

УДК 621.81

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ СИСТЕМ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМ ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

*Р. И. ВОРОБЕЙ, О. К. ГУСЕВ, А. К. ТЯВЛОВСКИЙ,
К. Л. ТЯВЛОВСКИЙ, Л. И. ШАДУРСКАЯ*

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

UDC 621.81

FUNCTIONAL PHOTOELECTRIC CONVERTERS FOR OPTICAL DIAGNOSTICS SYSTEMS

*R. I. VOROBAY, O. K. GUSEV, A. K. TYAVLOVSKY, K. L. TYAVLOVSKY,
L. I. SHADURSKAYA*

Аннотация. Рассмотрены особенности фотоэлектрических преобразователей с собственной фотопроводимостью на основе полупроводников с глубокой многозарядной примесью. Использование таких структур позволяет существенно расширить динамический диапазон чувствительности и получить новые функциональные свойства одноэлементных фотоприёмников и измерительных преобразователей оптической диагностики на их основе.

Ключевые слова: оптическая диагностика, фотоэлектрический преобразователь, переключение характеристик, собственная проводимость, многозарядная примесь.

Abstract. The features of photovoltaic cells in semiconductors with deep-level multiply-charge impurity have been considered. The use of such structures can significantly extend the dynamic range of sensitivity and gain new functional properties of single-element photoelectric receivers and optical diagnostics measuring transducers based on them.

Key words: optical diagnostics, photoelectric converter, switching characteristics, intrinsic conductivity, multiply charge impurity.

Оптические методы диагностики [1] применяются как для определения разнородных характеристик изделия – от его геометрических размеров до химического состава, так и для контроля технологических и физических процессов, обеспечивая неразрушающий характер контроля. При этом избранная методика контроля, свойства объекта контроля и среды передачи оптического излучения определяют требования к совокупности свойств источника и приемника излучения. Таким образом, возможности оптических методы диагностики определяются, в основном, функциональными возможностями и параметрами фотоэлектрического преобразователя (ФЭП). Представляется перспективным использование в измерительных преобразователях систем оптической диагностики полупроводниковых ФЭП с изменяемой функциональностью и переключением поддиапазонов преобразования [2, 3] энергетической и спектральной характеристик

чувствительности под действием внешних управляющих факторов и параметров измерительного сигнала.

Основу ряда функциональных ФЭП, пригодных для применения в системах оптической диагностики, составляют базовые фоторезистивные и барьерные структуры с использованием контактов металл–полупроводник. В качестве основного материала ФЭП предлагается использовать полупроводники с низкой концентрацией глубокой примеси [3], формирующей в запрещенной зоне несколько энергетических уровней для разных зарядовых состояний, с поверхностно-барьерной или резистивной структурой (рис. 1). Использование физической интеграции процессов внутри объема чувствительного элемента и его приповерхностной области позволяет сформировать ряд уникальных свойств таких ФЭП при простой конструкции приборной структуры.

