

УДК 621.315.5

## Исследование релаксационных процессов в гетероэпитаксиальных структурах КРТ

К. О. Болтарь, А. С. Кашуба, М. В. Седнев, Ю. П. Шаронов

*Проведены исследования по определению влияния различных технологий обработки поверхности КРТ на скорость поверхностной рекомбинации и, как следствие, на измеряемый параметр времени жизни неосновных носителей заряда. В качестве метода для определения параметра времени жизни был выбран неразрушающий метод бесконтактного измерения времени жизни по релаксационным кривым фотопроводимости, что позволило проводить исследования на реальных структурах, используемых в производстве матричных фотоприемных устройств.*

PACS: 85.60.-q

*Ключевые слова:* гетероэпитаксиальные полупроводниковые структуры, КРТ, гетероэпитаксиальные структуры, время жизни носителей заряда.

### Введение

Гетероэпитаксиальные полупроводниковые структуры (ГЭС) на основе тройных соединений HgCdTe (КРТ) в настоящее время широко используются для создания различных фотодетекторов инфракрасного диапазона в области спектральных атмосферных окон 3—5 и 8—12 мкм [1—3]. Основные параметры фотодетекторов — чувствительность, обнаружительная способность, быстродействие и др. — во многом определяются рекомбинационно-диффузионными параметрами данных структур.

Целью данной работы было исследование кинетики рекомбинации электронно-дырочных пар, что даст возможность определить качество исходных полупроводниковых материалов и оценить свойства поверхностей пластин до и после технологических операций [6—9].

### Экспериментальные результаты

В работе исследовалась зависимость времени жизни неосновных носителей заряда от толщины рабочего слоя гетероэпитаксиальных структур КРТ, изготовленных в ИФП РАН методом молекулярно-лучевой эпитаксии, при послойном травлении, термической обработке и пассивации поверхности. Структуры имели следующие параметры: состав материала  $x = 0,22$ , тип проводимости — дырочный, концентрация основных носителей  $p = (1\div 2) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , подвижность основных носителей  $\mu_p = (500\div 600) \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Толщина рабочего слоя измерялась по спектру оптического отражения на ИК-спектрофотометре FTIR-8400S «SHIMADZU» [3—7].

Как уже было сказано, данная работа проводилась с целью определения влияния технологии обработки поверхности ГЭС КРТ на скорость поверхностной рекомбинации и, как следствие, на измеряемый параметр — время рекомбинации неравновесных носителей. В качестве метода для определения параметра времени жизни был использован неразрушающий метод бесконтактного измерения времени жизни по релаксационным кривым концентрации неравновесных носителей, что позволило проводить исследования на реальных структурах, используемых в производстве матричных фотоприемных устройств.

На рис. 1 приведена схема слоев ГЭС КРТ состоящая из верхнего варизонного слоя толщиной 0,35—0,4 мкм, рабочего слоя толщиной 7—9 мкм, нижнего варизонного слоя 1,2—1,5 мкм, слоев CdTe 5—5,5 мкм, ZnTe 0,1 мкм и подложки из GaAs толщиной 350—400 мкм.

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

**Кашуба Алексей Сергеевич**, начальник участка<sup>1</sup>.

**Седнев Михаил Васильевич**, начальник участка<sup>1</sup>.

**Шаронов Юрий Павлович**, вед. инженер-технолог<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>ОАО «НПО «Орион».

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

Тел.: 8 (499) 374-94-00, 8 (499) 374-94-01.

Факс (499) 373-68-62. 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 декабря 2014 г.

