

УДК 535.247.049.7:621.383.52

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТРИЧНЫХ ИК ФОТОПРИЕМНИКОВ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

В.Г. Половинкин<sup>1,2</sup>, В.А. Стучинский<sup>1</sup>, А.В. Вишняков<sup>1</sup>, И.И. Ли<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ИФП им. А.В. Ржанова

<sup>2</sup> Новосибирский государственный технический университет

Представлены результаты расчетов пространственного распределения локальной квантовой эффективности в матричных ИК фотоприемниках на основе эпитаксиальных слоев КРТ при их освещении со стороны подложки. Расчеты основаны на моделировании диффузии фотогенерированных носителей методом Монте-Карло с учетом основных фотоэлектрических (диффузионная длина неосновных носителей, длины поглощения излучения в слое абсорбера) и конструктивных параметров фотоприемников (размер фотоприемников, глубина и диаметр  $p$ - $n$ -перехода, толщина фоточувствительного слоя (слоя абсорбера)). Показано, что зависимости пространственного распределения локальной квантовой эффективности позволяют рассчитать интегральные значения квантовой эффективности в условиях однородной и локальной засветки фотоприемников в зависимости от фотоэлектрических и конструктивных параметров. Сформулированы требования к конструктивным параметрам фотодиодов (соотношение размера  $p$ - $n$ -переходов и геометрических размеров ФЧЭ), обеспечивающие достижение предельных значений чувствительности и пространственного разрешения, а также пониженных значений коэффициента фотоэлектрической связи многоэлементных ИК ФПУ на основе пленок материала КРТ.

**Ключевые слова:** ИК фотоприемное устройство (ИК ФПУ), фотодиод, локальная квантовая эффективность, носитель заряда НЗ, пространственное разрешение.

DOI: 10.17212/1727-2769-2017-4-91-100

### Введение

При оптимизации фотоэлектрических и конструктивных параметров фоточувствительных элементов (ФЧЭ) многоэлементных фотоприемных устройств (ФПУ) основное внимание ранее уделялось проблеме уменьшения темновых токов диодов. Современная технология обеспечивает уровень темновых токов диодов, не ограничивающий чувствительность ИК ФПУ [1–3]; в связи с этим на передний план выходят вопросы, связанные с процессом сбора фотодиодами ФПУ фотогенерированных носителей заряда (НЗ), и с необходимостью учета распределения локальной квантовой эффективности по площади матрицы [4].

Целью данной работы являлось моделирование методом Монте-Карло процесса диффузии фотогенерированных НЗ в ФС матричных ФПУ, направленное на вычисление пространственного распределения локальной квантовой эффективности по площади ФЧЭ устройства, а также величины фотоэлектрической связи и интегральных квантовых эффективностей фотоэлементов в условиях однородной и локальной засветок фотоприемной матрицы детектируемым излучением с учетом основных фотоэлектрических и конструктивных параметров ФПУ, таких как диффузионная длина НЗ, длина поглощения излучения в материале абсорбера, размер ФЧЭ, глубина и диаметр  $p$ - $n$ -перехода, толщина ФС [5–8].

Значения квантовых эффективностей в условиях однородной и локальной засветок ФПУ позволяют прогнозировать пороговую чувствительность, обнаружительную способность, пространственное разрешение и частотно-контрастную характеристику фотоприемных устройств.

### Описание модели

Моделирование процессов генерации, диффузии и рекомбинации НЗ в фото-чувствительной пленке материала КРТ производилось методом Монте-Карло.

Основные параметры модели включают:

- параметры фоточувствительного слоя (ФС): толщина ФС –  $t$ , длина диффузии НЗ –  $L_D$ , длина поглощения излучения в материале абсорбера –  $L_{ph}$ ;
- геометрические параметры ФЧЭ: шаг массива ФЧЭ (по  $x$  и по  $y$ ) –  $(h_x, h_y)$ ;
- геометрические параметры диода: глубина –  $h_d$ , форма – круглый с диаметром  $D_d$ , или прямоугольный с размерами  $d_x$  и  $d_y$ ;
- элементарный шаг диффузионной модели –  $h_{st}$ .

