

УДК 621.383.4/5

## Исследование температурной зависимости диффузионной длины неосновных носителей заряда в эпитаксиальных слоях КРТ

И. А. Никифоров, А. В. Никонов, К. О. Болтарь, Н. И. Яковлева

*Исследована температурная зависимость диффузионной длины неосновных носителей заряда в активном фоточувствительном слое матричного фотоприёмного устройства на основе гетероэпитаксиальной структуры КРТ, выращенной методом молекулярно-лучевой эпитаксии.*

PACS: 42.79.Pw, 85.60.Gz, 07.57.Kp, 85.60.Dw

**Ключевые слова:** CdHgTe, инфракрасный спектральный диапазон, гетероэпитаксиальные структуры, неосновные носители заряда, диффузионная длина.

### Введение

В настоящее время матричные фотоприемники на основе твердых растворов теллуридов ртути и кадмия с мольной долей теллурида кадмия  $x = 0,414$  активно вытесняют фотоприемники на основе селенидов свинца для коротковолнового спектрального диапазона 1—4 мкм [1, 2].

Типичный вид фотоприёмной матрицы представлен на рис. 1. Основным рабочим элементом является эпитаксиальный слой КРТ на подложке из CdTe, Ge, Si или GaAs. Параметры этого слоя (состав, количество дислокаций, подвижность, концентрация, время жизни и диффузионная длина носителей заряда) являются определяющими для конечных характеристик фотоприемника. Кроме того, свойства эпитаксиальной пленки могут сильно изменяться в процессе технологической обработки из-за диффузии ртути, возникновения большого числа дислокаций в структуре раствора. Это приводит к изменению состава, подвижности, концентрации и длины диффузии неосновных носителей заряда.

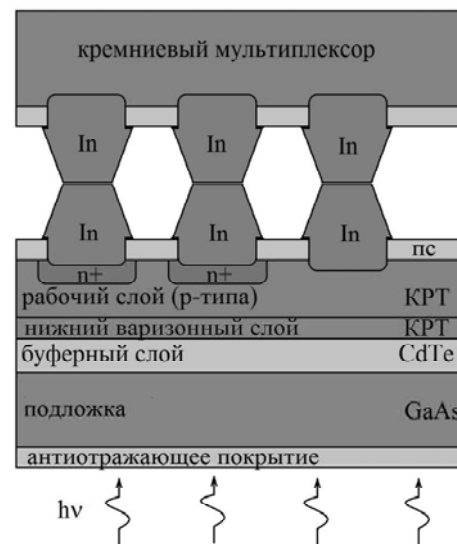


Рис. 1. Матричный фотоприемник на основе гетероэпитаксиальной структуры КРТ

Одним из наиболее важных параметров, характеризующих материал полупроводниковых фотоприемников, является диффузионная длина неосновных носителей заряда [3]. С одной стороны, с уменьшением диффузионной длины уменьшается количество собранных  $p-n$ -переходом неосновных носителей заряда, и, тем самым, фототок; с другой стороны, увеличение диффузионной длины приводит к росту взаимосвязи между соседними фоточувствительными элементами [4]. Следовательно, требуется достаточно точная оценка диффузионной длины неосновных носителей заряда в эпитаксиальном рабочем слое (ЭС) матричного фотоприёмного устройства (МФПУ) на основе КРТ для определения взаимосвязи между элементами и для возможных коррекций диффузионной длины с помощью определенных технологических операций, например, отжига при заданной температуре в заданной атмосфере.

**Никифоров Игорь Андреевич**, инженер НТК<sup>1</sup>, студент<sup>2</sup>.

**Никонов Антон Викторович**, инженер НИЦ<sup>1</sup>, аспирант<sup>2</sup>.

**Болтарь Константин Олегович**, начальник НТК<sup>1</sup>, профессор<sup>2</sup>.

**Яковлева Наталья Ивановна**, зам. начальника НИЦ<sup>1</sup>.  
<sup>1</sup>ОАО «НПО «Орион»».

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

Тел. (499) 374-81-30. E-mail: orion@orion-ir.ru

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт

(государственный университет).

Россия, 141700, Московская обл., г. Долгопрудный,

Институтский пер., 9.

Статья поступила в редакцию 29 сентября 2014 г.

© Никифоров И. А., Никонов А. В., Болтарь К. О., Яковлева Н. И., 2014

Целью данной работы было исследование температурной зависимости диффузионной длины неосновных носителей заряда в активном фоточувствительном слое матричного фотоприёмного устройства на основе гетероэпитаксиальной структуры КРТ, выращенной методом молекулярно-лучевой эпитаксии.

