

УДК 621.383.4/5

Характеристики охлаждаемой диафрагмы МФПУ среднего инфракрасного диапазона спектра

К.О. Болтарь, П.В. Власов, А.А. Лопухин, Н.Г. Мансветов

Исследован эффект «паразитного излучения» в матричных фотоприемных устройствах (МФПУ) на основе антимолида индия. Установлено, что паразитное излучение попадает на матричный фоточувствительный элемент через щели, предназначенные для вывода платиновых контактов с раstra на керамическое кольцо вакуумного корпуса МФПУ. Подавление эффекта достигнуто путем использования конструкции типа «экран» и установкой холодного оптического фильтра в плоскости входного окна диафрагмы. В конструкции МФПУ с цилиндрической диафрагмой уровень и разброс по площади фоточувствительного элемента паразитного излучения достигают минимальных значений.

PACS: 07.07.Df, 07.57.-c, 81.05.Ea, 42.79.Ag, 61.80.Ba

Ключевые слова: матричное фотоприемное устройство, охлаждаемая диафрагма, паразитное излучение, долговременная стабильность, фотодиоды из антимолида индия.

Введение

В матричных фотоприемных устройствах (МФПУ) среднего инфракрасного диапазона спектра на основе фотодиодов из антимолида индия наблюдается эффект «паразитного излучения». Природа эффекта состоит в следующем. Работа входящей в состав МФПУ микрокриогенной системы (МКС) приводит к разогреву деталей внутри вакуумного корпуса МФПУ. Часть излучения от нагретых деталей через окно и прорезы охлаждаемой диафрагмы [1–2] попадает на матричный фоточувствительный элемент (МФЧЭ), вследствие чего емкости накопления в ячейках БИС-считывания помимо полезного сигнала разряжаются частью сигнала паразитного.

В МФПУ с малым относительным отверстием охлаждаемой диафрагмы при наличии холодного оптического фильтра фоновый ток значительно подавлен, и обусловленная паразитной подсветкой составляющая вносит существенный вклад в общий сигнал, а значит, ухудшает фотоэлектрические параметры МФПУ. Функционирование таких МФПУ в составе тепловизионных систем (особенно без дополнительного охлаждения корпусных деталей) характеризуется низкой долговременной стабильностью [3–5]. Обусловленный паразитной подсветкой неравномерный по площади МФЧЭ дрейф

сигнала будет приводить к раскалибровке изображения, а возрастающая по мере нагрева паразитная составляющая – к ухудшению эквивалентной шуму разности температур (ЭШРТ) [6].

Целью работы является исследование закономерностей эффекта, определение путей, которыми паразитное излучение попадает на МФЧЭ, и изменений конструкции охлаждаемой диафрагмы МФПУ с целью его подавления.

Качественное описание паразитного излучения для различных конструкций МФПУ

Стандартное устройство холодной зоны МФПУ выглядит следующим образом. Гибридизированная с МФЧЭ БИС-считывания приклеивается на сапфировый растр; контактные площадки БИС-считывания развариваются на токоведущие дорожки раstra. Растр приклеивается на держатель МФПУ и разваривается на контактные площадки керамического кольца вакуумного корпуса МФПУ. Затем на растр приклеивается охлаждаемая диафрагма [7] таким образом, что между нижней ее кромкой и растром остаются щели, через которые пропущены платиновые выводы с раstra на керамическое кольцо.

Предположено, что наиболее вероятный путь, по которому паразитное излучение попадает во внутреннюю полость охлаждаемой диафрагмы, проходит через эти щели. Затем излучение (в зависимости от угла, под которым оно проникает в ограниченную диафрагмой зону) путем внутренних переотражений от стенок диафрагмы и оптического фильтра, установленного вблизи МФЧЭ, попадает непосредственно на МФЧЭ.

Для подтверждения этой гипотезы изготовлено три варианта исполнения МФПУ формата 320×256 элементов на основе фотодиодов из антимолида индия [8–10]:

Исполнение № 1: МФПУ с охлаждаемой диафрагмой 1:3 без фильтра.

Болтарь Константин Олегович, начальник НТК¹, профессор²

Власов Павел Валентинович, ведущий инженер¹

Лопухин Алексей Алексеевич, ведущий научный сотрудник¹

Мансветов Николай Георгиевич, главный специалист¹

¹ОАО «НПО «Орион».

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

Тел.: (499) 374 9400. E-mail: orion@orion-ir.ru

²Московский физико-технический институт,

Россия, 141700, г. Долгопрудный МО,

Институтский пер., 9.

