

1. Hansen G. L., Schmit Y. L.// J. Appl. Phys. 1983. № 54. P. 1639.
2. Rogalski A. Infrared Detectors — (Electrocomponent science monographs; 10)/ Ed. by Donard de Cogan, University of East Anglia, Norwich, UK, 2000. P. 681.
3. Casselman T. N., Petersen P. E. Solid-St. Commun., 1980. № 33. P. 615.
4. Peterson P. E.// Semiconductors and Semimetals/Ed. by R. K. Willardson and A. C. Beer, Academic Press, NY. 1981. V. 18. P. 121.
5. Chen M. C., Colombo L.// J. Appl. Phys. 1992. № 72. P. 4761.
6. Djuric Z., Yaksic Z., Djinovic Z., Matic M., Lazic Z.// Microelectronics J. 1994. № 25. P. 99.
7. Gaziyeu F. N., Guliyev Sh. M., Salayev E. Yu.// Appl. Phys. (Russia). 2001. V. 1. № 1. P. 13—19.
8. Moss T. S., Burrell G. Y., Ellis B.// Semiconductor Optoelectronics (Butterworths). — London, 1973.
9. Huseynov E. K., Gaziyeu F. N.// Proceeding of SPIE. 1999. V. 3819. P. 49—54.

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2004 г.

HgCdTe based PEM detector for middle range of IR-spectrum

F. N. Gaziyeu, I. A. Nasibov, T. I. Ibragimov, E. K. Huseynov
Institute of Physics of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

The calculation of dependence photoelectric parameters of the uncooled photoelectromagnetic (PEM) detector of infrared range of spectrum on the basis of monocrystals $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x = 0.2$) from the level of an acceptor doping of semiconductor material was carried out. It is shown, that the optimum acceptor doping allows to increase essentially both the voltage response and specific detectivity of photodetector. The modified construction of the PEM detector permitting to increase more its voltage response is represented. The photoelectric parameters of manufactured PEM detector for middle range of IR-spectrum of 3—7 μm with a maximum of responsivity near 6 μm are given.

УДК 621.383.52:546.48'49'24

Определение длины диффузии носителей в ЭС КРТ по измерениям фоточувствительной площади фотодиода

К. О. Болтарь, Н. И. Яковлева

ФГУП «Научно-производственное объединение "Орион" — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

Разработана математическая модель и отработана программа ЭВМ для оценки эффективной диффузионной длины неосновных носителей заряда по экспериментальной зависимости сигнала фотодиода от перемещения оптического зонда вдоль фоточувствительной площадки фотодиода. Анализируется связь полученных данных методом оценок диффузионной длины для фотодиодов из КРТ диапазонов 8—12 и 3—5 мкм с результатами других методов и технологией получения фотодиодов.

Уменьшение геометрических размеров фоточувствительного элемента (ФЧЭ) до величины $\sim 20 \times 20$ мкм и шага ФЧЭ менее 50 мкм в матричных фотоприемниках (МФП) на основе фотодиодов из КРТ в ИК-диапазоне спектра требует точной оценки длины диффузии неосновных носителей заряда в эпитаксиальных слоях (ЭС) КРТ [1—5].

Фрагмент топологии МФП показан на рис. 1. МФЧЭ представляет собой двухмерный массив чувствительных элементов n -типа проводимости в эпитаксиальном слое $Cd_xHg_{1-x}Te$ толщиной ~ 15 мкм проводимости p -типа, разделенных диэлектриком. Размер p - n -перехода составляет ~ 20 мкм. Каждый p - n -переход имеет индивидуальный $1n$ контакт, шаг между элемен-

тами задается соответственными топологическими нормами для каждого конкретного формата МФП.

