

УДК 621.383.4/5:621.315.59

Динамическая взаимосвязь в матричных фотоприемниках среднего инфракрасного диапазона спектра

К.О. Болтарь, П.В. Власов, А.А. Лопухин,
С.К. Ранцан, В.П. Пономаренко, В.В. Фадеев

В аппаратуре на основе МФПУ среднего инфракрасного диапазона спектра динамическая взаимосвязь может существенно ухудшить тактико-технические характеристики. В данной работе разработана методика оценки динамической взаимосвязи и выявлены основные закономерности явления, проведено исследование динамической взаимосвязи при различных технологиях изготовления матричных фоточувствительных элементов (МФЧЭ) и различных пассивирующих покрытиях. Результаты исследований показали, что для уменьшения динамической взаимосвязи, повышения воспроизводимости и величины чувствительности МФПУ, необходимо применять пассивацию напылением пленки ZnS.

PACS: 07.07.Df, 07.57.— с, 81.05.Ea, 81.65.Rv

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

Введение

Динамическая взаимосвязь наблюдается в матричных фотоприемных устройствах (МФПУ) среднего инфракрасного диапазона спектра на основе фотодиодов из антимонида индия [1, 2, 7]. Она выражается в том, что после окончания засветки группы пикселей МФЧЭ инфракрасным излучением высокой интенсивности с каждого из засвеченных пикселей на протяжении длительного времени регистрируется остаточный сигнал в несколько раз превышающий шум. Иногда этот эффект также называют эффектом памяти или эффектом латентного изображения.

Объяснение эффекта состоит в следующем. 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.

Целью данной работы являлось исследование закономерности эффекта динамической взаимосвязи в МФПУ формата 320x256 на основе фотодиодов из антимонида индия.

Методика оценки динамической взаимосвязи

Для оценки динамической взаимосвязи различных матриц была разработана следующая методика. В поле зрения матрицы фоточувствительных элементов (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.

Болтарь Константин Олегович, начальник НТК, профессор².

Власов Павел Валентинович, ведущий инженер¹.

Лопухин Алексей Алексеевич, ведущий научный сотрудник¹.

Ранцан Сергей Константинович, инженер¹.

Пonomаренко Владимир Павлович, главный конструктор¹, профессор².

Фадеев Владислав Викторович, советник генерального директора¹.

¹ОАО «НПО «Орион».

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

Тел.: (499) 374-94-00; 374-94-01.

E-mail: orion@orion-ir.ru

²Московский физико-технический институт.

Россия, 141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., 9.

Статья поступила в редакцию 12 октября 2013 г.

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

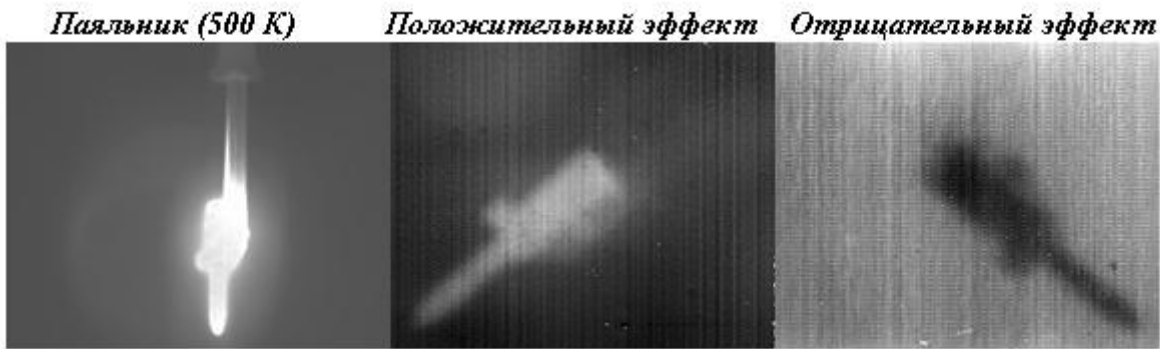


Рис. 1. Нагретый объект в поле зрения МФПУ (паяльник).

Разница между средним сигналом в элементах, на которые попало излучение от объекта, с сигналом в соседних, не засвеченных элементах, считается абсолютной величиной динамической взаимосвязи.

Нормируя напряжение сигнала на чувствительность, получим относительное значение динамической взаимосвязи, выражаемое обычно в процентах от уровня чувствительности МФПУ. Таким образом, устраняется влияние разброса чувствительности у различных МФПУ.

Результаты измерений

Измерения показали, что величина динамической взаимосвязи зависит от ряда факторов и может составлять до 70 дБ от уровня засветки, что соответствует превышению шума МФПУ до 100 раз при засветке объектом с температурой 500 К.

Основные закономерности динамической взаимосвязи, выявленные в ходе исследований, состоят в следующем:

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

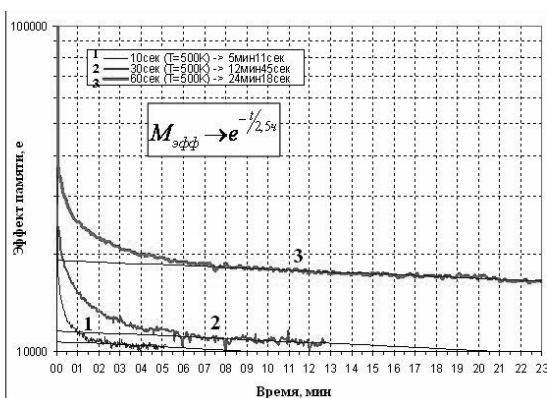


Рис. 2. Зависимости эффекта памяти приведенного к величине заряда на ёмкости накопления в ячейке от времени для структур с пассивацией АОП при различной длительности засветки (10 с, 30 с и 60 с) нагретым объектом с температурой 500 К.