Статья поступила в редакцию 15 июня 2014 г.

© Болтарь К.О., Власов П.В., Лопухин А.А., Мансветов Н.Г., 2014

Исполнение № 2: МФПУ с охлаждаемой диафрагмой 1:4 с фильтром (3,6 – 4,9 мкм) вблизи МФЧЭ (внизу).

Исполнение № 3: МФПУ с охлаждаемой диафрагмой 1:4 с «экраном» и с фильтром в плоскости входного окна диафрагмы (вверху). «Экран» представляет собой закрепленное на основании диафрагмы кольцо, закрывающее щели и торцы раstra. Платиновые контакты выведены через выточенные в растре прорези.

Для каждого исполнения МФПУ получены зависимости напряжения сигнала и шума от времени накопления при температурах протяженного АЧТ 27 °С и 28 °С (рис. 1), по которым рассчитаны значения ЭШРТ при временах накопления, соответствующих уровню 0,6 разряда емкости БИС-считывания. Привязка к одному уровню разряда емкости позволяет адекватно сравнить различающиеся по чувствительности МФПУ.

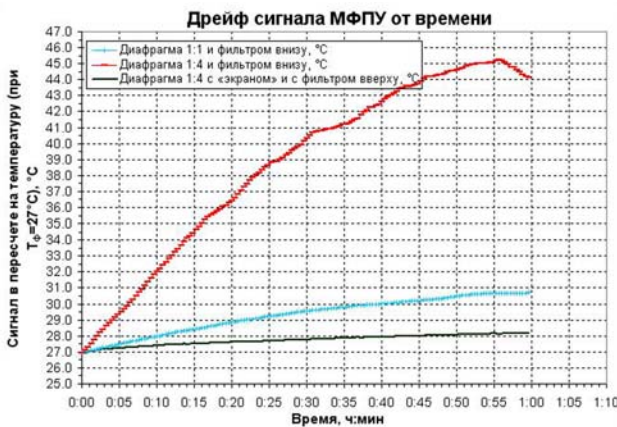


Рис. 1. График дрейфа сигнала для различных конструкций охлаждаемых диафрагм.

Для качественного сравнения эффекта «паразитного излучения» за своего рода точку отсчета взято аналогичное серийное МФПУ на основе антимолибдита индия с относительным отверстием охлаждаемой диафрагмы 1:1 и оптическим фильтром (3,6 – 4,9 мкм) вблизи МФЧЭ. В данной модификации МФПУ за счет большого относительного отверстия диафрагмы паразитная составляющая в полном сигнале достаточно мала, так как преобладает фоновая составляющая. Характерное значение ЭШРТ для данного МФПУ ≈ 12 мК при времени накопления $\approx 0,5$ мс. Величиной темного тока МФПУ можно пренебречь.

Значение ЭШРТ для исполнения № 1 составило 14,2 мК при времени накопления 1,22 мс. Теоретически при переходе от диафрагмы 1:1 к 1:3 сигнал должен уменьшиться в 9 раз (как квадрат синуса половины угла поля зрения). Тогда, для того чтобы сохранить тот же уровень разряда емкости, нам необходимо накапливать сигнал в 9 раз дольше, так как в линейной области сигнал прямо пропорционален времени накопления. С другой стороны, убрав в исполнении № 1 оптический фильтр, теоретически мы должны получить сигнал, приблизительно, в 2 раза больше (отношение коэффициентов использования по спектральным характеристикам). В результате время накопления для исполнения № 1 должно составить, приблизительно, 2,2 мс, вместо полученных 1,22 мс.

Можно заключить, что в данной конструкции сигнал, обусловленный паразитным излучением начинает

приобретать вес в общем сигнале. Отсюда происходит и потеря в ЭШРТ. Стоит отметить, что увеличение ЭШРТ связано с потерей полезного сигнала, а не с шумами МФПУ, так как во всех случаях уровень шумов приблизительно одинаков.

Для исполнения № 2 значение ЭШРТ составило 29,7 мК при времени накопления 2,9 мс. Пользуясь приведенными выше рассуждениями находим, что в данном случае емкость должна разряжаться тем же сигналом за 8 мс.

Для исполнения № 3 значение ЭШРТ составило 12,5 мК при времени накопления 8,2 мс. Величина времени накопления хорошо коррелирует с расчетной, а ЭШРТ достигло значения, характерного для МФПУ с диафрагмой 1:1. Использование «экрана» позволило перекрыть путь через щели между диафрагмой и растром паразитному излучению внутри вакуумного корпуса МФПУ.

