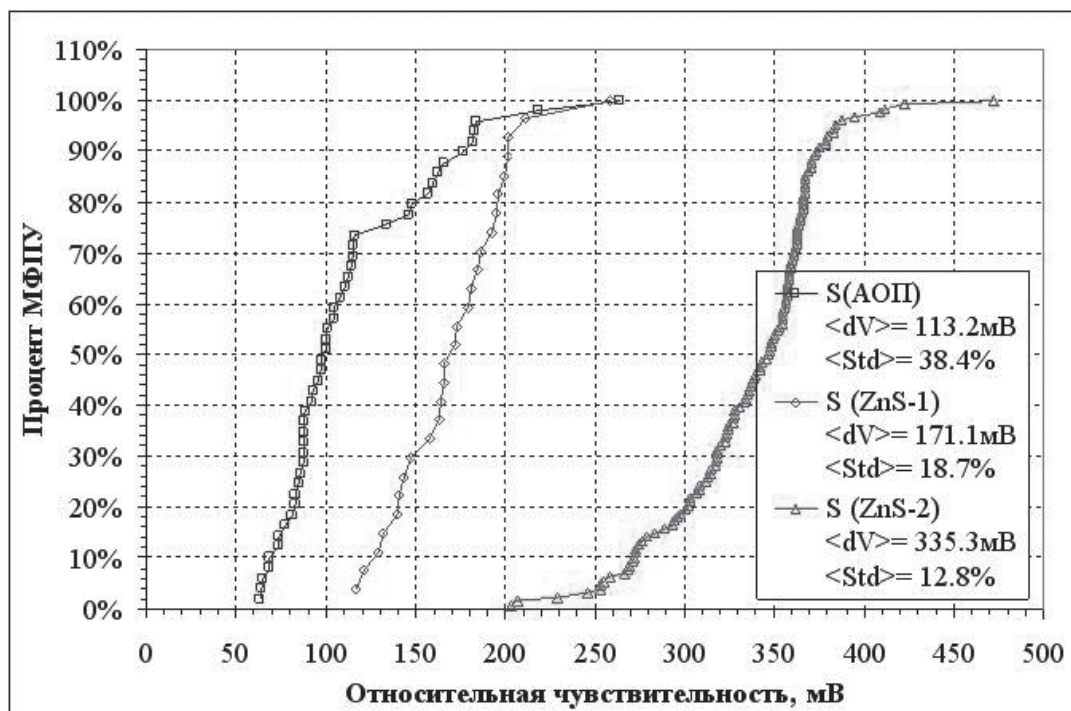


Рис. 4. Интегральная функция распределения МФПУ, изготовленных с пассивацией АОП и с двумя вариантами пассивации ZnS, по величине чувствительности.

На рис. 5 представлены результаты измерения эффективного времени жизни неосновных носителей заряда по кривым нарастания и спада сигнала в МФПУ с покрытием анодным окислом (73 нс) и в МФПУ с покрытием ZnS (95 нс). Принцип измерения времени жизни основан на регистрации изменения коэффициента отражения СВЧ-волны от по-

лупроводникового образца при его засветке прямоугольными импульсами света. Приведенная интегральная функция распределения МФПУ по величине времени жизни дырок подтверждает, что в МФПУ с покрытием ZnS поверхностная рекомбинация также существенно меньше.

