

Германиевые р-п переходы, сформированные при МОС-гидридной эпитаксии для термофотовольтаических преобразователей и трехпереходных солнечных элементов GaInP/GaAs/Ge

Н. А. Калюжный¹, Р. А. Салий^{1,2}, М. А. Минтаиров¹, В. В. Евстропов¹

¹ ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

тел: 8 (812) 297-21-73, эл. почта: Nickk@mail.ioffe.ru

² Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

За последнее десятилетие возрождается интерес к германиевым р-п переходам, что связано с развитием современной полупроводниковой технологии: эпитаксии из металлорганических соединений и гидридов (МОС–гидридной эпитаксии, МОС-ГФЭ), в которой германий используется в качестве подложки для роста гетероструктурных A^3B^5 фотопреобразователей (ФП): а именно термофотовольтаических преобразователей (ТФП) и многопереходных (МП) солнечных элементов (СЭ).

Объект исследования

Германиевые р-п переходы, сформированные при МОСГФЭ за счет диффузии атомов фосфора в Ge подложку, которые используются как для ТФП, так и для узкозонного фотоэлемента в трехпереходных GaInP/GaAs/Ge СЭ, которые на сегодня являются самым эффективным ФП солнечного излучения [1].

Цели и задачи исследования

Определить механизмы протекания тока в создаваемых Ge р-п переходах для реалистического описания их фотоэлектрических характеристик и построения их эквивалентной схемы. Установить влияние твердотельной и газовой диффузии фосфора в Ge подложку на фотоэлектрические характеристики ФП.

Результаты

1. Обнаружено, что помимо диффузионного механизма, который, как считалось ранее, являлся единственным при комнатной температуре в Ge р-п переходах [2], существует также туннельный (избыточный, по терминологии Эсаки [3]) механизм протекания тока. Поэтому вольт-амперная характеристика (ВАХ) элемента должна быть аппроксимирована не одно-экспоненциальной (с параметром неидеальности $A_d = 1$), а двух-экспоненциальной моделью, учитывающей туннельный механизм ($A_d > 2$).
2. Разработана методика определения механизмов протекания тока из анализа одних только фотоэлектрических (без привлечения темновых) характеристик.
3. Аппроксимированы на основе построенной двух-экспоненциальной модели следующие четыре экспериментальные фотоэлектрические характеристики: 1) $J_{sc} - V_{oc}$; 2) $J_g (\propto C) - V_{oc}$; 3) $J_g - kn\delta (\eta)$; 4) $J_g - FF$, где J_{sc} — ток короткого замыкания, V_{oc} - напряжение холостого хода, J_g — ток генерации, пропорциональный кратности концентрирования солнечного излучения C , η — эффективность фотоэлектрического преобразования, FF — фактор заполнения ВАХ.

4. Обнаружены особенности ВАХ, которые привели к необходимости модифицировать стандартную эквивалентную схему германиевого фотодиода.
5. Показано, что глубина залегания и свойства р-п перехода в Ge не зависят от времени диффузии фосфора из твердой и газовой фазы при прочих равных условиях роста. Это показывает, что, во-первых, предэпитаксиальная обработка подложек в МОСГФЭ, обеспечивающая рост на ней совершенной кристаллической структуры, не влияет на формирование Ge р-п перехода, а, во-вторых, существует свобода выбора толщины широкозонного окна (из которого идет диффузия Р) для Ge ФП в зависимости от его назначения (ТФП, МП СЭ).

Новизна и практическая ценность:

На основе полученных результатов построена более реалистичная двух-экспоненциальная модель Ge ФП, которая позволяет определять факторы, влияющие на его характеристики. Практическая ценность работы состоит в разработке способов повышения эффективности энергетического фотопреобразования в германиевых р-п переходах.

Литература

1. W. Guter, J. Schoene, S. P. Philipps, M. Steiner, G. Siefert, A. Wekkeli, E. Welsler, E. Oliva, A. W. Bett, and F. Dimroth, Appl. Phys. Lett. 94 (2009) 223504, 1-3
2. F. S. Goucher, G. L. Pearson, M. Sparks, G. K. Teal & W. Shockley, Phys. Rev. , 81, (1951) p. 637.
3. Л. Эсаки (в сб.: «Туннельные диоды», ИЛ, Москва, 1961, стр.20). Пер. с англ: Solid State Physics, 1, pt. 1. London-NY, Acad. Press. (1960) pp. 514-523.