

УДК 538.9

DOI: 10.17223/00213411/63/4/16

*И.И. КОЛЕСНИКОВА, Д.А. КОБЦЕВ, Р.А. РЕДЬКИН, С.Ю. САРКИСОВ, О.П. ТОЛБАНОВ, А.В. ТЯЖЕВ***ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В SI-GaAs:Cr И EL2-GaAs  
МЕТОДОМ PUMP-PROBE-ТЕРАГЕРЦОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ \***

Проведено исследование временной динамики релаксации неравновесной концентрации носителей заряда в полупроводниковых кристаллах SI-GaAs:Cr и EL2-GaAs методом pump-probe-терагерцовой спектроскопии. Проанализированы полученные экспериментальные данные с учетом механизмов поверхностной и объемной рекомбинации Шокли – Рида – Холла, излучательной рекомбинации, оже-рекомбинации «зона – зона» и через ловушки. Установлено, что при уровнях концентрации неравновесных носителей заряда, возникающих при возбуждении образцов лазерным излучением с длительностью импульса 35 фс, энергией в импульсе 0.1 мДж на центральной длине волны 791 нм, существенное влияние оказывают механизмы оже-рекомбинации. Механизмы оже-рекомбинации вносят решающий вклад в скорость рекомбинации неравновесных носителей заряда при уровнях инжекции выше  $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  для SI-GaAs:Cr и выше  $10^{18} \text{ см}^{-3}$  для EL2-GaAs. При более низких концентрациях основным механизмом рекомбинации является объемная и поверхностная рекомбинация Шокли – Рида – Холла.

**Ключевые слова:** терагерцовая pump-probe-спектроскопия, GaAs:Cr, время жизни, оже-рекомбинация.

Параметры неравновесных носителей заряда в полупроводниках являются важными для работы приборов на их основе. Для некоторых приборов, например, фотопроводящих дипольных антенн или фотомиксеров [1–3], необходимо малое время жизни, которое в некоторых арсенид-галлиевых структурах может составлять 200–500 фс [2, 3]. Наоборот, для арсенид-галлиевых детекторов рентгеновского излучения необходимы структуры с большим временем жизни носителей заряда, которое может достигать сотен наносекунд [4–7]. Существует проблема, связанная с разработкой методов и технологий модификации полупроводниковых материалов с целью изменения времени жизни неравновесных носителей заряда. Для этого могут применяться соответствующие технологии модифицирования свойств полупроводников (легирование из расплава [8], диффузионное легирование [4–7], ионная имплантация [2, 3], радиационное облучение [9] и др.). Актуальной является проблема создания надежных бесконтактных методов исследования процессов релаксации в полупроводниковых материалах. Одной из перспективных методик для определения времени жизни неравновесных носителей заряда является техника «накачка-зонд» (pump-probe), в которой после возбуждения в образце избыточной концентрации носителей заряда с помощью короткого лазерного импульса высокой интенсивности осуществляется зондирование пропускания или отражения оптическим или терагерцовым излучением с определенными задержками по времени. Временное разрешение метода может быть менее 100 фс. Ввиду сложности процессов, происходящих в полупроводнике при их фотовозбуждении короткими лазерными импульсами, интерпретация и анализ данных pump-probe-спектроскопии требуют особого рассмотрения. Необходимо сопоставление данных pump-probe-спектроскопии с данными других методов, таких, как исследования временных профилей спада фотолюминесценции или измерения эффективности сбора заряда в детекторах ионизирующих излучений [4, 5]. Кроме того, важным является определение уровней инжекции и соответствующих им доминирующих механизмов рекомбинации при которых возможно получать данные методом pump-probe-спектроскопии. Отдельным вопросом является влияние поверхностной рекомбинации и определение того, насколько данные pump-probe-спектроскопии могут использоваться для определения объемного времени жизни неравновесных носителей заряда.

Исследуемый в настоящей работе высокоомный арсенид галлия, компенсированный хромом (SI-GaAs:Cr), используется для создания матричных координатных детекторов прямого счёта заряженных частиц и получения цифрового изображения в режиме счёта единичных квантов рентгеновского и гамма-излучения [5–7]. Следует отметить, что несмотря на то, что SI-GaAs:Cr достаточно давно применяется для создания рентгеновских детекторов, механизмы, определяющие уве-

\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-44-06001 и гранта Гельмгольца № HRSF-0004.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>