

*T. V. Kiseleva, A. V. Kulymanov, O. V. Ogneva, A. E. Troshkov,  
I. V. Tchinareva, A. G. Sharipov*  
ORION, Research-and-Production Association, Moscow, Russia

*Results are described of high density plasma deposition technology of  $Si_3N_4$  films on dark current and stability of planar InGaAs/InP pin-photodiodes. The processing parameters of film deposition from nitrogen-mono-silan gas mixture as well resulting films parameters itself are presented. The described technology of  $Si_3N_4$  film deposition provides dark current density of InGaAs/InP pin-photodiodes as low as  $10^{-6}$ — $10^{-5}$  A/cm<sup>2</sup> under operating a range temperatures up to 60 centigrade.*

УДК 621.384.3

## Моделирование характеристик матричного фотоприемного устройства в составе тепловизионной системы

*В. А. Балоев, В. П. Иванов, Я. М. Латыпов*  
ФГУП «НПО "Государственный институт прикладной оптики"», г. Казань, Россия

*Многоэлементные фотоприемники обладают значительным разбросом чувствительности между элементами, что приводит к появлению на выходном изображении помех за счет различия выходных напряжений элементов при одинаковых параметрах облучающего сигнала. Для исключения указанных дефектов изображения применяются различные методы выравнивания чувствительности каналов. При этом надо заметить, что эффективность такого выравнивания во многом зависит от исходного разброса вольтовой чувствительности многоэлементного фотоприемника.*

Один из перспективных путей создания современных инфракрасных систем с высокими характеристиками — это применение фотоприемных устройств второго поколения — многорядных линейных матриц, работающих в режиме временной задержки и накопления. Однако многоэлементные фотоприемники в силу ряда технологических причин [1] обладают, как правило, значительным разбросом чувствительности между элементами. Различия в чувствительности каналов тепловизионного прибора приводят к появлению на выходном изображении помех за счет различия выходных напряжений с элементов при одинаковых параметрах облучающего сигнала — так называемого геометрического шума [2].

Цель работы — проведение численного моделирования выходного сигнала тепловизионного прибора с матричным фотоприемным устройством в целях изучения влияния разброса чувствительности элементов матрицы фотоприемника (геометрического шума) на характеристики тепловизионной системы.

Геометрический шум характерен как для тепловизионных приборов с фотоприемниками в виде линейки чувствительных элементов, так и для тепловизионных приборов с матричными фотоприемниками. Таким образом, геометрический шум практически неизбежно присутствует в тепловизионных приборах с многоэлементными фотоприемниками и выглядит как неизменяющееся от кадра к кадру, случайное от прибора к прибору распределение яркости строк. При этом в теп-

ловизионных приборах с матричными фотоприемниками зачастую геометрический шум превалирует над временным шумом и, соответственно, оказывает определяющее влияние на основные характеристики тепловизионного прибора. Существенной особенностью геометрического шума является то, что он фиксирован от кадра к кадру. Если в случае временного шума происходит повышение отношения сигнал/шум от кадра к кадру за счет интегрирующих свойств глаза, то для геометрического шума аналогичного повышения отношения сигнал/шум от кадра к кадру не происходит [3].

Для исключения указанных дефектов изображения, обусловленных неоднородностями чувствительности каналов фотоприемника, применяются различные методы выравнивания чувствительности каналов, в частности выравнивание по сигналам от одного или нескольких протяженных излучателей с неизменными от кадра к кадру температурами. Суть метода в том, что в начале и/или в конце кадра фотоприемником принимается сигнал от эталонного источника, и на его основе формируется разностный сигнал, служащий для вычисления коэффициентов коррекции. При этом зачастую сигнал с "дефектных" каналов (т. е. каналов, имеющих чувствительность ниже заданного уровня) заменяется сигналом соседнего рабочего канала. Сигнал со всех прочих элементов корректируется до требуемого уровня путем домножения на коэффициент коррекции.