– наблюдается в МФПУ на основе InSb [9, 10] 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];

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

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

– в фотодиодах с толстой базой ($d > L_p$) наблюдается латентное изображение отрицательного контраста; измерения проводились на структурах, с 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 °С. 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 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).

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 полупроводникового 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.

Заключение

Захваченный заряд на медленных уровнях в приповерхностной области антимонида индия влияет на скорость поверхностной рекомбинации, а, следовательно, и на чувствительность МФПУ, и, тем самым, приводит к появлению динамической взаимосвязи в МФПУ.

Структуры с пассивацией обратной стороны ZnS [4, 8] имеют в ~ 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.

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 $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ до 10^{15} см^{-3} и с влиянием режимов обработки поверхности на величину рекомбинации.

Создание более качественных границ раздела с минимальной поверхностной рекомбинацией, в том числе при эпитаксиальном выращивании фоточувствительного слоя антимонида индия на высоколегированных подложках антимонида индия, решит проблему динамической взаимосвязи.

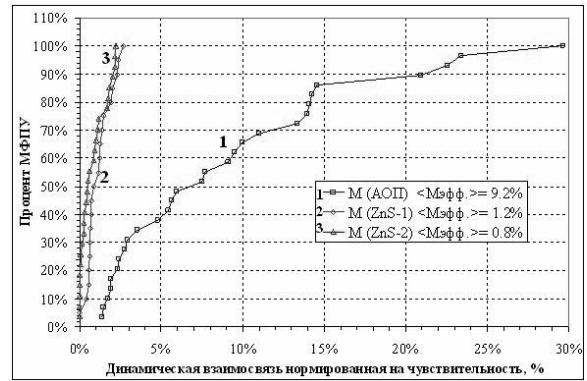


Рис. 3. Интегральная функция распределения МФПУ, изготовленных с пассивацией АОП и с двумя вариантами пассивации ZnS, по величине динамической взаимосвязи.

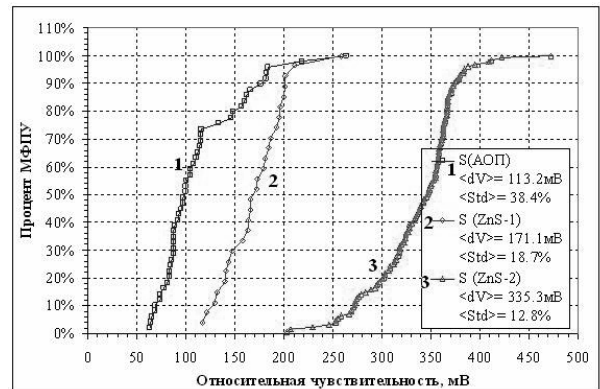


Рис. 4. Интегральная функция распределения МФПУ, изготовленных с пассивацией АОП и с двумя вариантами пассивации ZnS, по величине чувствительности.

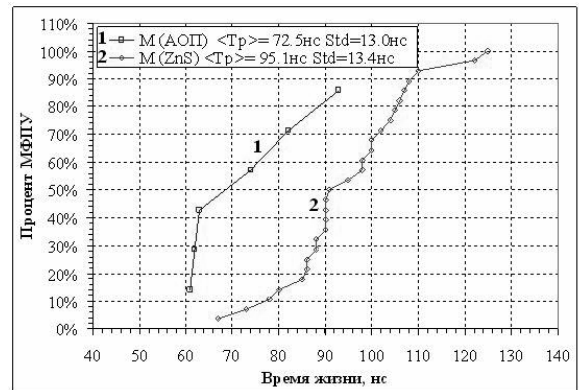


Рис. 5. Интегральная функция распределения МФПУ, изготовленных с пассивацией АОП и ZnS, по величине времени жизни дырок.

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., Булаков 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.

7. Филачев А.М., Таубкин И.И., Трищенко М.А. Твердотельная фотоэлектроника. Фотодиоды. — Москва. Физматкнига. 2011.

8. Болтарь К.О., Киселева Л.В., Лопухин А.А., Савостин А.В. Способ изготовления матричного фотоприемника (варианты). Патент № 2460174. 2012

9. Filachev A.M., Burlakov I. D., Dirochka A.I., et al. // Proceedings of SPIE. 2005. V. 5957. P..5957OT-1

10. Булаков И.Д., Голубков А.В., Дирочка А.И. и др. // Прикладная физика. 2005. № 2. С. 16.

Dynamic crosstalk in InSb FPAs

K.O. Boltar^{1,2}, P.V. Vlasov¹, A.A. Lopuhin¹,
S.K. Rantsan¹, V.P. Ponomarenko^{1,2}, and V.V. Fadeev¹

¹Orion R&P Association
46/2 Enthusiasts highway, Moscow, 11123, Russia
E-mail: orion@orion-ir.ru

²Moscow Institute of Physics and Technology (State University)
9 Institute al., Dolgoprudny, Moscow Region, 141700, Russia

Dynamic crosstalk in the equipment with use indium antimonide Focal Plane Array (FPA) can worsen her performance characteristics. In the given work the dynamic crosstalk 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.—с, 81.05.Ea, 81.65.Rv

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

Bibliography — 10 references

Received October 12, 2013