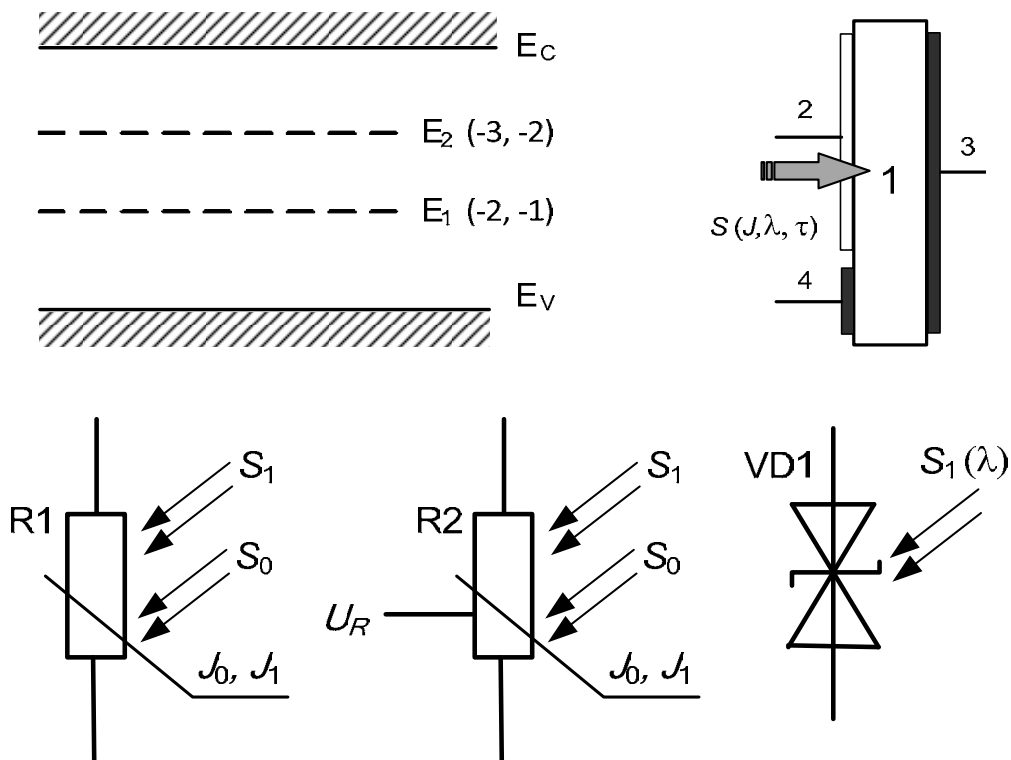


Рис. 1. Зонная диаграмма полупроводника с многозарядными примесными центрами (в скобках указаны зарядовые состояния) и приборная структура ФЭП на его основе: S_1 – информационный сигнал; S_0 – управляющее воздействие

Структура, приведенная на рис. 1, где 1 – это полупроводник с многозарядными примесными центрами; 2 – прозрачный электрод; 3 – электрод; 4 – управляющий электрод, является базовой и, в зависимости от требований к функциональности ФЭП, может быть модифицирована. Так, электроды могут быть выполнены как омическими, так и в виде барьеров Шоттки, причем их количество и пространственное расположение также может меняться (рис. 2).

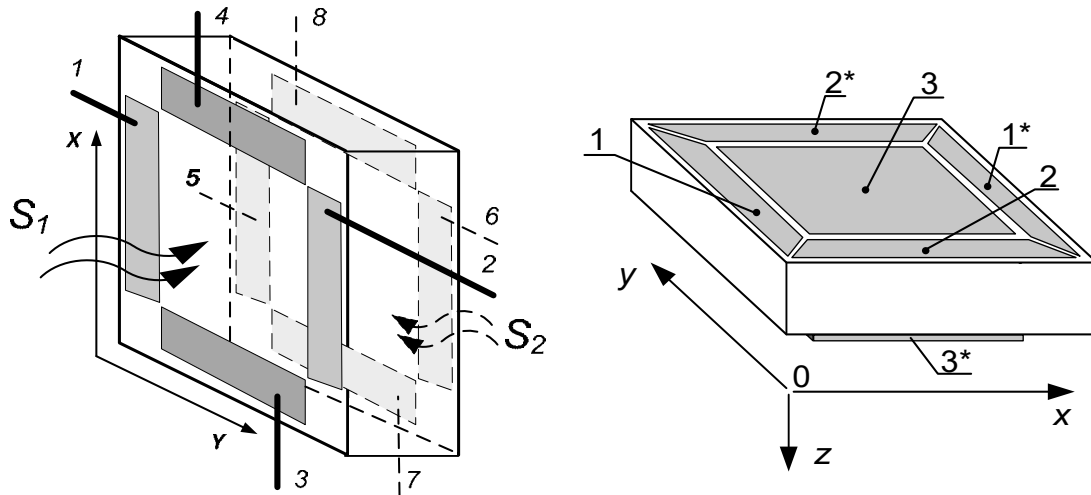


Рис. 2. Оптико-электронный компаратор (S_1 и S_2) и структура трёхкоординатного позиционно-чувствительного фотодетектора на базе одноэлементного ФЭП со встречно включенными барьерами Шоттки