**Анализ экспериментальных исследований диффузионной длины неосновных носителей**

Проведено исследование и рассчитана температурная зависимость эффективной диффузионной длины неосновных носителей заряда в МФПУ с рабочим ЭС КРТ с долей кадмия  $x = 0,414$  мол. дол. Характерные параметры данного образца [5] при  $T = 300$  К составляют: ширина запрещённой зоны  $E_g = 0,44$  эВ; красная граница фотоприёмника  $\lambda_{кр} = 2,84$  мкм; собственная концентрация носителей  $n_i = 1,2 \cdot 10^{14}$  см<sup>-3</sup>; коэффициент диффузии носителей  $D_n = 62,5$  см<sup>2</sup>/с; эффективные массы электронов и дырок  $m_n = 0,034m_e$ ,  $m_p = 0,443m_e$ ; подвижность электронов  $\mu_n = 2438$  см<sup>2</sup>/(В·с); статическая диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_s = 15$ . Спектральная характеристика чувствительности МФПУ представлена на рис. 2.

Проведены измерения одномерного распределения чувствительности по фоточувствительной площадке фотоприёмника при наборе температур в пределах 80—300 К. На рис. 3—5 представлены графики экспериментальных зависимостей сигнала фотодиода от перемещения оптического зонда вдоль фоточувствительной площадки фотодиода, снятые при разных температурах. Точки на графиках соответствуют экспериментально измеренным значениям сигнала  $U(x)$ . Для каждой температуры, при которой проводилось измерение, рассчитано значение диффузионной длины.

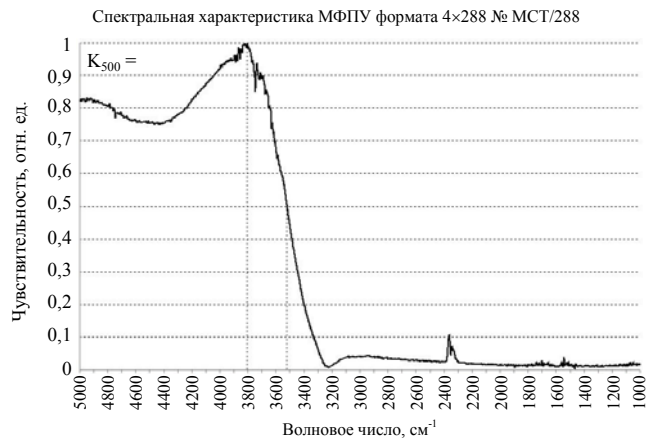


Рис. 2. Спектральная характеристика чувствительность ФЧЭ на основе ЭС КРТ с долей кадмия  $x = 0,414$

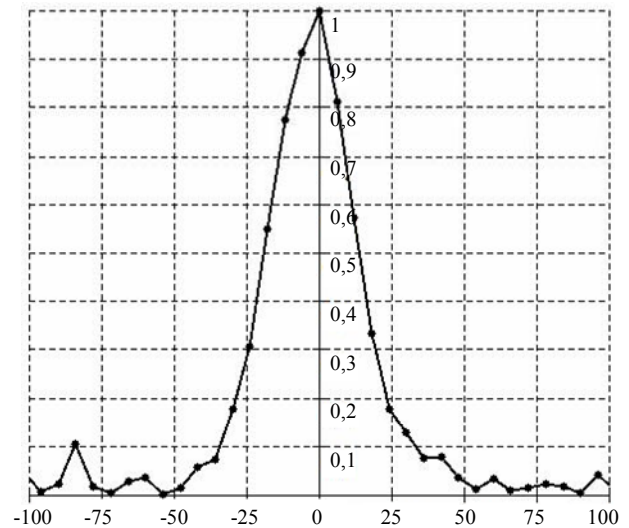


Рис. 3. Результаты измерений экспериментальной зависимости сигнала фотодиода от перемещения оптического зонда вдоль фоточувствительной площадки фотодиода при температуре 80 К. Рассчитанное значение диффузионной длины:  $15,8 \pm 0,3$  мкм (1,9 %)