Пример пространственного распределения локальной квантовой эффективности ФЧЭ по фрагменту  $3 \times 3$  фоточувствительных элементов приведен на рис. 1. Данные получены для фотоприемной матрицы с размером ФЧЭ  $20 \times 20$  мкм<sup>2</sup>. В расчетах диаметр  $n$ -области диода был выбран равным 10 мкм; для величины заглубления диода в ФС было принято значение 2 мкм, для длины диффузии НЗ – значение  $L_D = 20$  мкм, для толщины ФС – 6 мкм, для длины оптического поглощения излучения в слое абсорбера – 5 мкм. В модельных расчетах отражения излучения на границах структуры не учитывались. Принятые значения конструктивных и фотоэлектрических параметров типичны для ИК ФПУ на основе ГЭС КРТ МЛЭ [6].

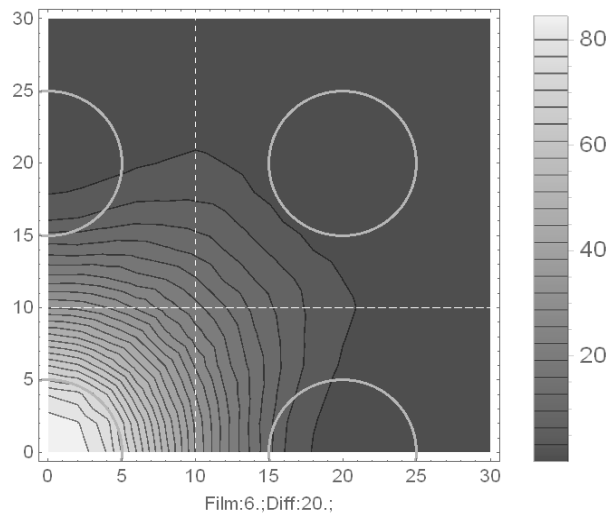


Рис. 1 – Пример пространственного распределения локальной квантовой эффективности (ввиду симметрии задачи показана четверть распределения)

Fig. 1 – An example of spatial distribution of local quantum efficiency (due to the problem symmetry only a quarter of the distribution is shown)

Расчет показывает, что область сбора фотоносителей не совпадает с геометрическими размерами ФЧЭ. Часть фотогенерированных НЗ собирается с соседних ФЧЭ, в то время как часть НЗ, генерированных в пределах центрального элемента, уходит в фотодиоды соседних элементов.

### Примеры расчета интегральной квантовой эффективности

Из распределения локальной квантовой эффективности может быть подсчитана интегральная квантовая эффективность фоточувствительных элементов ФПУ. На рис. 2 приведены зависимости интегральной квантовой эффективности от толщины ФС при однородной засветке выбранного фрагмента матрицы (рис. 2, *а*) и при локальной (и также однородной по площади) засветке (рис. 2, *б*) его центрального ФЧЭ размером  $20 \times 20 \text{ мкм}^2$  с диаметром  $p$ - $n$ -перехода 10 мкм.

На рис. 3 приведены уровни сигналов соседних фотоэлементов при локальной засветке центрального элемента фотодиодной матрицы с размером ФЧЭ  $20 \times 20 \text{ мкм}^2$  и диаметром его  $p$ - $n$ -перехода 10 мкм.

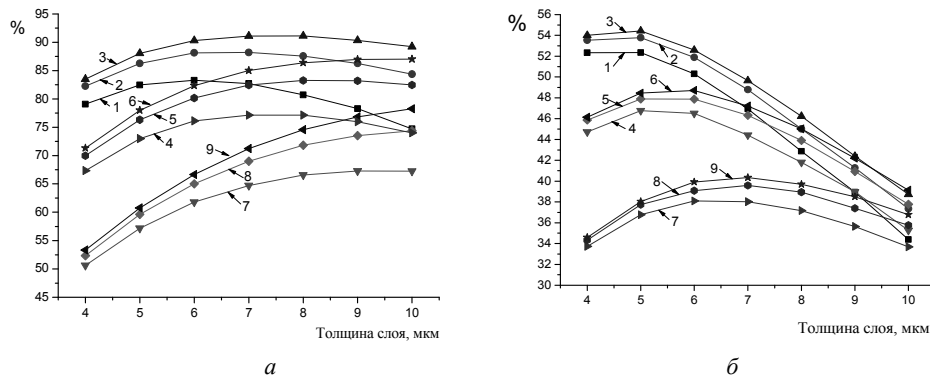


Рис. 2 – Интегральная квантовая эффективность для центрального ФЧЭ рассматриваемого фрагмента матрицы при однородной засветке этого фрагмента (*а*) и при локальной засветке его центрального ФЧЭ (*б*) как функция толщины слоя абсорбера для ФПУ с разными значениями длины диффузии неосновных НЗ и длины поглощения детектируемого излучения. Длины диффузии электронов в слое абсорбера  $L_D$ :