Надо отметить, что процедура выравнивания чувствительности каналов по сигналам от нескольких про-

тяженных излучателей в общем случае не гарантирует абсолютной компенсации геометрического шума в изображении. После выравнивания всегда остается некий остаточный геометрический шум, обусловленный ошибками выравнивания за счет погрешностей элементной базы, ограничения возможностей блока электронной обработки сигнала и прочих причин. Одна из причин, которая вызывает существенное влияние на эффективность выравнивания, — исходный разброс вольтовой чувствительности в каналах многоэлементного фотоприемника. Во многих случаях исходный разброс вольтовой чувствительности является фактором, определяющим предельные характеристики системы вне зависимости от конструктивных особенностей тепловизионного прибора.

Для выяснения влияния исходного разброса чувствительности в каналах матрицы на результаты коррекции геометрического шума и, следовательно, на характеристики тепловизионной системы были проведены расчетные эксперименты по моделированию фотоприемника в составе тепловизионной системы. При этом модель тепловизионной системы представляла собой систему взаимодействующих математических моделей отдельных элементов системы. Широко применяемой характеристикой способности тепловизионной системы различать слабые сигналы на фоне шумов является эквивалентная шуму разность температур [4, 5], которая и стала критерием оценки выравнивания геометрического шума рассматриваемых матричных фотоприемников. Таким образом, сравнивая полученные в каждом расчетном эксперименте значения эквивалентной шуму разности температур, полученные в результате моделирования, мы можем сравнить качество тепловизионных систем с различными фотоприемными устройствами, имеющими различные характеристики. Наилучшей считается система с минимальным значением эквивалентной шуму разности температур. Для удобства в каждой группе численных экспериментов максимальную среди полученных значений эквивалентную шуму разность температур будем считать равной 100 % и результат для  $i$ -го образца — в процентах от максимального значения.

Оценку влияния первоначального разброса вольтовой чувствительности элементов на качество тепловизионной системы рассмотрим на примере использова-

ния КРТ матриц  $2 \times 256$ , имеющих различный разброс вольтовой чувствительности в каналах (рис. 1—3). Как видно из рис. 1, образец 1 имел значительный разброс вольтовой чувствительности по всем каналам, а образцы 2 и 3 (см. рис. 2, 3, соответственно) при относительно небольшом общем разбросе различаются наличием отдельных каналов с чувствительностью заметно ниже среднего значения.

Покажем, что исходный разброс чувствительности в каналах фотоприемника оказывает существенное влияние на характеристики системы. При этом на эту зависимость не влияют изменения в методике выравнивания.

*В первом случае* для устранения геометрического шума используем метод выравнивания по эталонному сигналу от абсолютно черного тела и собственным шумам элементов. Спектральные характеристики и уровень шумов рассматриваемых образцов фотоприемников были близки по значению. Прочие параметры элементов тепловизионной системы от образца к образцу не изменялись. Модели компонентов тепловизионной системы будем рассматривать как идеальные.

Результирующие значения эквивалентной шуму разности температур, полученных после реализации процедуры выравнивания, для трех рассматриваемых приемников представлены ниже:

Номер образца	Эквивалентная шуму разность температур, %
1.....	100
2.....	96
3.....	70

*Во втором случае* для устранения геометрического шума используем метод выравнивания по эталонным сигналам от двух протяженных источников (два абсолютно черных тела с неизменной от эксперимента к эксперименту разностью температур). Данный метод выравнивания используется чаще в силу более простой физической реализуемости. Так же, как и в первом случае, изменялся разброс чувствительностей в каналах фотоприемника. Спектральные характеристики и уровень шумов рассматриваемых образцов фотоприемников были близки по значению, и параметры элементов тепловизионной системы от образца к образцу не изменялись. Модели компонентов тепловизионной системы будем рассматривать как идеальные.