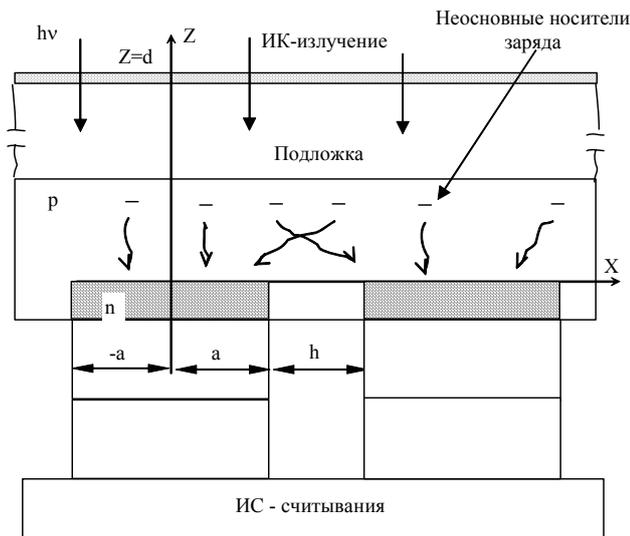


Рис. 1. Фрагмент топологии МФП

Исходные эпитаксиальные слои $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ толщиной ~ 15 мкм p -типа проводимости выращиваются методами жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) на подложках CdZnTe , молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) на подложках GaAs , химического осаждения из паров металлоорганических соединений и ртути (МОС) на подложках GaAs и испарения-конденсации (ИКД) на подложках CdTe . Слой КРТ p -типа покрывается диэлектрическим покрытием, выполняющим функции пассивации и защиты поверхности. Методами фотолитографии и химического травления в диэлектрике формируются окна размерами ~ 20 мкм с малым шагом (менее 50 мкм) и методом ионной обработки создаются n -области в КРТ p -типа. Для контактирования каждого p - n -перехода с n -каналом кремниевого МОП-транзистора методом напыления, фотолитографии и прецизионной химической обработки формируется индиевый контакт высотой 9—12 мкм и размером 20—30 мкм.

ИК-излучение падает на фоточувствительный слой через подложку. Генерированные светом носители заряда диффундируют к p - n -переходам. Процесс диффузии вызывает взаимосвязь между элементами МФП и ухудшает передаточную функцию фотоприемника.

Разработан и экспериментально исследован метод определения эффективной диффузионной длины неосновных носителей заряда в эпитаксиальном слое по экспериментально измеренной зависимости фотоотклика от перемещения оптического зонда.

Суть метода состоит в следующем.

- Строится теоретическая функция фотоотклика $P_T(x, x_1, x_2, L_e, R_0)$, зависящая от координаты перемещения оптического зонда x и ряда параметров: длины диффузии электронов в p -области L_e , координат расположения p - n -перехода (x_1, x_2) и дисперсии гауссовой функции распределения освещенности оптического зонда R_0 .

- Находится среднее квадратическое отклонение экспериментально измеренной функции фотоотклика $P_{ex}(x_k)$ от теоретической $P_T(x_k, x_1, x_2, L_e, R_0)$

$$F = \sqrt{\sum_{k=1}^K (P_{ex}(x_k) - P_T(x_k, x_1, x_2, L_e, R_0))^2 / K}, \quad \text{где}$$

K — число точек измеренной характеристики.

- Методами градиентного спуска, варьируя значения координат p - n -перехода (x_1, x_2) , длину диффузии L_e и характерную длину R_0 функции освещенности, находится теоретическая функция наилучшего приближения экспериментальной зависимости фотоотклика и длина диффузии, являющаяся параметром этой функции.

Альтернативный метод расчета длины диффузии, исходя из значений экспериментально измеренного времени жизни неосновных носителей заряда и коэффициента диффузии в ЭС КРТ, представляется менее надежным из-за влияния поверхностной рекомбинации на границах ЭС КРТ на результаты измерения времени жизни носителей и большой погрешности оценки коэффициента диффузии на основе соотношения Эйнштейна.