15 мкм (кривые 1, 4 и 7), 20 мкм (кривые 2, 5 и 8) и 25 мкм (кривые 3, 6 и 9). Длина оптического поглощения  $L_{ph}$ : 2 мкм (кривые 1, 2 и 3), 3 мкм (кривые 4, 5 и 6) и 5 мкм (кривые 7, 8 и 9)

Fig. 2 – Integral quantum efficiencies for the central photosensitive element (PSE) of the 3x3 focal plane array (FPA) fragment under uniform illumination (*a*) and at local illumination of its central PSE (*b*) as functions of absorber layer thickness for 2D photodetectors with different values of charge-carrier diffusion length and optical absorption length in the absorber layer. Electron diffusion length in the absorber layer  $L_D$ :

15  $\mu\text{m}$  (curves 1, 4 and 7), 20  $\mu\text{m}$  (curves 2, 5 and 8), and 25  $\mu\text{m}$  (curves 3, 6 and 9). Optical absorption length  $L_{ph}$ : 2  $\mu\text{m}$  (curves 1, 2 and 3), 3  $\mu\text{m}$  (curves 4, 5 and 6) and 5  $\mu\text{m}$  (curves 7, 8 and 9)

Под уровнем сигнала здесь понимается доля фотонов, сгенерировавших фотоэлектроны, давшие вклад в фототок диода соседнего фотоэлемента при однородной засветке центрального ФЧЭ, от общего числа фотогенерированных электронов. Разница в величинах квантовых эффективностей для центрального ФЧЭ рассматриваемого фрагмента фотоприемной матрицы в случае однородной засветки всей фотоприемной матрицы и в случае локальной засветки рассматриваемого ФЧЭ объясняется наличием среди НЗ, генерированных в пределах центрального ФЧЭ, попадающих на диоды соседних элементов ФПУ, а также на диоды элементов вне рассматриваемого фрагмента матрицы. Как показывают результаты вычислений, квантовая эффективность при локальной засветке одного ФЧЭ может быть заметно меньшей, чем таковая при однородной засветке матрицы (или ее протяженного участка, включающей рассматриваемый фотоэлемент).

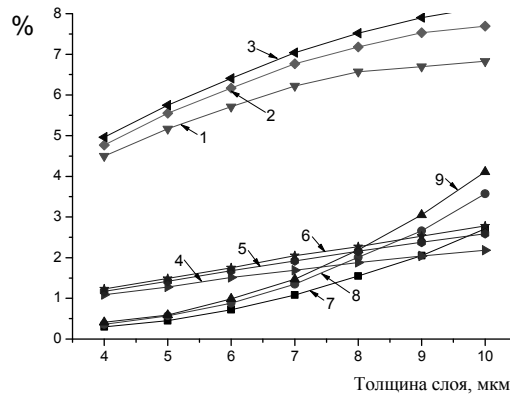


Рис. 3 – Уровни сигналов соседних ФЧЭ при локальной засветке центрального ФЧЭ рассматриваемого фрагмента фотодиодной матрицы. Кривые 1, 2 и 3 – уровень сигналов интегрируемых на ближайших соседних элементах, кривые 4, 5 и 6 – уровень сигналов интегрируемых на соседних диагональных элементах, кривые 7, 8 и 9 – доля носителей интегрируемых вне фрагмента фоточувствительных элементов форматом  $3 \times 3$  элемента. Длина диффузии электронов в слое абсорбера  $L_D$ :

15 мкм (кривые 1, 4 и 7), 20 мкм (кривые 2, 5 и 8) и 25 мкм (кривые 3, 6 и 9). Длина оптического поглощения  $L_{ph}$ : 2 мкм (кривые 1, 2 и 3), 3 мкм (кривые 4, 5 и 6) и 5 мкм (кривые 7, 8 и 9)

Fig. 3 – Photoelectric signal levels of neighbor PSEs at local illumination of the central PSE of the  $3 \times 3$  FPA fragment. Curves 1, 2 and 3 are signals integrated at the nearest neighbor PSEs; curves 4, 5 and 6 are signals integrated at the diagonal neighbor PSEs; curves 7, 8 and 9 are a part of charge carriers integrated outside the  $3 \times 3$  FPA fragment. The electron diffusion length in the absorber layer  $L_D$ :

is 15  $\mu\text{m}$  (curves 1, 4 and 7), 20  $\mu\text{m}$  (curves 2, 5 and 8), and 25  $\mu\text{m}$  (curves 3, 6 and 9). The optical absorption length  $L_{ph}$  is 2  $\mu\text{m}$  (curves 1, 2 and 3), 3  $\mu\text{m}$  (curves 4, 5 and 6), and 5  $\mu\text{m}$  (curves 7, 8 and 9)

