

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОПЕРЕХОДА InP - GaAs

Бесполудин Владислав Валерьевич

студент Института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета, РФ, г. Таганрог

В данной работе показано моделирование солнечного элемента на основе гетероперехода InP - GaAs. Моделирование проводилось с использованием программы PC1D. В этой статье мы предлагаем использования сочетания двух материалов GaAs n - типа и InP p - типа, с шириной запрещенной зоны 1,42 эВ и 1,35 эВ соответственно. В данной модели солнечного элемента GaAs используется в качестве верхнего слоя, а слой InP в качестве нижнего слоя [4]. Как арсенид галлия как и фосфид индия являются прямозонными полупроводниками, относящийся к классу соединений $A^{III}B^V$ [4]. Наличие у фосфида индия «прямой» запрещенной зоны шириной 1,34 эВ позволяет использовать его для создания фотоэлектрических преобразователей. Вследствие высокого оптического коэффициента поглощения свет проникает в полупроводник на малую глубину, благодаря чему не требуются пленки с очень большой диффузионной длиной неосновных носителей заряда [4].

Монокристаллы фосфида индия имеют наибольшие перспективы широкого промышленного производства и применения после арсенида галлия [5]. Параметры кристаллических решеток для InP и GaAs 5,653 Å и 5.87 Å соответственно. Таким образом, степень несоответствия параметров решеток фосфида индия арсенида галлия очень мала. Кроме того, GaAs и InP согласуются между собой по параметрам энергии, и благодаря этому данные полупроводники образуют идеальный гетеропереход [4;5]. Цель данного исследования заключается в оптимизации конструкции солнечного элемента на основе гетероперехода InP - GaAs для увеличения КПД устройства посредством изменения толщины слоя GaAs, уровня легирования GaAs и применением текстур на фронтальной поверхности при помощи программы PC1D. В процессе моделирования мы используем слой InP p - типа толщиной 100 мкм, и слой GaAs n - типа, толщина последнего будет варьироваться от 4 мкм до 0.2 мкм для достижения наибольшего КПД устройства [5;2]. Площадь всего солнечного элемента будет фиксирована и составит 110 см². На Рисунке 1 представлена структура однокаскадного солнечного элемента на основе гетероперехода InP -GaAs.

Моделирование проводилось на основе стандартной «диффузионно-дрейфовой» одномерной модели. В этой модели совместно решается система одномерных уравнений с использованием дискретной сетки. Система представлена уравнением Пуассона и двумя уравнениями переноса заряда в случае электронов и дырок.



Рисунок 1. Структура солнечного элемента на основе гетероперехода InP -GaAs

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0}{q} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = p(x, t) + n(x, t) + N_d - N_A \\ -\frac{1}{q} \cdot \frac{dj_n(x, t)}{\partial x} = G_n(x, t) - R_n(x, t) \\ \frac{1}{q} \cdot \frac{\partial j_p(x, t)}{\partial x} = G_p(x, t) - R_p(x, t) \end{array} \right.$$

где: диэлектрическая проницаемость моделируемого слоя, ε_0 - диэлектрическая постоянная, q - заряд электрона, $p(x, t)$ и $n(x, t)$ - концентрация дырок и электронов в моделируемом слое, φ - электрический потенциал, N_D и N_A - концентрации дырок и акцепторов в моделируемом слое, j_n и j_p - плотность электронного и дырочного токов соответственно, $G_n(x, t)$ и $G_p(x, t)$ - скорости генерации электронов и дырок, $R_n(x, t)$ и $R_p(x, t)$ - скорости рекомбинации электронов и дырок [2]. В результате моделирования толщина слоя GaAs была изменена с 4 мкм до 0.2 мкм при этом КПД устройства вырос с 25,2 % до 25,98 %. На рисунке 2 показано

ВАХ устройства при различной толщине слоя GaAs.