Модель расчета

Функцию распределения чувствительности $S(x', x_1, x_2, L_e)$ в плоскости расположения МФЧЭ представим соотношением

$$S(x, x_1, x_2, L_e) = \begin{cases} \exp\left(\frac{-(x_1 - x)}{L_e}\right) & \text{если } x \leq x_1 \\ 1 & \text{если } x_1 < x < x_2 \\ \exp\left(\frac{-(x - x_2)}{L_e}\right) & \text{если } x \geq x_2 \end{cases}$$

Функцию освещенности для дифракционной ограниченной оптической системы можно описать распределением Гаусса

$$E(x) = \exp\left(-\frac{x^2}{2R_0^2}\right),$$

где постоянная R_0 означает величину протяженности функции освещенности, определяемую на уровне $\exp(-1/2) = 0,606$ от максимума функции.

Зависимость фотоотклика от перемещения оптического зонда относительно ФЧЭ определим интегралом

$$P(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(x', x_1, x_2, L_e) \cdot E(x - x', R_0) dx'.$$

На рис. 2 представлены экспериментальная функция фотоотклика от перемещения оптического зонда и теоретическая функция распределения чувствительности фотоприемника, используемая в представленной модели расчета.

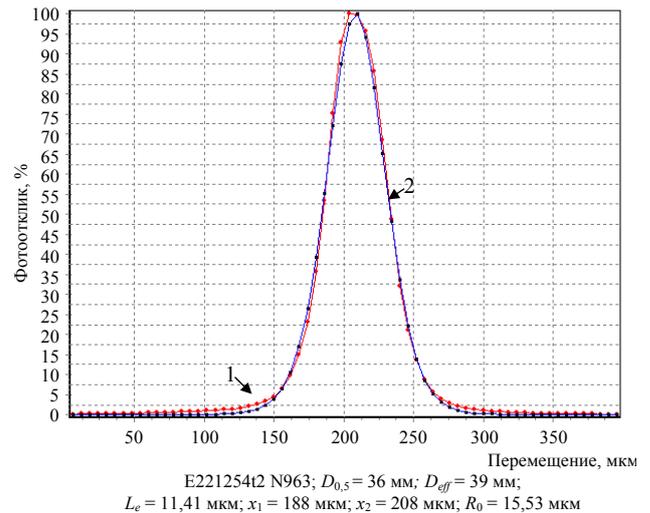
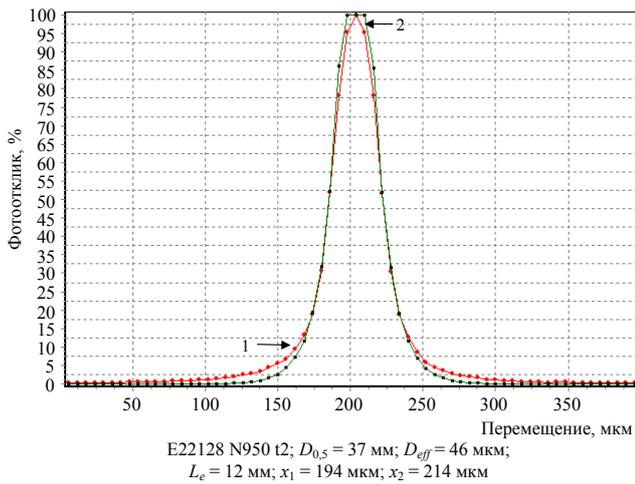


Рис. 2. Экспериментальная функция распределения фотоотклика (1), теоретическая функция распределения фотоотзывчивости (2)

Результаты моделирования

Проведено моделирование зависимости фотоотклика от перемещения оптического зонда и определена длина диффузии электронов в эпитаксиальных слоях КРТ *p*-типа проводимости состава $x = 0,2-0,3$, выращенных методами ЖФЭ.