Этот результат обусловлен тем обстоятельством, что в случае локальной засветки центрального ФЧЭ часть НЗ, генерированных излучением на площади этого ФЧЭ, стекает на фотодиоды соседних фотоэлементов ФПУ. В условиях однородной засветки матрицы убыль фототока рассматриваемого ФЧЭ, возникающая из-за диффузии указанных НЗ в соседние фотоэлементы в точности компенсируется притоком фотогенерированных НЗ из соседних ФЧЭ; в случае же локальной засветки одного ФЧЭ матрицы такой компенсации не происходит. На рис. 4 и 5 приведены зависимости, аналогичные приведенным на рис. 2 и 3, но для диаметра  $p$ - $n$ -перехода 16 мкм.

На рис. 6 приведены значения коэффициента фотоэлектрической связи, определенного как отношение уровня сигналов соседних ФЧЭ (кривые 1–3 на рис. 3 и 5) к уровню сигнала центрального ФЧЭ фрагмента при его локальной засветке (см. рис. 2, б и 4, б), в зависимости от толщины слоя абсорбера в ФПУ с

разными значениями размера фотодиода, длины диффузии фотогенерированных НЗ и длины поглощения излучения в слое абсорбера.

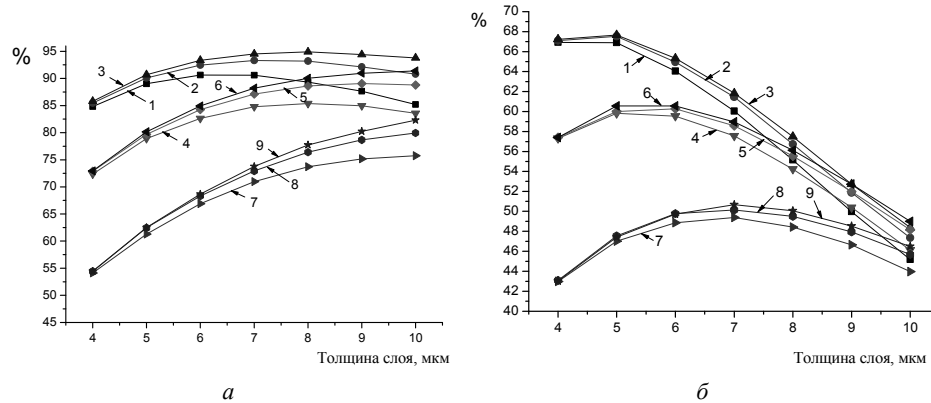


Рис. 4 – Интегральная квантовая эффективность ФЧЭ при однородной засветке рассматриваемого 3×3-фрагмента матрицы (а) и при локальной засветке его центрального ФЧЭ (б) как функция толщины слоя абсорбера для ФПУ с разными значениями длины диффузии неосновных НЗ и длины поглощения детектируемого излучения в слое абсорбера. Длина диффузии электронов в слое абсорбера  $L_D$ :

5 мкм (кривые 1, 4 и 7), 20 мкм (кривые 2, 5 и 8) и 25 мкм (кривые 3, 6 и 9). Длина оптического поглощения  $L_{ph}$ : 2 мкм (кривые 1, 2 и 3), 3 мкм (кривые 4, 5 и 6) и 5 мкм (кривые 7, 8 и 9)

Fig. 4 – Integral quantum efficiencies of the central photosensitive element of the 3×3 FPA fragment under uniform illumination (a) and at local illumination of its central PSE (b) as functions of the absorber layer thickness of 2D photodetectors with different values of the charge-carrier diffusion length and optical absorption length in the absorber layer. The electron diffusion length of the absorber layer  $L_D$ :

is 15  $\mu\text{m}$  (curves 1, 4 and 7), 20  $\mu\text{m}$  (curves 2, 5 and 8), and 25  $\mu\text{m}$  (curves 3, 6 and 9). The optical absorption length  $L_{ph}$  is 2  $\mu\text{m}$  (curves 1, 2 and 3), 3  $\mu\text{m}$  (curves 4, 5 and 6) and 5  $\mu\text{m}$  (curves 7, 8 and 9)