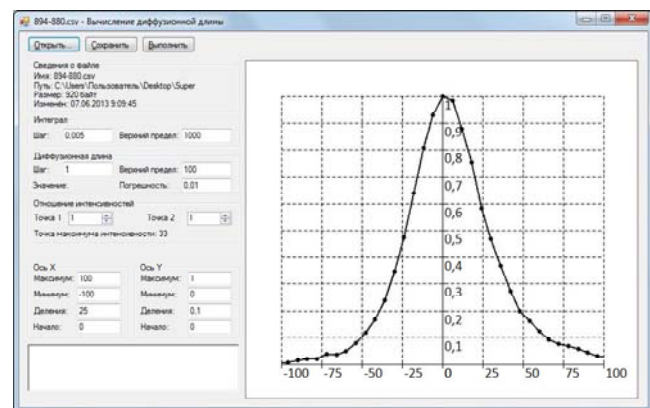


Рис. 4. Результаты измерений экспериментальной зависимости сигнала фотодиода от перемещения оптического зонда вдоль фоточувствительной площадки фотодиода при температуре 152 К. Рассчитанное значение диффузионной длины:  $19,1 \pm 0,2$  мкм (1,0 %)

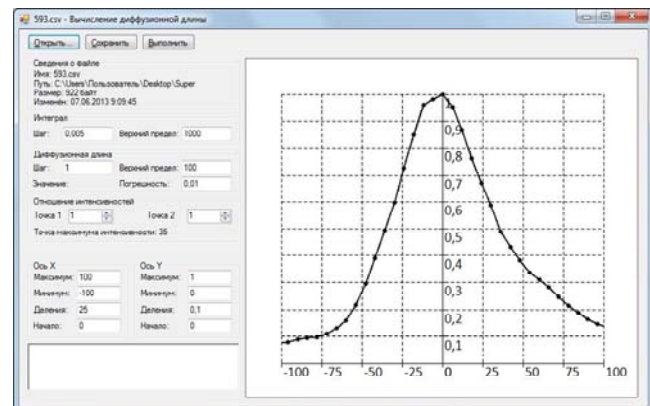


Рис. 5. Результаты измерений экспериментальной зависимости сигнала фотодиода от перемещения оптического зонда вдоль фоточувствительной площадки фотодиода при температуре 297 К. Рассчитанное значение диффузионной длины:  $29,9 \pm 0,7$  мкм (2,3 %)

По рассчитанным значениям диффузионной длины неосновных носителей заряда построен график зависимости диффузионной длины от температуры в диапазоне от 80 до 300 К. Значения диффузионной длины плавно увеличиваются от 16 мкм при  $T = 80$  К до 30 мкм при  $T = 300$  К и достаточно точно совпадают с зависимостью, полученной в [6, 7]. Зависимость и экспериментальные точки представлены на рис. 6. По графику видно, что диффузионная длина практически не меняется в диапазоне 80—120 К, а затем увеличивается с ростом температуры, что может быть объяснено известным фактом роста времени жизни неосновных носителей заряда в КРТ состава  $x \sim 0,4$  мол. дол. при увеличении температуры [8—10].

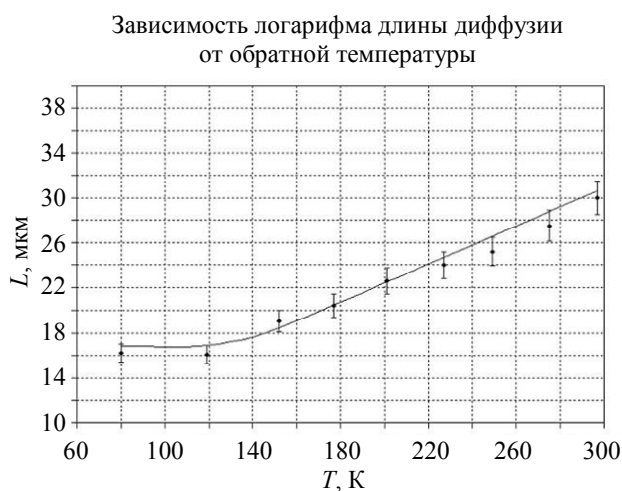


Рис. 6. Зависимость диффузионной длины от температуры рабочего слоя МФПУ на основе КРТ

Благодаря относительно небольшому числу необходимых измерений и высокой надежности, разработанный экспериментальный метод может с успехом применяться в исследовании полупроводниковых материалов для матричных ИК-фотоприёмников.