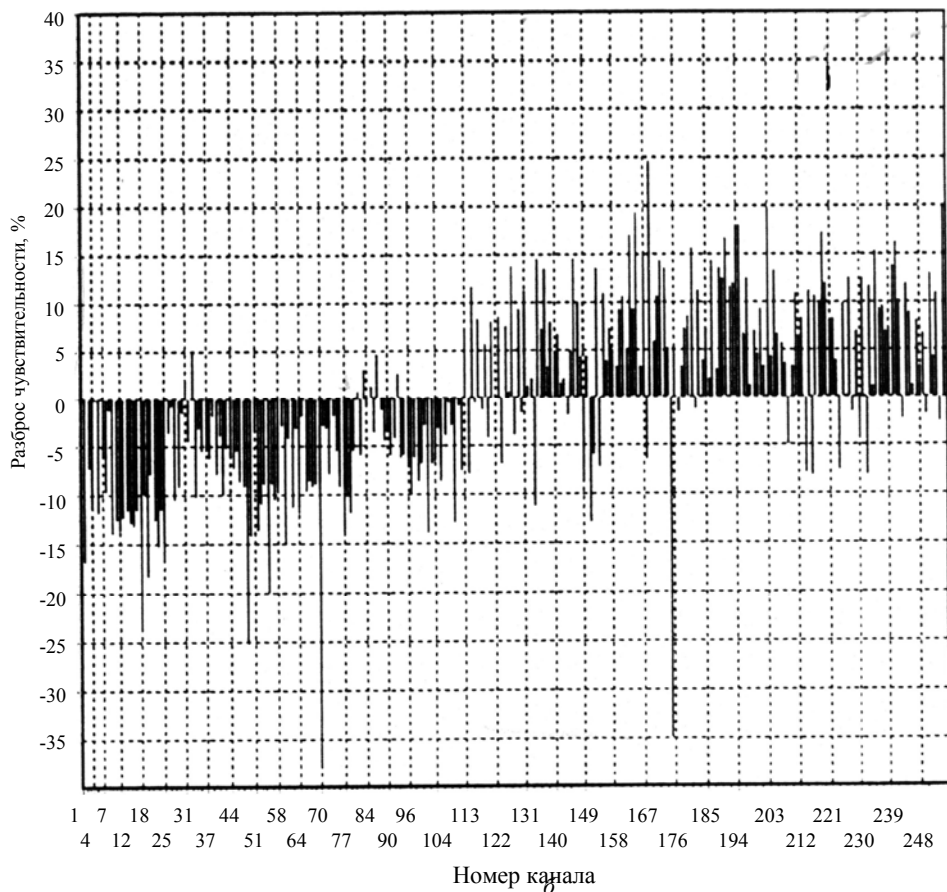
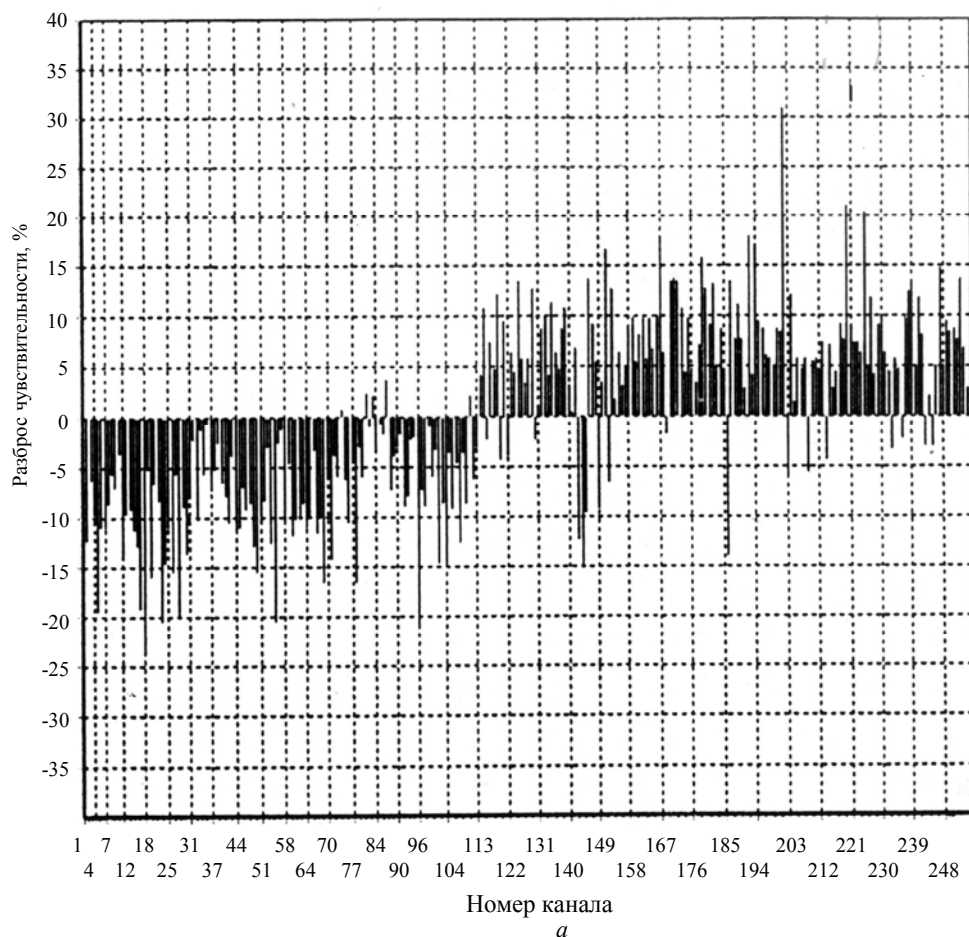