Выделим основные результаты, следующие из приведенных на рис. 2–6 зависимостей:

- с увеличением размера  $p$ – $n$ -переходов ФЧЭ зависимость квантовой эффективности от диффузионной длины неосновных НЗ становится менее выраженной; следовательно, улучшается однородность вольт-ваттных характеристик фоточувствительных элементов многоэлементных ИК ФПУ, изготовленных на пленках материала КРТ с флуктуирующими рекомбинационными свойствами (рис. 2 и 4);

- увеличение размера  $p$ – $n$ -перехода позволяет увеличить величину квантовой эффективности элементов фотоприемника как в условиях однородной засветки матрицы, так и в случае локальной засветки индивидуального ФЧЭ устройства;

- интегральная квантовая эффективность ФЧЭ ФПУ при его локальной засветке может быть существенно меньшей, чем при однородной засветке всей матрицы. Различие интегральных квантовых эффективностей для двух случаев обусловлено диффузией части НЗ, рожденных излучением в рассматриваемом фотоэлементе, в соседние ФЧЭ и участием этих НЗ в формировании фототока диодов соседних ФЧЭ; в отличие от случая однородной засветки матрицы (или обширной ее области, включающей данный ФЧЭ), в случае локальной засветки выбранного ФЧЭ эта убыль не компенсируется встречным потоком фотогенерированных НЗ из соседних ФЧЭ в рассматриваемый;

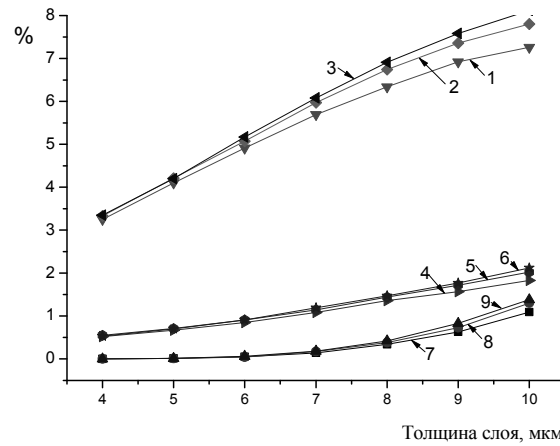


Рис. 5 – Уровень сигналов соседних ФЧЭ при локальной засветке центрального ФЧЭ рассматриваемого фрагмента матрицы. Кривые 1, 2 и 3 – уровень сигналов интегрируемых на ближайших соседних элементах, кривые 4, 5 и 6 – уровень сигналов интегрируемых на соседних диагональных элементах, кривые 7, 8 и 9 – доля носителей интегрируемых вне фрагмента фоточувствительных элементов форматом  $3 \times 3$  элемента. Длина диффузии электронов в слое абсорбера  $L_D$ :

15 мкм (кривые 1, 4 и 7), 20 мкм (кривые 2, 5 и 8), и 25 мкм (кривые 3, 6 и 9). Длина оптического поглощения  $L_{ph}$ : 2 мкм (кривые 1, 2 и 3), 3 мкм (кривые 4, 5 и 6) и 5 мкм (кривые 7, 8 и 9)

Fig. 5 – Photoelectric signal levels of neighbor PSEs at local illumination of the  $3 \times 3$  FPA fragment. Curves 1, 2 and 3 are signals integrated at the nearest neighbor PSEs; curves 4, 5 and 6 are signals integrated at the diagonal neighbor PSEs; curves 7, 8 and 9 are a fraction of charge carriers integrated at PSEs outside the  $3 \times 3$  FPA fragment.

The electron diffusion length in the absorber layer  $L_D$ :

is 15  $\mu\text{m}$  (curves 1, 4 and 7), 20  $\mu\text{m}$  (curves 2, 5 and 8) and 25  $\mu\text{m}$  (curves 3, 6 and 9). The optical absorption length  $L_{ph}$  is 2  $\mu\text{m}$  (curves 1, 2 and 3), 3  $\mu\text{m}$  (curves 4, 5 and 6) and 5  $\mu\text{m}$  (curves 7, 8 and 9)

– в случае локальной засветки выбранного ФЧЭ часть носителей заряда, фотогенерированных в этом фотозlemente, интегрируется в соседних фотозlementах ФПУ; эта часть определяет величину коэффициента фотоэлектрической связи фотоприемника;

– обнаружительная способность фотоприемника по отношению к различным объектам зависит от величины размера изображения объекта в фокальной плоскости оптической системы фотоприемного модуля.