Фотоприемники на основе полупроводниковых структур с многозарядной примесью из-за сложности и многоступенчатости процессов перезарядки зарядовых центров при изменении интенсивности освещения и длины волны оптического излучения обладают возможностью изменять поддиапазоны преобразования энергетической характеристики, спектральной характеристики чувствительности, быстродействия и др. под действием внешних и внутренних факторов, таких как смещение на дополнительных электродах, управляющее оптическое воздействие и т. д. [3]. Возможность изготавливать на одной сапфировой подложке и излучатель света, и фотоприемник позволяет изготавливать интегрированную структуру управляемого функционального ФЭП (рис. 3). Сапфировые подложки благодаря близости параметров кристаллической решетки используются для эпитаксии многих полупроводниковых материалов (Si, SiGe, GaN, AlGaN, тройных и четверных соединений типа A^3B^5 и др.) [4], что, в совокупности с выбором материала многозарядной примеси, обеспечивает формирование ФЭП в широком диапазоне требуемых спектральных и энергетических характеристик. Важными свойствами сапфировой подложки являются отличные диэлектрические характеристики, инертность, способность работы при высоких температурах, а отличные оптические свойства в ближнем и среднем ИК оптическом диапазоне позволяют вводить оптический измерительный сигнал как с лицевой стороны структуры (7, см. рис. 3), так и через подложку (7*).

Закономерности формирования сигнала ФЭП связаны с изменением эффективного времени жизни и подвижности с уровнем инжекции. На зависимости времени жизни носителей заряда от интенсивности оптического излучения существуют две области линейной рекомбинации,

разделенной областью нелинейной рекомбинации [3]. Следствием этого является формирование двух поддиапазонов энергетической характеристики с высокой степенью линейности (рис. 4).

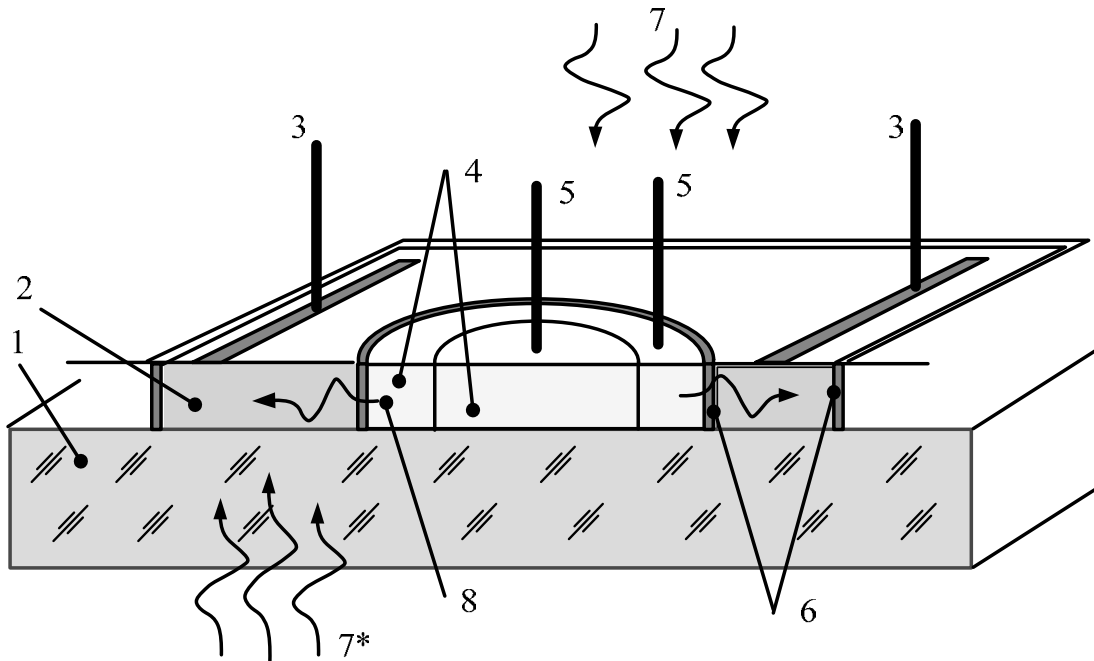


Рис. 3. Структура управляемого ФЭП на сапфировой подложке: 1 – сапфировая подложка; 2 – ФЭП на основе полупроводника с глубокой многозарядной примесью; 3 – выводы ФЭП; 4 – управляющий $p-n$ -светодиод; 5 – выводы светодиода; 6 – слои изолирующего диэлектрика; 7 – входной оптический сигнал; 8 – управляющее излучение