## Заключение

Разработана методика измерения диффузионной длины неосновных носителей заряда в активном фоточувствительном слое матричного фотоприёмного устройства на основе КРТ, позволяющая использовать математическую модель определения длины диффузии неосновных носителей заряда по экспериментальной зависимости величины сигнала от координаты. Для реализации разработанной методики была разработана оригинальная компьютерная программа обработки экспериментальных данных.

В соответствии с методикой были получены экспериментальные данные для гетероэпитаксиальной структуры КРТ, выращенной методом молекулярно-лучевой эпитаксии с мольной долей теллурида кадмия  $x = 0,414$  и построена зависимость диффузионной длины неосновных носителей заряда от температуры. Расчёт диффузионной длины по экспериментальным данным находится в хорошем соответствии с теоретической моделью.

Работа выполнена по гранту Президента Российской Федерации НШ-2787.2014.9.

## Литература

1. Филачев А. М., Таубкин И. И., Трищенко М. А. Твердотельная фотоэлектроника. Физические основы. — М.: Физматкнига, 2007.
2. Пономаренко В. П., Филачев А. М. Инфракрасная техника и электронная оптика. — М.: Физматкнига, 2006.
3. Болтарь К. О., Яковлева Н. И. // Прикладная физика. 2006. № 1. С. 69.
4. Болтарь К. О., Яковлева Н. И. // Прикладная физика. 1999. № 2. С. 45.
5. Rogalski A. // Infrared Phys. 1988. V. 28. No. 3. P. 139.
6. Rosbeck J. P., Starr R. E., Price S. L., et al. // J. Appl. Phys. 1982. V. 53. No. 9. P. 6430.
7. Chu J., Sher A. Device physics of narrow gap semiconductors. — Springer Science+Business Media, 2010.
8. Барышев Н. С., Гельмонт Б. Л., Ибрагимова М. И. // ФТП. 1990. Т. 2. Вып. 2. С. 209.
9. Мухитдинов А. М. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. — М.: НПО «Орион», 1992.
10. Филиппов С. Н., Болтарь К. О. // Труды МФТИ. 2010. Т. 2. № 1(5). С. 52.

## Temperature dependence of minority carriers diffusion length in MCT

*I. A. Nikiforov<sup>1</sup>, A. V. Nikonov<sup>1,2</sup>, K. O. Boltar<sup>1,2</sup>, and N. I. Iakovleva<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Orion R&P Association  
46/2 Entuziastov highway, Moscow, 111123, Russia  
E-mail: orion@orion-ir.ru

<sup>2</sup>Moscow Institute of Physics and Technology  
9 Institute al., Dolgoprudny, Moscow Region, 141700, Russia

Received September 29, 2014

***The method of measuring the diffusion length of minority carriers in the active layer of the photosensitive matrix photodetectors based on HgCdTe was made. The temperature dependence of the diffusion length of minority carriers for MCT heteroepitaxial structures grown by molecular-beam epitaxy with the mole fraction of cadmium telluride  $x = 0.414$  was calculated.***

PACS: 42.79.Pw, 85.60.Gz, 07.57.Kp, 85.60.Dw

**Keywords:** CdHgTe, infrared spectral range, heteroepitaxial structure, minority carriers, diffusion length.

#### References

1. A. M. Filachev, I. I. Taubkin, and M. A. Trishenkov, *Solid-State Photoelectronics. Physical Foundation* (Fizmatkniga, Moscow, 2007) [in Russian].
2. V. P. Ponomarenko and A. M. Filachev, *Infrared Engineering and Electron Optics* (Fizmatkniga, Moscow, 2006) [in Russian].
3. K. O. Boltar and N. I. Iakovleva, *Prikl. Fiz.*, No. 1, 69 (2006).
4. K. O. Boltar and N. I. Iakovleva, *Prikl. Fiz.*, No. 2, 45 (1999).
5. A. Rogalski, *Infrared Phys.* **28** (3), 139 (1988).
6. J. P. Rosbeck, R. E. Starr, S. L. Price, et al., *J. Appl. Phys.* **53**, 6430 (1982).
7. J. Chu and A. Sher, *Device Physics of Narrow Gap Semiconductors* (Springer Science+Business Media, 2010).
8. N. S. Baryshev, B. L. Gelmont, and M. I. Ibragimova, *Semiconductors* **2**, 209 (1990).
9. A. M. Mukhitdinov, Candidate's Dissertation on Physics and Mathematics (Moscow, NPO Orion, 1992).
10. S. N. Filippov and K. O. Boltar, *Proc. MFTI* **2**. (1(5)), 52 (2010).