Квантовая эффективность при однородной засветке определяет пороговую чувствительность ИК ФПУ для объектов, геометрический размер изображения которых в фокальной плоскости ФПУ многократно превышает геометрические размеры ФЧЭ матрицы, тогда как квантовая эффективность при локальной засветке определяет пороговую чувствительность ИК ФПУ для объектов, размер которых в фокальной плоскости ФПУ сравним или меньше геометрического размера ФЧЭ матрицы и характеризует ее частотно-контрастную характеристику.

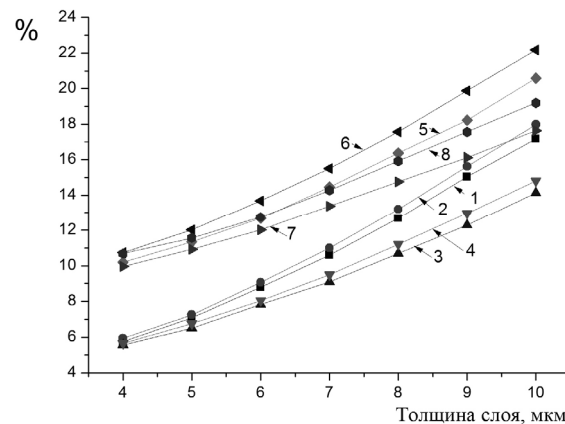


Рис. 6 – Коэффициент фотоэлектрической связи соседних ФЧЭ в зависимости от толщины слоя абсорбера. Размер ФЧЭ матрицы –  $20 \times 20$  мкм. Для кривых 1–4 диаметр  $p$ – $n$ -переходов 16 мкм, для кривых 5–8 диаметр  $p$ – $n$ -переходов 10 мкм, для кривых 1, 2, 5 и 6 длина оптического поглощения 2 мкм, для кривых 3, 4, 7 и 8 длина оптического поглощения 5 мкм. Для кривых 1, 3, 5 и 7 длина диффузии электронов в слое абсорбера равна  $L_D = 15$  мкм, для кривых 2, 4, 6 и 8 длина диффузии электронов в слое абсорбера  $L_D = 20$  мкм

Fig. 6 – Photoelectron coupling coefficients of neighbor PSEs versus the absorber-layer thickness. The PSE size of FPA is  $20 \times 20$   $\mu\text{m}$ . For curves 1–4 and 5–8, the  $p$ – $n$ -diode diameter is 16 and 10  $\mu\text{m}$ , respectively. The optical absorption length is 2  $\mu\text{m}$  (curves 1, 2, 5 and 6) and 5  $\mu\text{m}$  (curves 3, 4, 7 and 8). The electron diffusion length in the absorber layer  $L_D$ , is 15  $\mu\text{m}$  (curves 1, 3, 5 and 7) and 20  $\mu\text{m}$  (curves 2, 4, 6 and 8)

## Выводы

Предложена модель для вычисления пространственного распределения локальной квантовой эффективности фоточувствительных элементов матричных фотоприемников, учитывающая диффузию фотогенерированных носителей заряда и величину основных фотоэлектрических и конструктивных параметров ФПУ (к первым относятся длина поглощения излучения в слое абсорбера и диффузионная длина неосновных НЗ, ко вторым, – толщина слоя абсорбера, а также размер и величина заглиблення  $p$ – $n$ -переходов диодов в ФС). Результаты моделирования позволяют сформулировать требования к конструктивным параметрам фотодиодов (соотношение размера  $p$ – $n$ -переходов и геометрических размеров ФЧЭ), обеспечивающие достижение предельных значений чувствительности и пространственного разрешения ИК ФПУ на основе пленок материала КРТ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Рогальский А.** Инфракрасные детекторы: пер. с англ. – Новосибирск: Наука, 2003. – 636 с.
2. **Rogalski A.** Competitive technologies for third generation infrared photon detectors // Proceedings of SPIE. – 2006. – Vol. 6206. – Art. 62060S.