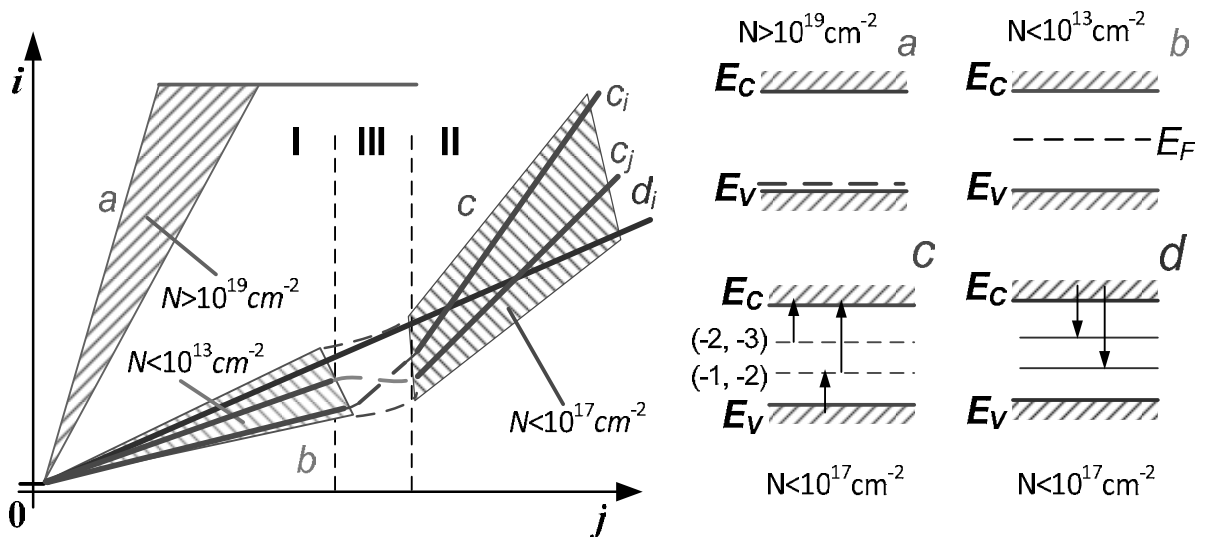


Рис. 4. Энергетические характеристики ФЭП с примесной проводимостью (a), собственной проводимостью (b), с многозарядными примесными центрами акцепторного (c) и донорного (d) типов и соответствующие энергетические диаграммы материалов этих ФЭП

Для полупроводников с примесью акцепторного типа изменение постоянных времени жизни и рекомбинации достигает нескольких десятичных порядков, что обеспечивает соответствующее увеличение динамического диапазона преобразования ФЭП [3, 5]. Использование особенностей перезарядки многозарядных примесных глубоких центров позволяет создать ФЭП с переключаемым видом спектральной характеристики. Наличие центров с двумя и более глубокими уровнями в различных зарядовых состояниях (см. рис. 1) обеспечивает изменение максимума спектральной характеристики (рис. 5) при управлении зарядовым состоянием примесного центра [3]. При применении традиционных фотоприемников для оперативного управления видом спектральной характеристики понадобилось бы использование в одном измерительном преобразователе нескольких фотоприемников, каждый с оптическим фильтрующим элементом, настроенным на различные области спектра, светоделительное устройство и схема объединения электрических сигналов.

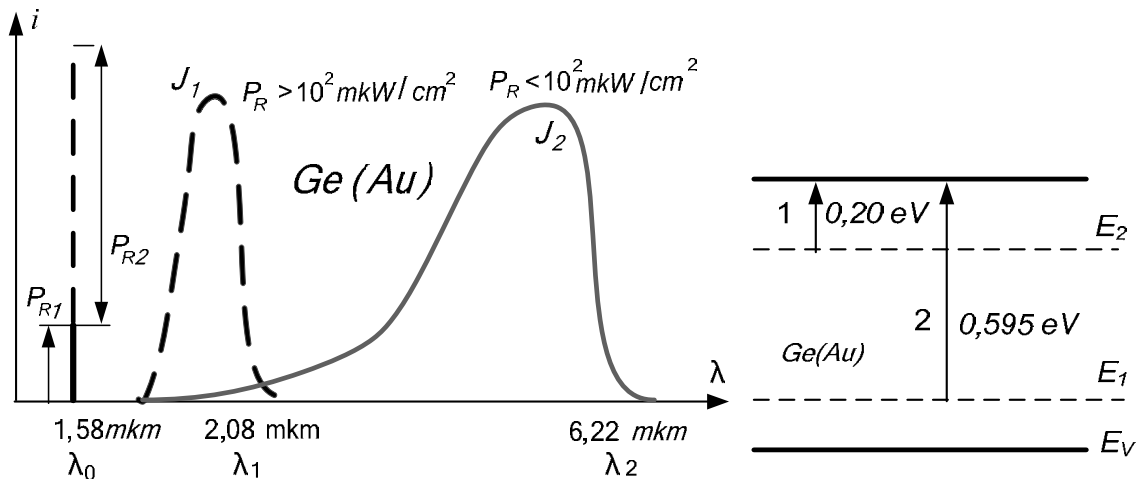


Рис. 5. Переключение спектральной характеристики фотоприемника с глубокой многозарядной примесью при дополнительной подсветке с длиной волны λ_0