Рис. 1. Образец 1:  
*a* — линейка 1; *б* — линейка 2

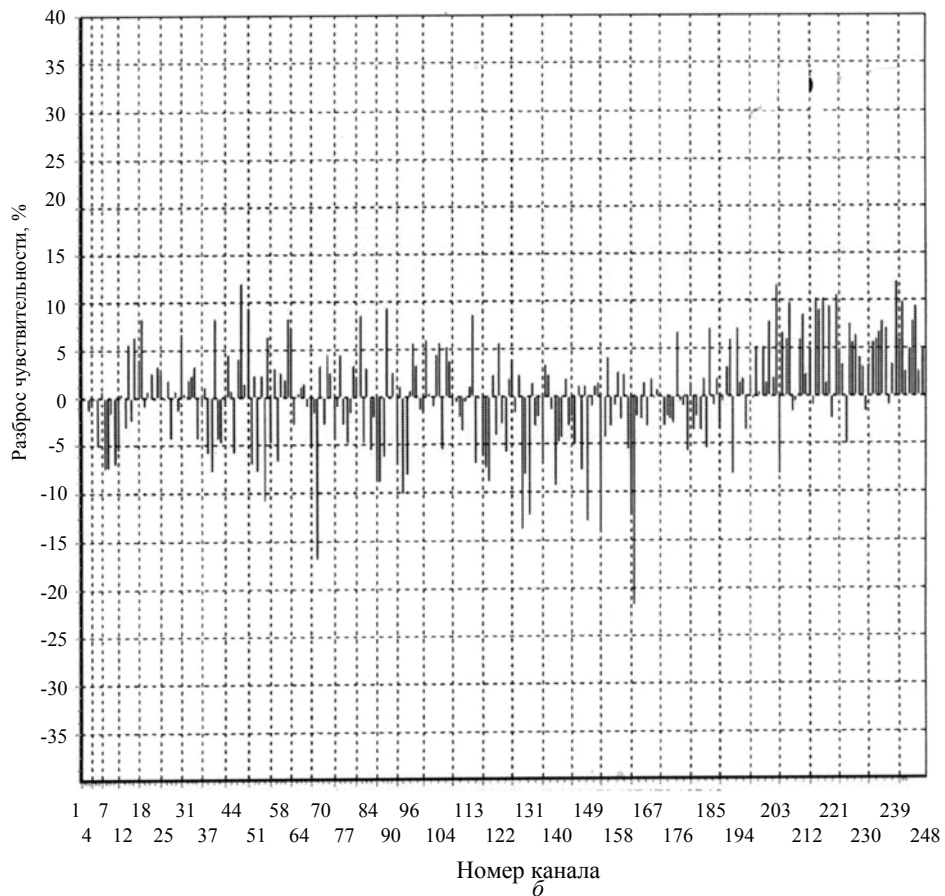
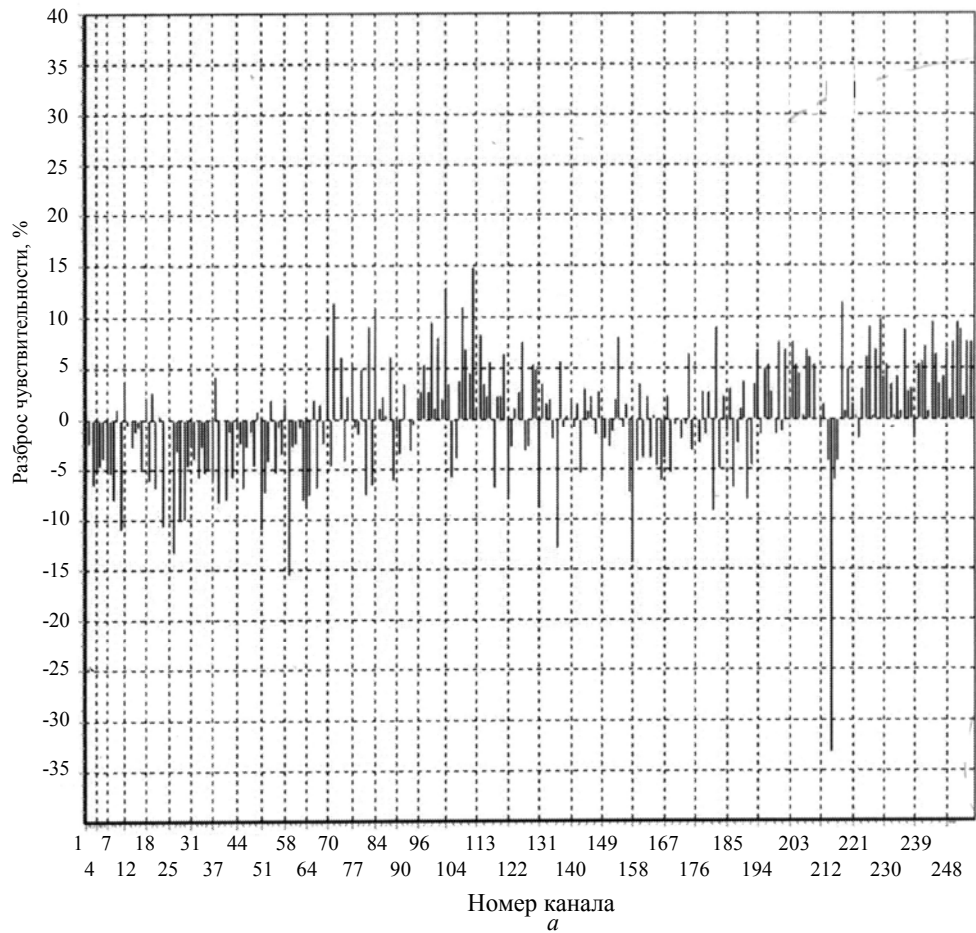