3. Филачев А.М., Таубкин И.И., Тришенков М.А. Твердотельная электроника. Фотодиоды. – М.: Физматкнига, 2011. – 448 с.
4. Сравнительный анализ методов измерения параметров ФПУ с режимом ВЗН / В.Н. Васильев, И.Ю. Дмитриев, Б.Н. Бражников, К.В. Козлов, П.А. Кузнецов, В.Н. Соляков, В.П. Пономаренко // Успехи прикладной физики. – 2015. – Т. 3, № 5. – С. 486–495.
5. Monte Carlo simulation of the photoelectron crosstalk in silicon imaging devices / J.P. Lavine, Win-Chyi Chang, C.N. Anagnostopoulos, B.C. Burke, E.T. Nelson // IEEE Transactions on Electron Devices. – 1985. – Vol. ED-32, N 10. – P. 2087–2090.
6. Analysis of charge-carrier diffusion in the photosensing films of HgCdTe infrared focal plane array photodetectors / A.V. Vishnyakov, V.A. Stuchinsky, D.V. Brunev, A.V. Zverev, S.A. Dvoretzky // Journal of Applied Physics. – 2015. – Vol. 118. – Art. 124508.
7. High-performance 320×256 long-wavelength infrared photodetector arrays based on CdHgTe layers grown by molecular beam epitaxy / A.V. Predein, Yu.G. Sidorov, I.V. Sabinina, V.V. Vasil'ev, G.Yu. Sidorov, I.V. Marchishin // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2013. – Vol. 49, iss. 5. – P. 485–491.
8. 320×256 HgCdTe IR FPA with a built-in shortwave cut-off filter / V.V. Vasil'ev, V.S. Varavin, S.A. Dvoretzky, I.V. Marchishin, N.N. Mikhailov, A.V. Predein, V.G. Revtsnik, I.V. Sabinina, Yu.G. Sidorov, A.O. Susliakov // Opto-Electronics Review. – 2010. – Vol. 18, no. 3. – P. 236–240.

## MONTE CARLO SIMULATION OF PHOTOELECTRIC CHARACTERISTICS OF 2D IR FPA DETECTORS

Polovinkin V.G.<sup>1,2</sup>, Stuchinsky V.A.<sup>1</sup>, Vishnyakov A.V.<sup>1</sup>, Lee I.I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Rzhanov Institute of Semiconductor Physics SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

In the present paper, we report on the results of Monte Carlo calculations of spatial distributions of the local quantum efficiency in CdHgTe photovoltaic IR FPA detectors at their backside illumination with incident radiation. The obtained spatial distributions of local quantum efficiency allow one to calculate the values of the integral quantum efficiency of the detectors under their uniform and local illumination with radiation. Based on these distributions it is possible to predict the sensitivity and modulation transfer characteristics of detectors, with their main photoelectric and design parameters being taken into account.

**Keywords:** IR focal plane array IR FPA, photodiode, local quantum efficiency, charge carrier (CC), spatial resolution.

DOI: 10.17212/1727-2769-2017-4-91-100

## REFERENCES

1. Rogalski A. *Infrared detectors*. Amsterdam, Gordon & Breach, 2000 (Russ. ed.: Rogal'skii A. *Infrakrasnye detektory*. Translated from English. Novosibirsk, Nauka Publ., 2003. 636 p.).
2. Rogalski A. Competitive technologies for third generation infrared photon detectors. *Proceedings of SPIE*, 2006, vol. 6206, art. 62060S.
3. Filachev A.M., Taubkin I.I., Trishenkov M.A. *Tverdotel'naya elektronika. Fotodiody* [Solid-state photoelectronics. Photodiodes]. Moscow, Fizmatkniga Publ., 2011. 448 p.
4. Vasil'ev V.N., Dmitriev I.Yu., Brazhnikov B.N., Kozlov K.V., Kuznetsov P.A., Sol'yakov V.N., Ponomarenko V.P. Sravnitel'nyi analiz metodov izmereniya parametrov FPU s rezhimom VZN [A comparative analysis of methods for measuring the parameters of photodetectors with the regime of time-delay and accumulation]. *Uspekhi prikladnoi fiziki – Advances in Applied Physics*, 2015, vol. 3, no. 5, pp. 486–495.