Однако ФЭП на основе полупроводников с собственной фотопроводимостью обеспечивают оперативное управление спектральной характеристикой чувствительности с использованием только одного элемента в широком диапазоне длин волн (рис. 6).

Многофункциональные одноэлементные фотоэлектрические преобразователи на основе полупроводников с собственной фотопроводимостью позволяют реализовать в одном измерительном преобразователе определение нескольких параметров оптического излучения, например, длины волны и мощности оптического излучения, геометрических параметров изображения, сравнение характеристик изображения по нескольким параметрам одновременно в широком динамическом диапазоне изменения входных сигналов.

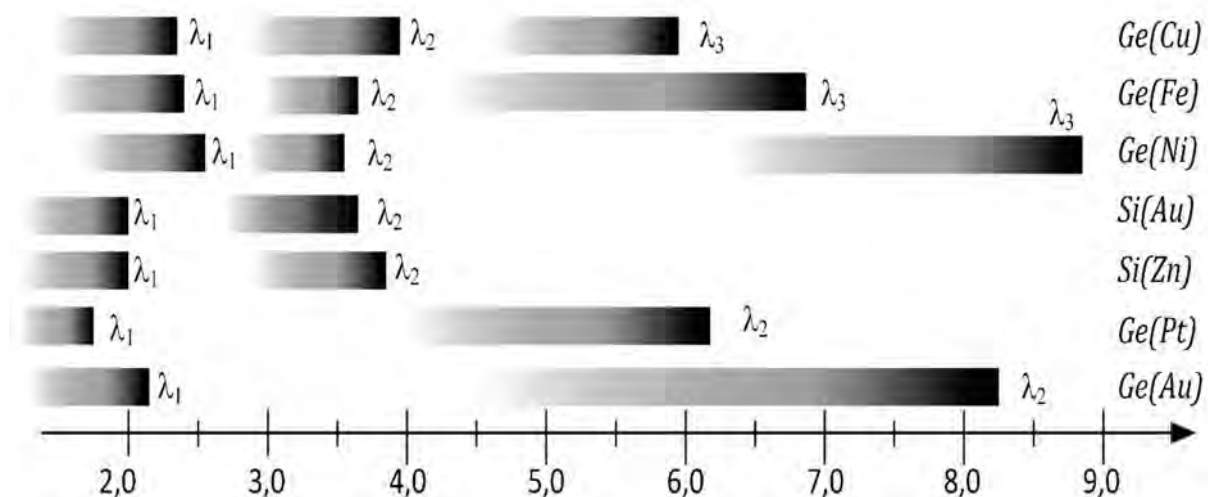


Рис. 6. Изменение «красной» границы чувствительности ФЭП под действием управляющих воздействий для разных материалов

Выбор материала полупроводника, типа глубокой примеси и ее концентрации позволяют создавать фотоприемники систем оптической диагностики для заданного диапазона плотностей мощности излучения, спектрального диапазона и функциональности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ Р 53696–2009.** Контроль неразрушающий. Методы оптические. Термины и определения / Нац. стандарт РФ.
2. Проектирование и управление метрологическими характеристиками фотоэлектрических преобразователей на основе полупроводников с многозарядными примесями / О. К. Гусев [и др.] // Датчики и системы. – 2011. – № 1. – С. 19–23.
3. Photoelectric semiconductor converters with a large dynamic range / R. I. Vorobey [et al.] // *Przegląd elektrotechniczny*. – 2014. – № 5. – P. 5–78.
4. Silicon on sapphire CMOS for optoelectronic microsystems / A. G. Andreou [et al.] // *Circuits and Systems*. – 2001. – Vol. 1. – P. 22–30.
5. Фотоприемники на основе собственных полупроводников для построения измерительных преобразователей / О. К. Гусев [и др.] // *Метрология и приборостроение*. – 2017. – № 2. – С. 34–42.

E-mail авторов: nil_pt@bntu.by.