Измерение паразитного излучения

Чтобы измерить и количественно описать паразитное излучение, была разработана следующая методика.

МФПУ выводится в рабочий режим с постоянным обдувом МКС вентилятором. После выхода на режим, в поле зрения МФПУ помещают протяженное АЧТ. Проводится двухточечная коррекция при температурах АЧТ 27 °С и 32 °С. Затем на АЧТ выставляется температура 27 °С и вентилятор убирается. С этого момента измерительная система с определенной частотой записывает кадры с откорректированным изображением на протяжении 1 часа. В конце записи кадры сшиваются в видео, на котором отображается характер паразитного излучения, его распределение по площади МФЧЭ и разброс.

На рис. 1 представлены графики, отображающие дрейф среднего значения сигнала после того, как МКС перестала охлаждаться обдувом вентилятора. Как и предполагалось, самый большой рост сигнала зафиксирован на МФПУ исполнения № 2 (с охлаждаемой диафрагмой 1:4 и фильтром вблизи МФЧЭ). В течение часа среднее значение сигнала увеличилось в пересчете на градусы Цельсия на 17 °С, а разброс сигнала по МФЧЭ составил 6,5%. МФПУ исполнения № 3 (с охлаждаемой диафрагмой 1:4 с «экраном» и с фильтром в плоскости входного окна диафрагмы) показало наилучший результат – увеличение сигнала чуть больше 1 °С за час; что даже лучше, чем 4 °С для МФПУ с диафрагмой 1:1 и фильтром вблизи МФЧЭ. Разброс сигнала не превысил 3%.

Полученные зависимости показывают, что для оптимальной работы МФПУ следует максимально перекрыть доступ паразитному излучению, например, с помощью использованной конструкции типа «экран». Перемещение холодного фильтра в плоскость входного окна диафрагмы так же снижает негативное влияние эффекта на характеристики МФПУ.

Усовершенствование конструкции охлаждаемой диафрагмы

С учетом полученных результатов изготовлены еще три исполнения МФПУ с относительными отверстиями охлаждаемой диафрагмы 1:4 с «экранами» и оптическими фильтрами, закрепленными в плоскости входного окна

диафрагм. В первом использована давленная диафрагма (обратный конус) с малым экраном на растре с прорезями под платиновые выводы. Во втором – такая же диафрагма, но растр без прорезей: выводы не утоплены в растр, и, соответственно, экран шире. В третьем – диафрагма точеная цилиндрическая с малым экраном.

Измерения эффекта показали, что рост паразитного сигнала в пересчете на температуру менее одного градуса

за час для всех исполнений МФПУ не превышает 1 °С. При этом разброс сигнала составил:

- давленная диафрагма (обратный конус) с широким экраном – 1,75%;
- давленная диафрагма (обратный конус) с малым экраном – 1,10%;
- точеная диафрагма (цилиндр) с малым экраном – 0,24%.