5. Lavine J.P., Win-Chyi Chang, Anagnostopoulos C.N., Burkey B.C., Nelson E.T. Monte Carlo simulation of the photoelectron crosstalk in silicon imaging devices. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 1985, vol. ED-32, no. 10, pp. 2087–2090.
6. Vishnyakov A.V., Stuchinsky V.A., Brunev D.V., Zverev A.V., Dvoretzky S.A. Analysis of charge-carrier diffusion in the photosensing films of HgCdTe infrared focal plane array photo-detectors. *Journal of Applied Physics*, 2015, vol. 118, art. 124508.
7. Predein A.V., Sidorov Yu.G., Sabinina I.V., Vasil'ev V.V., Sidorov G.Yu., Marchishin I.V. High-performance 320×256 long-wavelength infrared photodetector arrays based on CdHgTe layers grown by molecular beam epitaxy. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2013, vol. 49, iss. 5, pp. 485–491.
8. Vasil'ev V.V., Varavin V.S., Dvoretzky S.A., Marchishin I.V., Mikhailov N.N., Predein A.V., Revtsnik V.G., Sabinina I.V., Sidorov Yu.G., Susliacov A.O. 320x256 HgCdTe IR FPA with a built-in shortwave cut-off filter. *Opto-Electronics Review*, 2010, vol. 18, no. 3, pp. 236–240.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



**Половинкин Владимир Григорьевич**, родился в 1947 году, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, лаб. № 14, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения РАН. Область научных интересов: физика полупроводников, методы математического моделирования. Опубликовано 59 научных работ. (Адрес: 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, 13. E-mail: PVG@isp.nsc.ru).

**Polovinkin Vladimir Grigor'evich (b. 1947)** – Candidate of Sciences (Phys. & Math.), senior researcher, L.14, Federal State Budgetary Institution of Science in the A.V. Rzhzanov Institute of Semiconductor Physics, SB RAS. His research interests include physics of semiconductor and mathematical simulation methods. He is the author of 59 research, russia papers. (Address: 13, Lavrentiyva Av., Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: PVG@isp.nsc.ru).



**Стучинский Виктор Андреевич**, родился в 1961 году, канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник, лаб. № 28, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения РАН. Область научных интересов: физика полупроводников, микроэлектроника, методы математического моделирования. Опубликовано 40 научных работ, 1 АС на изобретение (Адрес: 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, 13. E-mail: stuchin@isp.nsc.ru).

**Stuchinsky Victor Andreevich (b. 1961)** – Candidate of Sciences (Phys. & Math.), research worker, L. 28, Federal State Budgetary Institution of Science in the A.V. Rzhzanov Institute of Semiconductor Physics, SB RAS. His research interests include physics of semiconductor, microelectronics and mathematical simulation methods. He is the author of 40 scientific papers and has 1 inventor's certificate. (Address: 13, Lavrentiyva Av., Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: stuchin@isp.nsc.ru).



**Вишняков Алексей Витальевич**, – родился в 1961 году, канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник, лаб. № 28, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения РАН. Область научных интересов: физика полупроводников. Опубликовано 24 научных работ. (Адрес: 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, 13. E-mail: vishn@isp.nsc.ru).

**Vishnyakov Aleksey Vitalievich** (b. 1961) – Candidate of Sciences (Phys. & Math.), research worker, Lab. № 28, Federal State Budgetary Institution of Science in the A.V. Rzhanov Institute of Semiconductor Physics, SB RAS. His research interests include physics of semiconductor. He is the author of 24 scientific papers. (Address: 13, Lavrentiyva Av., Novosibirsk, 630090. E-mail: vishn@isp.nsc.ru).



**Ли Ирлам Игнатьевич**, – родился в 1950 году, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник, лаб. № 14, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения РАН. Область научных интересов: физика полупроводников, микроэлектроника. Опубликовано 80 научных работ, в том числе 39 патентов РФ, АС на изобретение. (Адрес: 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, 13. E-mail: irilamlee@isp.nsc.ru).

**Lee Irlam Ignat'evich** (b. 1947) – Doctor of Sciences (Eng.), leading researcher, L.14, Federal State Budgetary Institution of Science in the A.V. Rzhanov Institute of Semiconductor Physics, SB RAS. His research interests are focused on physics of semiconductor and microelectronics. He is the author of 80 scientific papers including 39 RF patents. (Address: 13, Lavrentiyva Av., Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: irilamlee@isp.nsc.ru).

*Статья поступила 15 декабря 2017 г.  
Received December 15, 2017*

---

To Reference:

Polovinkin V.G., Stuchinsky V.A., Vishnyakov A.V., Lee I.I. Modelirovanie fotoelektricheskikh kharakteristik matrichnykh IK fotopriemnikov metodom Monte-Karlo [Monte Carlo simulation of photoelectric characteristics of 2D IR FPA detectors]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2017, no. 4 (37), pp. 91–100. doi: 10.17212/1727-2769-2017-4-91-100