Для изготовления *p-n*-переходов использовались один и тот же процесс пассивации поверхности и одинаковая технология имплантации и отжига *n+*-слоя. Концентрация носителей в *p*-области полупроводника составляла $N_A = 0,7-2,0 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, подвижность $\mu_h = 300-600 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

Результаты моделирования представлены на рис. 3. На рис. 3, *a* показаны характеристики распределения фотоотклика вдоль элемента МФП формата 2x256 элементов на основе ЭС КРТ, выращенного методом ЖФЭ состава $x = 0,22$ (1 — измеренная, 2 — рассчитанная зависимости). Размер чувствительного элемента по уровню 0,5 составляет 36 мкм, рассчитанная длина диффузии $L_e = 11$ мкм. Размер *p-n*-перехода, полученный из результатов моделирования $x_2 - x_1 = 20$ мкм, соответствует размеру окон под *p-n*-переход на фотошаблонах 20 мкм.

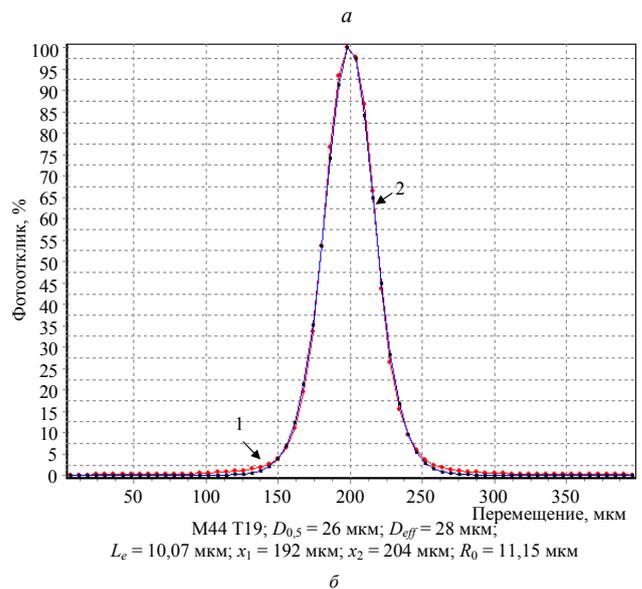


Рис. 3. Зависимости фотоотклика от положения оптического зонда элемента МФП формата: *a* — 2x256; *б* — 128x128; (1 — эксперимент; 2 — моделирование)

На рис. 3, *б* показаны характеристики фотоотклика МФП № M44 формата 128x128 элементов с шагом 35 мкм на основе ЭС КРТ, полученного методом ЖФЭ состава $x = 0,3$. Размер чувствительного элемента по уровню 0,5 составляет 26 мкм, рассчитанная длина диффузии $L_e = 10$ мкм. Размер *p-n*-перехода, полученный из результатов моделирования $x_2 - x_1 = 12$ мкм, соответствует размеру, заданному фотошаблоном.

Проведены измерения граничной длины волны и моделирование диффузионной длины волны ряда фотодиодов состава $x = 0,2$ в эпитаксиальных слоях КРТ, полученных методами ЖФЭ, МЛЭ, ИКД, МОС. На рис. 4 представлены данные измерений и моделирования.

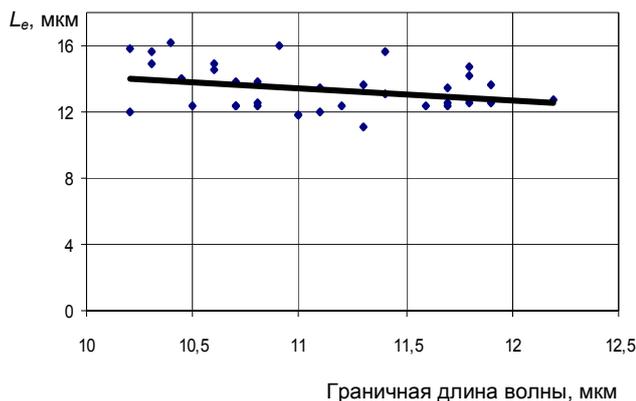


Рис. 4. Зависимость эффективной длины диффузии электронов (L_e) от граничной длины волны в МФП на основе КРТ:
 ◆ — измерения; — — моделирование