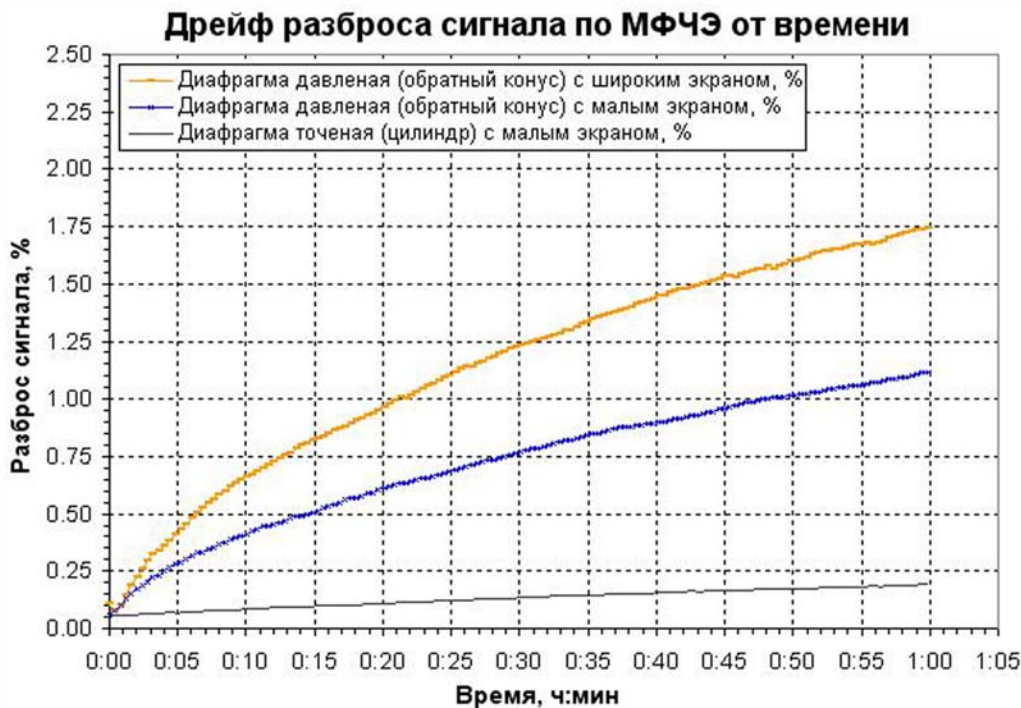


Рис. 2. График дрейфа разброса сигнала по МФЧЭ для различных конструкций охлаждаемых диафрагм с «экранами».

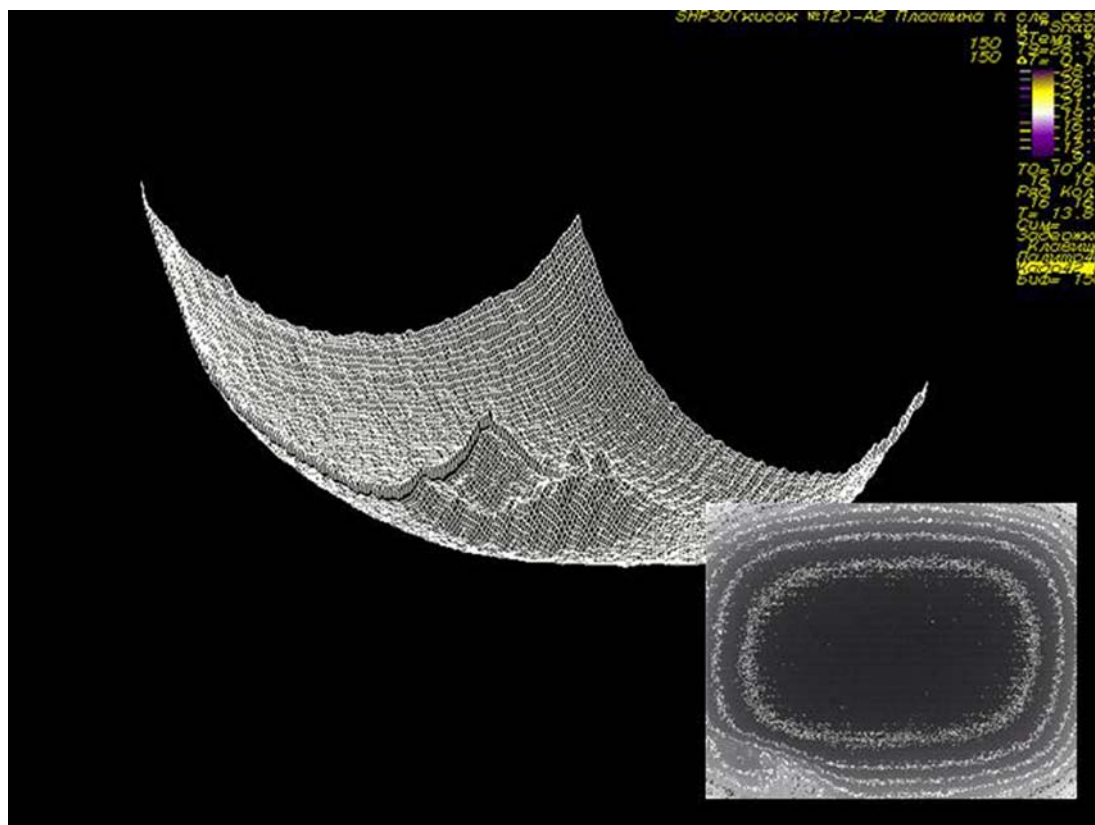


Рис. 3. Характер распределения дрейфа сигнала после часа работы МФПУ с давленной диафрагмой (обратный конус) и малым экраном.

На рис. 3 представлен трехмерный график сигнала МФПУ с диафрагмой (обратный конус) с малым экраном. После проведения двухточечной коррекции, когда сигнал во всех элементах выровнен, график представляет собой плоскость размером 320x256 пикселей. Когда вследствие паразитной подсветки сигнал начинает расти, на графике отображается характер этого роста.