© Болтарь К. О., Кашуба А. С., Седнев М. В., Шаронов Ю. П., 2015

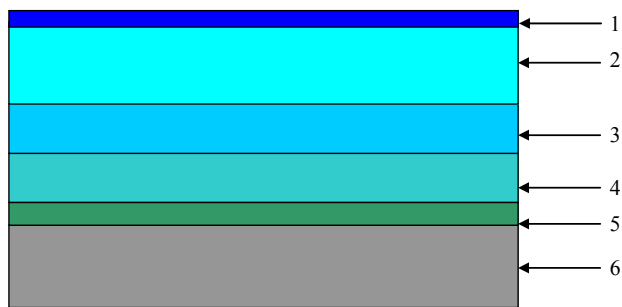


Рис. 1. Схема слоев ГЭС КРТ: 1 — верхний варизонный слой, 0,35—0,4 мкм; 2 — рабочий слой, 7—9 мкм; 3 — нижний варизонный слой, 1,2—1,5 мкм; 4 — CdTe, 5—5,5 мкм; 5 — ZnTe 0,1 мкм; 6 — подложка GaAs 350—400 мкм

Измерения времени жизни проводилось бесконтактным методом [6—8] по времени релаксации отраженной от образца СВЧ-волны с частотой 26 ГГц при засветке импульсным полупроводниковым лазером SF495, работающем на длине волны  $\lambda = 0,9$  мкм, мощностью излучения  $P = 1$  Вт, длительностью импульсов 100—300 нс и временем нарастания и спада импульсов 7 нс. Для укорочения времени спада световых импульсов параллельно лазеру подключался резистор 6,8 Ом, который уменьшал время разряда емкости лазерного диода. В результате удалось уменьшить время нарастания и спада световых импульсов до  $1 \div 2$  нс.

Блок-схема измерительной установки приведена на рис. 2.

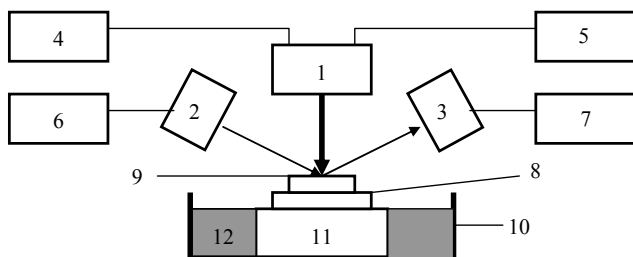


Рис. 2. Блок-схема измерительной установки: 1 — импульсный излучатель SF495 со схемой управления; 2 — СВЧ-генератор на диоде Ганна AL716Г; 3 — детекторная головка; 4 — источник питания излучателя; 5 — генератор импульсов; 6 — источник питания диода Ганна; 7 — осциллограф TDS3032; 8 — исследуемый образец; 9 — четвертьволновая пластина (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) для СВЧ-излучения; 10 — сосуд Дьюара; 11 — держатель образца; 12 — жидкий азот

Так как энергия кванта ( $\approx 1$  эВ) светового импульса используемого светодиода намного больше ширины запрещенной зоны, то основной вклад в измеряемое время жизни исследуемой структуры дают носители, генерируемые на расстоянии  $1 \div 3$  мкм от поверхности.

В процессе исследований было установлено, что для отдельных образцов время жизни умень-

шалось в несколько раз в разных точках поверхности. Этот эффект обусловлен тем, что на лицевой стороне таких образцов были обнаружены микротрещины, царапины или незаметные невооруженным глазом пятна. Все эти дефекты легко рассмотреть под микроскопом. Некоторые из таких дефектов показаны на рис. 3. Такие образцы изымались из дальнейшего исследования.