Исследования показали, что эффективная диффузионная длина для измеренных образцов изменялась в пределах 12—18 мкм, что обеспечивает высокие фотоэлектрические характеристики МФП составов $x = 0,2$ на ЭС КРТ с толщиной слоя КРТ ~ 15 мкм. Исследования также выявили слабую зависимость длины диффузии неосновных носителей заряда в p -области — электронов от граничной длины волны по уровню 0,5 фотодиодов в диапазоне 10—12 мкм.

Измеренная таким образом эффективная длина диффузии L_e имеет весьма отдаленное отношение к длине диффузии в объемном материале КРТ, так как помимо рекомбинации носителей в объеме ЭС КРТ имеется рекомбинация на границе раздела ЭС КРТ—подложка и ЭС КРТ—воздух. Эффективная длина диффузии помимо длины диффузии в объеме зависит от скоростей поверхностной рекомбинации на границах ЭС КРТ и толщины эпитаксиального слоя. Однако именно эта эффективная длина диффузии определяет взаимосвязь фоточувствительных элементов в МФП.

Л и т е р а т у р а

1. Dang K. V., Kauffman L., Derzko Z. I. // SPIE. 1992. V. 1686. P. 125.
2. Уайт М. Г. Полупроводниковые формирователи сигналов изображения. — М.: Мир. 1979. Ч. VI. Пар. 4.3. С. 368.
3. Boltar K. O., Yakovleva N. I. Sensitive element dimension measurements in focal plane arrays// Proceedings of SPIE. 1998. V. 3819. P. 40.
4. Болтарь К. О., Яковлева Н. И. Исследование фотоэлектрических размеров элементов в матричных ИК-фото-приемниках// Прикладная физика. 1999. Вып. 2. С. 45—49.
5. Holst Gerald C. Testing and evaluation of infrared imaging systems. JCD Publishing Co. — Maitland, Florida 32751, 1993.

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2004 г.

Diffusion length in p -type HgCdTe epitaxial layers determination

K. O. Boltar, N. I. Yakovleva

ORION Research-and-Production Association, Moscow, Russia

Charge carriers diffusion length needs to be exactly calculated in p -type HgCdTe epitaxial layers to design FPA with small crosstalk and high performance. The mathematical model and the computing program to determine the minority carriers diffusion length from experimental data of photodiode spatial signal response versus the optical spot movement along the pixel have been developed. The correlation diffusion length data with other methods data has been analyzed.

УДК 621.383

Эпитаксиальный SPRITE-фотоприемник

А. А. Алиев, Э. К. Гусейнов, А. К. Мамедов

Институт физики НАН Азербайджана, Баку, Республика Азербайджана

Предложены конструкция и технология изготовления SPRITE-фотоприемника на основе эпитаксиальных пленок $Cd_xHg_{1-x}Te$, выращенных в заранее созданных канавках подложки. Показаны преимущества конструкции по сравнению с существующими как в технологическом, так и в конструкторском аспекте.

Задачи инфракрасной (ИК) техники, в частности тепловидения, постоянно находятся в центре внимания ученых, создающих различные системы и элементы оптоэлектроники, среди которых немаловажное значение имеют детекторы ИК-излучения. Одним из направлений разрабатываемых ИК-детекторов являются SPRITE-фо-

топриемники (аббревиатура — от английского Signal Processing In The Element).

Фотоприемники типа SPRITE представляют собой фоторезистор с тремя электродами, два из которых обеспечивают нагрузочный ток, а третий (потенциальный) — съем сигнала (рис. 1, а). Прикладываемое к