Рисунок наглядно демонстрирует разброс паразитного сигнала во времени. Видно, что рост паразитного сигнала происходит преимущественно в угловых элементах. В МФПУ с точеной цилиндрической диафрагмой наблюдается более однородное по площади возрастание сигнала.

Заключение

Исследование эффекта паразитной подсветки в различных конструкциях МФПУ на основе фотодиодов из антимонида индия показало, что при использовании в конструкции цилиндрической диафрагмы уровень и разброс паразитного излучения достигают минимальных значений.

Установлено, что паразитное излучение попадает на МФЧЭ через щели, предназначенные для вывода платиновых контактов с раstra на керамическое кольцо вакуумного корпуса МФПУ. Чтобы перекрыть путь большей части излучения, достаточно использовать конструкцию типа «экран», уменьшение ширины которого не оказывает

существенного влияния на эффект.

Холодный оптический фильтр следует устанавливать как можно дальше от МФЧЭ, например, в плоскости входного окна диафрагмы. От него в большей степени отражается та часть излучения, которая дает вклад в паразитную составляющую сигнала, ухудшая технические характеристики и долговременную стабильность МФПУ.

Литература

1. Патрашин А.И. // Прикладная физика, 2011. № 3. С. 98.
2. Патрашин А.И. // Прикладная физика. 2010. № 3. С. 123.
3. Gross W., Hierl T., Schulz M. // Optical Engineering. 1999. V. 38. No. 5. P. 862.
4. Соляков В.Н., Кортиков М.В. // Прикладная физика. 2010. № 1. С. 58.
5. Соляков В.Н., Корнеева М.Д., Кортиков М.В. и др. // Прикладная физика. 2011. № 4. С. 96.
6. Патрашин А.И. // Прикладная физика. 2010. № 2. С. 103.
7. Болтарь К.О., Киселева Л.В., Лопухин А.А. и др. // Прикладная физика. 2010. № 3. С. 116.
8. Болтарь К.О., Киселева Л.В., Лопухин А.А., Савостин А.В. Способ изготовления матричного фотоприемника (варианты). Патент № 2460174. 2012.
9. Болтарь К.О., Власов П.В., Лопухин А.А. и др. // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1. № 6. С. 733.
10. Болтарь К.О., Власов П.В., Лопухин А.А. и др. // Прикладная физика. 2013. № 6. С. 67.

Работа выполнена по гранту Президента Российской Федерации НШ-2787.2014.9

FPA cold shield characteristics

K. O. Boltar, P. V. Vlasov, A. A. Lopukhin, and N. G. Mansvetov

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

Received June 15, 2014

Parasitic radiation in infrared focal plane arrays (FPA) with InSb photodiodes is investigated. This radiation penetrate into the detector array through chink, which is used for platinum contacts, joining leucosapphire raster and ceramic ring of FPA's vacuum case. Shielding construction and putting cold optical filter on area of cold shield entrance window could decrease negative effect. Quantity and spread of parasitic radiation have minimal value in FPA with cylindrical cold shield.

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

Keywords: Focal Plane Array, cold shield, parasitic radiation, long-term stability, indium antimonide photodiodes.

References

1. A. I. Patrashin, Prikladnaya Fizika, No. 3, 98 (2011).
2. A. I. Patrashin, Prikladnaya Fizika, No. 3, 123 (2010).
3. W. Gross, T. Hierl, and M. Schulz, Optical Engineering **38**, 862 (1999)
4. V. N. Solyakov and M. V. Kortikov, Prikladnaya Fizika, No. 1, 58 (2010).
5. V. N. Solyakov, M. D. Korneeva, M. V. Kortikov, et al., Prikladnaya Fizika, No. 4, 96 (2011).
6. A. I. Patrashin, Prikladnaya Fizika, No. 2, 103 (2010).
7. K. O. Boltar, L. V. Kiseleva, A. A. Lopukhin, et al., Prikladnaya Fizika, No. 3, 116 (2010).
8. K. O. Boltar, L. V. Kiseleva, A. A. Lopukhin, et al., RF Patent No. 2460174. 2012.
9. K. O. Boltar, P. V. Vlasov, A. A. Lopukhin, et al., Uspekhi Prikladnoi Fiziki **1**, 733 (2013).
10. K. O. Boltar, P. V. Vlasov, A. A. Lopukhin, et al., Prikladnaya Fizika, No. 6, 67 (2013).