Рис. 2. Образец 2:  
а — линейка 1; б — линейка 2

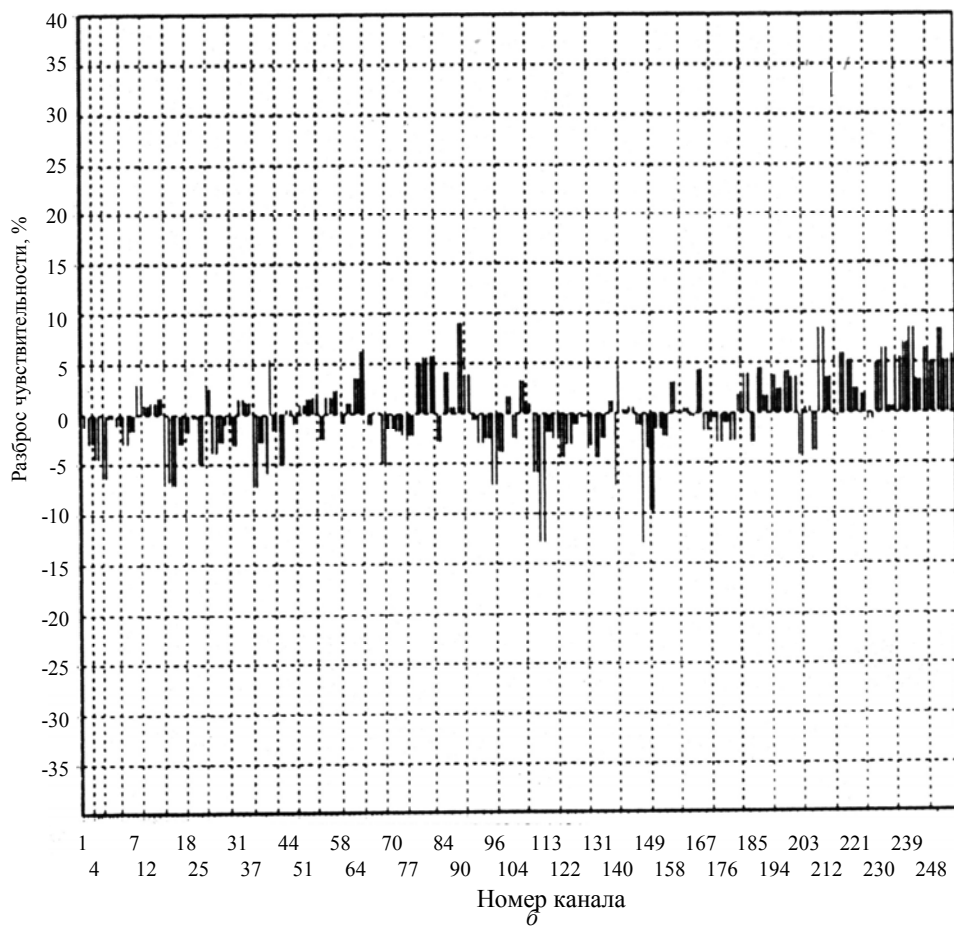
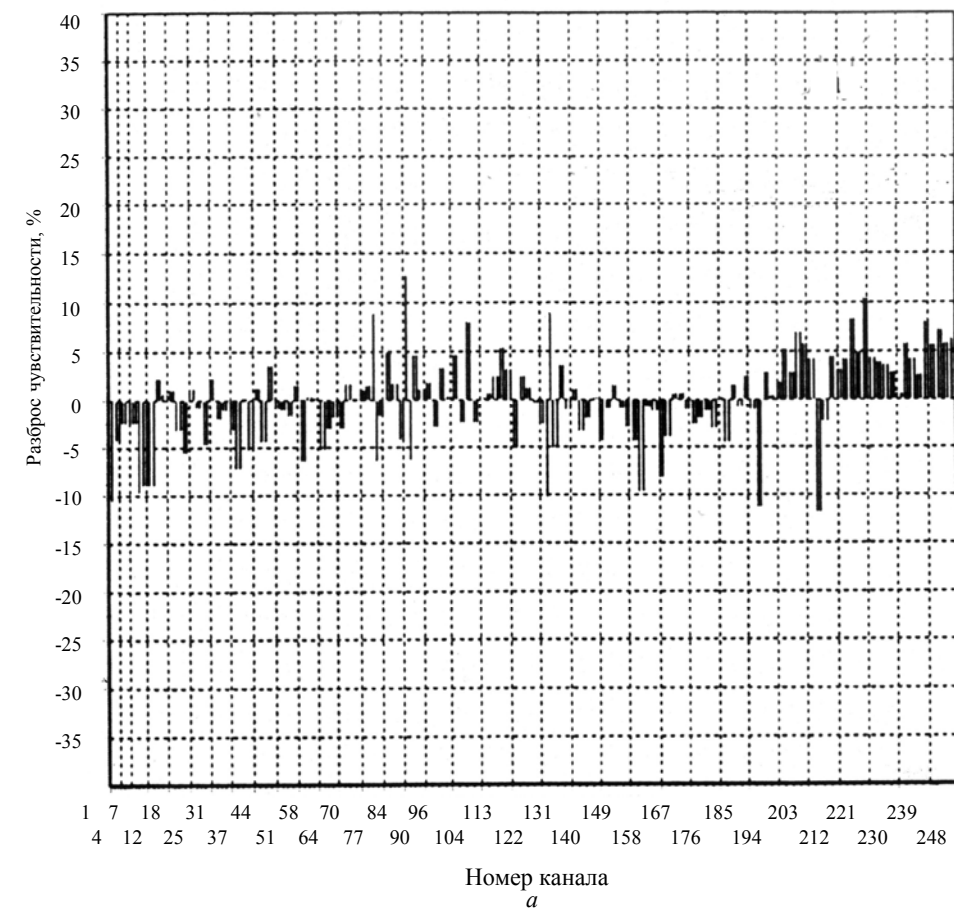