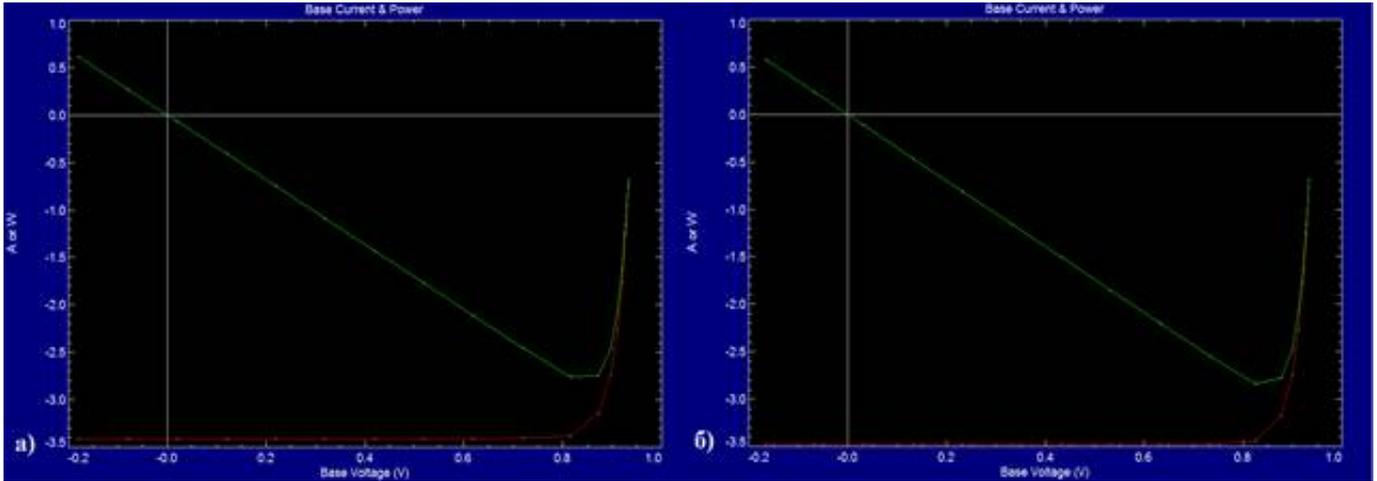


Рисунок 2. Результаты ВАХ после изменения толщины слоя GaAs а) 4 мкм б) 0.2 мкм

Влияние степень легирования отражено на рисунке рисунок 3. Так увеличение степени легирования слоя GaAs с 10^{17} до 10^{20} приводит к значительному уменьшению КПД с 25,98% до 13, 43%. Из данного результата можно сделать вывод об оптимальной концентрации в 10^{17} для слоя GaAs.

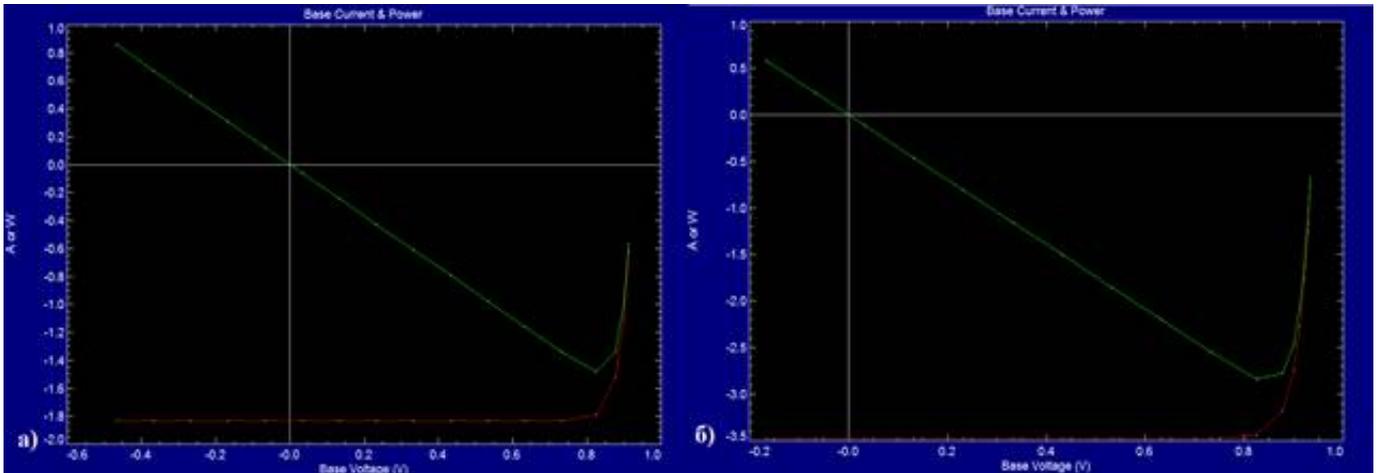


Рисунок 3. Влияние увеличения уровня легирования слоя GaAs с 10^{17} до 10^{20} а) Степень легирования GaAs 10^{20} б) Степень легирования GaAs с 10^{17}

Использование текстурирования позволяет повысить КПД с 25,98% до 26,3% за счет снижения оптических потерь и лучшей передачи фотонов в глубину материала, однако из литературных данных можно увидеть, что, доля потерь, связанных с отражением при использовании текстурирования составляют 3% от всех видов потерь при преобразовании солнечной энергии в электрическую [5]. В данной работе мы показали, что сочетание таких материалы как GaAs и InP, а также оптимизация параметров позволяет достичь высокий КПД 26,3 % для однокаскадного солнечного элемента.

Полупроводниковые соединения $A^{III}B^V$ такие, как GaAs, InP, GaAlAs, GaInAsP, InAs, InSb,

обладают почти идеальными характеристиками для фотовольтаического преобразования солнечного света. Единственным ограничением для их широкомасштабного применения в качестве поглощающих материалов в солнечных элементах является высокая себестоимость [1].

Список литературы:

1. Гременок В.Ф., Тиванов М.С., Залесский В.Б. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов. Минск. БГУ. 2007. 222 с.
2. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: Теория и эксперимент/ Пер. с англ. под ред. М. М. Колтуна. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 280 с.: ил.
3. Чеботарев С.Н., Пащенко А.С., Лунина М.Л. Моделирование зависимостей функциональных характеристик кремниевых солнечных элементов, полученных методом ионно-лучевого осаждения, от толщины и уровня легирования фронтального слоя. ВЕСТНИК ЮЖНОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН Том 7, № 4, 2011, С. 25-30.
4. Чопра К., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы: Пер. с англ. с сокращениями. – М.: Мир, 1986. – 435 с.
5. Dennai B., Slimane H. Ben, Helmaoui A. and Tandjaoui M. N.. Modeling of tandem solar cell InP / Ge using AMPS-1D. [Electronic source] http://ac.els-cdn.com/S1876610213011132/1-s2.0-S1876610213011132-main.pdf?_tid=8f42948c-8199-11e6-83aa-00000aacb35e&acdnat=1474640901_5aee0525976e047_a5f74f5b9ec0dd8c3 (date of the application 17.08.16).