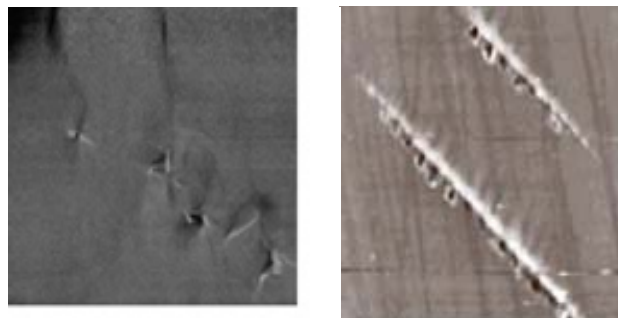


Рис. 3. Дефекты на поверхности образцов

На образцах ГЭС с однородной поверхностью исследовали состав методом рентгеновского микроанализа (см. рис. 4). Как видно из рисунка, после химического травления и последующей отмывки на поверхности образцов остается некоторое количество продуктов травления и отмывки. В основном это элементы, присутствующие в воздухе, а именно, углерод, кислород. Видны элементы матрицы полупроводникового соединения: кадмий, ртуть и теллур. Наблюдаются следы хлора и хрома.

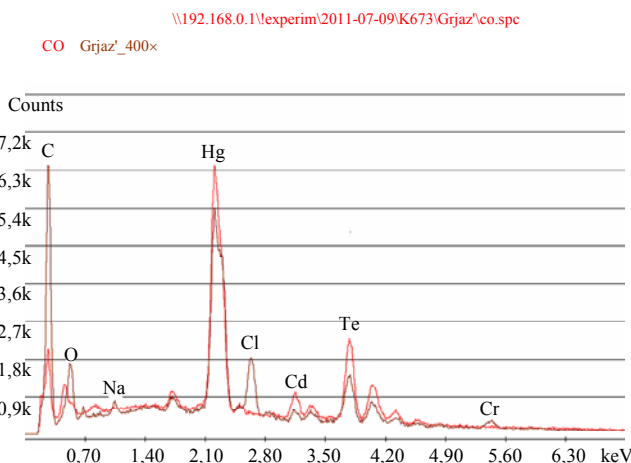


Рис. 4. Рентгенограмма элементного состава поверхности (красная кривая — элементный состав области поверхности до обработки, коричневая — элементный состав области поверхности после проведения химического травления)

После жидкостного травления на часть образцов термически напыляли пассивирующий и

герметизирующий слой CdTe толщиной 1 мкм. Часть образцов с нанесенным слоем CdTe и без него подвергалась термообработке при температуре 100 °С. Время данного процесса для разных образцов колебалось от 4 до 10 часов. Характерные изменения времени жизни при послойном травлении, напылении CdTe и термообработке показаны на рис. 5.

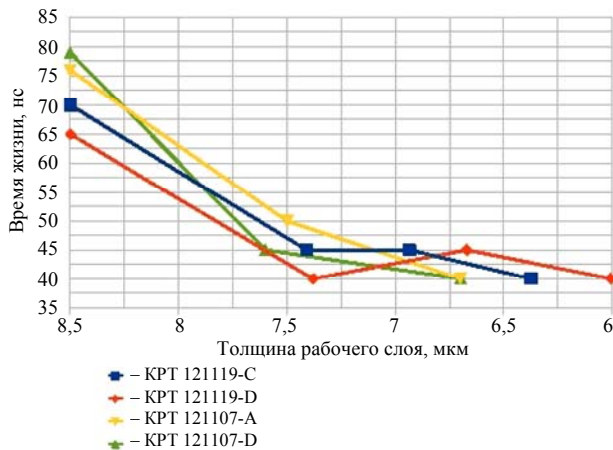


Рис. 5. Зависимость времени релаксации от толщины рабочего слоя: КРТ121119-С послойное травление без последующей обработки; КРТ121119-Д послойное травление с последующим отжигом (4 часа, 100 °С); КРТ121107-А послойное травление с последующим нанесением слоя CdTe; КРТ121107-Д послойное травление с последующим нанесением слоя CdTe и отжигом

Как видно из зависимостей, время релаксации убывает с 65—80 нс при первоначальном измерении до 40—45 нс при последовательном травлении слоев. Эта тенденция сохраняется (в пределах ошибки измерений) на всех исследованных образцах, причем независимо от способа обработки поверхности, в т. ч. химической.