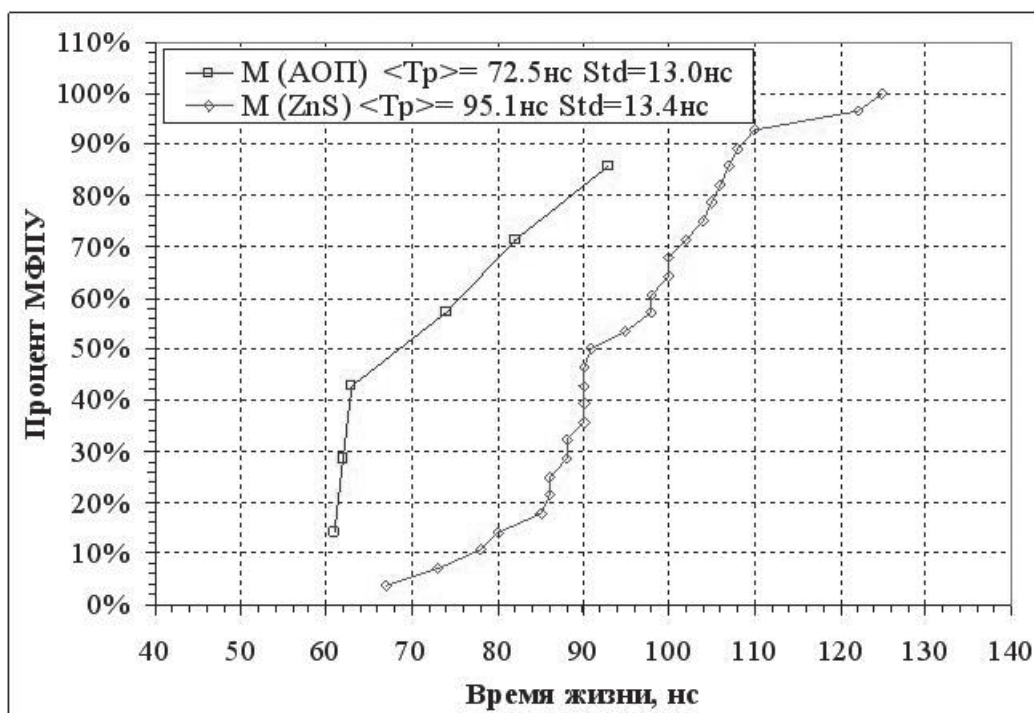


Рис. 5. Интегральная функция распределения МФПУ, изготовленных с пассивацией АОП и ZnS, по величине времени жизни дырок.

### Заклучение

Динамическая взаимосвязь в МФПУ на основе антимонида индия обусловлена влиянием захваченного заряда на медленных уровнях в приповерхностной области антимонида индия на скорость поверхностной рекомбинации, а, следовательно, и на чувствительность МФПУ.

Структуры с пассивацией обратной стороны ZnS [4] имеют в  $\sim 9$  раз меньшую динамическую взаимосвязь и в 1,5 – 3 раза большую чувствительность (в зависимости от технологии изготовления), чем с пассивацией АОП [5, 6], что обусловлено пониженной скоростью поверхностной рекомбинации при пассивации ZnS. При этом разброс величины эффекта и чувствительности на структурах антимонида индия с пассивацией тыльной поверхности АОП существенно больше, чем при пассивации ZnS.

Исследования показали, что различные технологии изготовления МФЧЭ при пассивации ZnS дают схожие результаты по уровню динамической взаимосвязи и её разбросу. Установлено, что разброс эффекта динамической взаимосвязи по МФПУ связан с исходной концентрацией носителей заряда в структурах InSb в диапазоне от  $2 \cdot 10^{14}$  см<sup>-3</sup> до  $10^{15}$  см<sup>-3</sup> и с влиянием режимов обработки поверхности на величину рекомбинации.

Кардинальный путь решения проблемы динамической взаимосвязи состоит в создании более качественных границ раздела с минимальной поверхностной рекомбинацией, в т.ч. при эпитаксиальном выращивании фоточувствительного слоя антимонида индия на высоколегированных подложках антимонида индия.

### Литература

1. *Benson R.G. et al.* //Proc. SPIE. 2000. V. 4131. P. 171
2. *Solomon S.* Charge Trapping in InSb Photodiode Arrays. - Ph.D. Dissertation. 1999. University of Rochester. Rochester. N.Y.
3. *Kasai et al.* Visible and infrared indium antimonide (INSB) photodetector with non-flashing light receiving surface. US Patent 5449943. 1995.
4. *Norton P.* // Opto-Electronics Review. 2002. No. 10(3). P. 159.
5. *Филачев А.М., Бурлаков И.Д., Дирочка А.И. и др.* // Прикладная физика. 2005. № 2. С. 21.
6. *Хитрова Л. М., Киселева Л. В., Касаткин И. Л.* Способ изготовления матричного фотоприемника. Патент № 2343590. 2007.

## Dynamic crosstalk in InSb FPAs

*K.O. Boltar, P.V. Vlasov, A.A. Lopukhin, and S.K. Rantsan*

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

*Dynamic crosstalk in the equipment with use indium antimonide Focal Plane Array (FPA) can worsen her performance characteristics. In the given work the dynamic cross-talk on the arrays of InSb photodiodes with various passivating overcoat. With this purpose the technique of an estimation of dynamic crosstalk has been developed and the cores of regularity of the phenomenon are revealed. Results of researches have been shown, that using of an antireflecting surface passivation ZnS allows reduce essentially dynamic crosstalk, to raise reproducibility and FPA photosensitivity.*

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

*Keywords: dynamic crosstalk, focal plane array, indium antimonide photodiodes, passivating overcoat.*

*Bibliography – 6 references*

*Received February 25, 2013*