

УДК 538.9

**А.А. Вельченко<sup>1</sup>, к.т.н., В.И. Мирончук<sup>1</sup>,  
Р.М. Пелешак<sup>2</sup>, д.ф-м.н., профессор**

*<sup>1</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Беларусь, <sup>2</sup>Дрогобычский государственный педагогический университет имени Ивана Франко, г. Дрогобыч, Украина*

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

### **Введение**

На сегодняшний день, к использованию нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ) во всем мире наблюдается повышенный интерес в различных отраслях экономики (агропромышленный комплекс, машиностроение, транспорт и коммуникации, IT-индустрия и т.д.).

Производимые солнечные элементы (СЭ) на основе поликристаллического и монокристаллического кремния имеют низкий коэффициент полезного действия (КПД). Поэтому, перспективным путем решения удешевления «солнечной» электроэнергии является применение гетероструктур на основе материалов  $\text{CuInSe}_2$ ,  $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Se}_2$ , которые позволяют создать высокоэффективные тонкопленочные солнечные элементы при производстве монолитных модулей предназначенных для экономически эффективного генерирования электроэнергии.

Одним из способов увеличения эффективности полупроводниковых фотоприемников является расширение их спектрального диапазона чувствительности. Это достигается путем использования наноразмерных структур (массив квантовых точек), что позволяет существенно расширить спектр fotocувствительности в длинноволновой области спектра по сравнению с краем поглощения материала матрицы [1]. Выращивание, исследование наногетеросистем с напряженными квантовыми точками (КТ) и изготовление приборов на их основе, на сегодняшний день, является новым направлением в физике низкоизмерительных систем. Это стало возможным благодаря развитию технологии получения наногетеросистем методом молекулярно пучковой эпитаксии.

В последние годы для описания формирования реальных КТ были предложены разные аналитические модели. Однако, достаточно много задач остаются нерешенными, в частности, задачи с учетом влияния деформационных эффектов на характер квантовой потенциальной ямы. В связи с этим возникает необходимость построения новых теоретических моделей напряженных наногетеросистем с учетом влияния упругого взаимодействия между КТ.

**Целью настоящей работы** является построение модели наногетеросистемы с напряженными квантовыми точками сферической симметрии в рамках метода деформационного потенциала.

**Результаты исследований.** Как правило, солнечные элементы  $\text{CuInSe}_2$ ,  $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$  выращивают в такой конфигурации, когда излучение попадает в абсорбер, пройдя лишь через слой TCO и пленку CDS (substrate configuration), которая обеспечивает благоприятные условия работы устройства и совместимость материалов. Структура типичного солнечного элемента показана на рисунке 1. Для уменьшения потерь при отражении на фронтальной поверхности ZNO практикуется также антиотбивающее покрытие  $\text{MgF}_2$  толщиной  $\sim 100$  нм.

И з л у ч е н и е

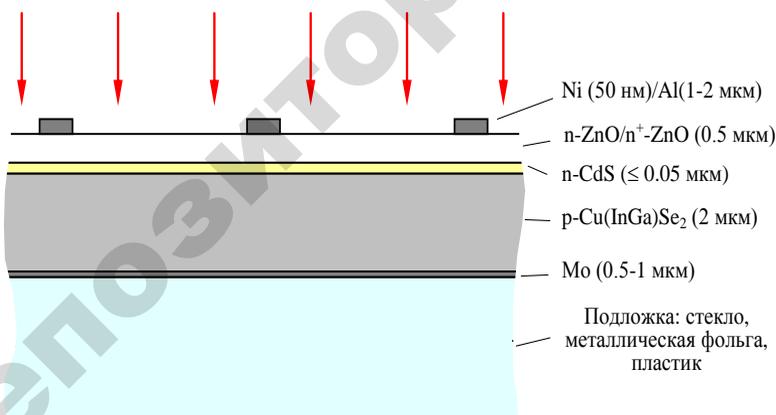


Рис.1. Схематический поперечный разрез типичного солнечного элемента  $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$

Рассматривается наногетеросистема  $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$  с напряженными упорядоченными квантовыми точками  $\text{InAs}$ , которые не имеют четко выраженной кристаллографической огранки, в частности, квантовые точки, форма которых приближенно отображает сферическую симметрию.

Сферическая квантовая точка представляется упругим дилатационным микровключением в виде упругой сферы заключенным в сферическую полость в матрице [2]. Результат одновременного действия деформаций контактирующих наноматериалов описывается изменением объема через параметр  $f_v$ :

$$\text{- сферическая КТ: } \Delta V_s(R_0, R_1) = f_s(R_0, R_1) \cdot 4\pi R_0^3. \quad (1)$$

Параметр несогласования является функцией размеров КТ:

$$f_s(R_0, R_1) = f_1^s(R_0, R_1) + f_2^s(R_0, R_1), \quad (2)$$

где  $f_1^s$ ,  $f_2^s$  – относительные изменения параметров решеток материалов КТ и окружающей матрицы, соответственно, предопределенные отличием радиальной  $a_r^{(i)}$  и угловых  $a_\theta^{(i)}$ ,  $a_\phi^{(i)}$ , составляющих (угловой  $a_\phi^{(i)}$  и аксиальной  $a_z^{(i)}$  составляющих) параметра решетки, как в материале КТ, так и в окружающей матрицы, относительно их значений в объемных материалах.

### Заключение

Разработана математическая модель наногетеросистемы  $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$  с напряженными квантовыми точками  $\text{InAs}$  сферической симметрий, которая позволила учесть влияния деформационных эффектов.

### Список использованной литературы

1. Bimberg D. Quantum Dot Heterostructures / D. Bimberg, M. Grundmann, N.N. Ledentsov. – London: John Wiley & Sons, 1999.
2. Данькив О.О., Пелешак Р.М. Спектр электронов и дырок в квантовой точке  $\text{InAs}$ , перенормированный деформацией гетеросистемы  $\text{InAs/GaAs}$  / О.О. Данькив, Р.М. Пелешак // Письма в ЖТФ. – 2005. – Т.31, № 16. – С.33-41.