Уменьшение времени жизни носителей заряда по глубине эпитаксиального слоя, наблюдаемое в проведенном исследовании, объясняется тем, что верхний широкозонный (варизонный) слой имеет большее время жизни неравновесных носителей по сравнению с более узкозонным рабочим слоем, который имеет время жизни 40—45 нс, согласно паспортным значениям. Поэтому после травления верхнего варизонного слоя измеренное время жизни неравновесных носителей не меняется и, по-видимому, соответствует времени жизни в объеме эпитаксиального рабочего слоя.

### Заключение

Исследованные в работе способы подготовки и защиты поверхности материала КРТ не приводят к заметному ухудшению поверхностных свойств рабочего слоя.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Филачев А. М., Таубкин И. И., Трищенко М. А. Твердотельная фотоэлектроника. Фотодиоды. — М.: Физматкнига, 2011.
2. Болтарь К. О., Лопухин А. А., Ранцан С. К. и др. // Прикладная физика. 2013. № 6. С. 67.
3. Бурлаков И. Д., Кашуба А. С., Пермикина Е. В. и др. // Вестник МИТХТ. 2009. Т. 4. № 4. С. 78.
4. Кашуба А. С., Заблоцкий А. В., Коростылев Е. В. и др. // Вестник МИТХТ. 2010. Т. 5. № 5. С. 19.
5. Болтарь К. О., Федирко В. А. // ФТП. Т. 30. Вып. 11. С. 1993.
6. Болтарь К. О., Кашуба А. С., Удалова А. Г. и др. // Прикладная физика. № 1. 2008. С. 26.
7. Болтарь К. О., Никонов А. В., Яковлева Н. И. // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1. № 4. С. 520.
8. Болтарь К. О., Лопухин А. А., Ранцан С. К. // Успехи прикладной физики. 2013. № 1. С. 82.
9. Бурлаков И. Д., Болтарь К. О., Седнев М. В. // Прикладная физика. 2007. № 5. С. 58.

## Investigation of the relaxation processes in heteroepitaxial HgCdTe structures

K. O. Boltar, A. S. Kashuba, M. V. Sednev, and Yu. P. Sharonov

Orion R&P Association Inc.  
46/2 Enthusiasts highway, Moscow, 11123, Russia  
E-mail: orion@orion-ir.ru

Received December 29, 2014

*The influence of treatment technologies for the HgCdTe surface on a surface recombination rate has been studied in this work. A nondestructive measurement of the lifetime was in use on base of relaxation characteristics for photoconductivity. The real FPA structures have been in service.*

PACS: 85.60.-q

*Keywords:* heteroepitaxial structures, HgCdTe, lifetime, charge carriers, measurement.

#### REFERENCES

1. A. M. Filachev, I. I. Taubkin, and M. A. Trishenkov, *Solid-State Photoelectronics. Photodiodes*. (Fizmatkniga, Moscow, 2011) [in Russian].
2. K. O. Boltar, A. A. Lopukhin, S. K. Rantsan, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 6, 67 (2013).
3. I. D. Burlakov, A. S. Kashuba, E. V. Permikina, et al., *Vestnik MITKhT* **4** (4), 78 (2009).
4. S. Kashuba, A. V. Zabolotskii, E. V. Korostylev, et al., *Vestnik MITKhT* **5** (5), 19 (2010).
5. K. O. Boltar and V. A. Fedirko, *Semiconductors* **30**, 1993.
6. K. O. Boltar, A. S. Kashuba, A. G. Udalova, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 1., 26 (2008).
7. K. O. Boltar, A. V. Nikonov, and N. I. Iakovleva, *Usprkhi Prikladnoi Fiziki* **1**, 520 (2013).
8. K. O. Boltar, A. A. Lopukhin, and S. K. Rantsan, *Usprkhi Prikladnoi Fiziki* **1**, 82 (2013).
9. I. D. Burlakov, K. O. Boltar, and M. V. Sednev, *Prikladnaya Fizika*, No. 5, 58 (2007).