Рис. 3. Образец 3:  
а — линейка 1; б — линейка 2

Результирующие значения эквивалентной шуму разности температур, полученных после реализации процедуры выравнивания, для трех рассматриваемых приемников представлены ниже:

Номер образца	Эквивалентная шуму разность температур, %
1.....	100
2.....	93
3.....	69

Из приведенных результатов следует, что вне зависимости от метода выравнивания значительный исходный разброс чувствительности в матрице имеет существенное значение для формирования характеристик тепловизионного прибора. Значительный разброс в каналах матрицы приводит к снижению характеристики прибора. При этом надо заметить, что даже при относительно небольшом общем разбросе чувствительности элементов в матрице наличие отдельных единичных каналов, имеющих значение чувствительности заметно ниже среднего на фоне остальных элементов с чувствительностью, близкой к среднему значению, приводит к заметному снижению характеристик системы, что связано с ошибками вычисления коэффициентов коррекции, вызванных наличием этих каналов. Понятно, что

наибольший вклад в ухудшение характеристик вносят каналы, имеющие уровень чувствительности, лишь ненамного превышающий "дефектный" уровень, поскольку такие каналы пропускаются при реализации процедуры замены сигналов в "дефектных" каналах и вносят отрицательный вклад в качество выравнивания геометрического шума в тепловизионной системе.

**Л и т е р а т у р а**

1. Овсяк В. Н., Курьшев Г. Л., Сидоров Ю. Г. и др. Матричные фотоприемные устройства ИК-диапазона. — Новосибирск: Наука, 2001.
2. Алеев Р. М., Иванов В. П., Овсянников В. А. Основы теории анализа и синтеза воздушной тепловизионной аппаратуры. — Казань: Изд-во Казанск. ун-та.
3. Вафиади А. В., Нацци В. А., Шабашев О. К. Экспериментальное исследование влияния геометрического шума на основные характеристики тепловизионного прибора// Оптический журнал. 1997. Т. 64. № 2. С. 17.
4. Макаров А. С., Омелаев А. И., Филиппов В. Л. Введение в технику разработки и оценки сканирующих тепловизионных систем.— Казань: Унипресс, 1998.
5. Ллойд Дж. Системы тепловидения/ Пер. с англ. — М.: Мир, 1978.

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2004 г.

**Modeling of characteristics of array photodetecting device in composition with the thermal imaging system**

V.A. Baloev, V.P. Ivanov, Y.M. Latypov  
State Institute of Applied Optics, Kazan, Russia

*Multielement photodetectors have a considerable spread of sensitivity between the elements, and that leads to the noise appearance on the output image due to the difference of output elements voltage at similar parameters of irradiated signal. In order to exclude the pointed image defects they used different methods of channel sensitivity equalization. At that we should notice that the efficiency of such equalization depends in many respects on the parent voltage sensitivity range of multielement photodetector.*

УДК 621.315.592

**Фотоэлектрические свойства изотипных гетеропереходов n-InSe<PЗЭ>/n-CuInSe<sub>2</sub> в видимой и ближней ИК-областях**

А. Ш. Абдинов, Р. Ф. Бабаева, Р. М. Исмаилов, Г. Х. Эйвазова  
Бакинский государственный университет, г. Баку, Республика Азербайджан

*Методом посадки на оптический контакт созданы изотипные гетеропереходы n-InSe<PЗЭ>/n-CuInSe<sub>2</sub> с процентным содержанием введенной примеси N<sub>REE</sub> = 0; 10<sup>-5</sup>; 10<sup>-4</sup>; 10<sup>-3</sup>; 10<sup>-2</sup> и 10<sup>-1</sup> ат.% редкоземельных элементов (PЗЭ) типа гадолиния, гольмия и диспрозия. Исследованы их фотоэлектрические свойства в режимах фотопроводимости, фотоЭДС и фотодиода при различных ориентациях падающего света относительно контактирующих*