

Агеев Олег Алексеевич

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: ageev@fep.tti.sfedu.ru.

347928, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2.

Тел.: 88634371611.

Кафедра технологии микро- и нанoeлектронной аппаратуры; заведующий кафедрой; д.т.н; профессор.

Климин Виктор Сергеевич

E-mail: KliminV.S@mail.ru.

Кафедра технологии микро- и нанoeлектронной аппаратуры; аспирант.

Ильин Олег Игоревич

E-mail: ru.saint@gmail.com.

Кафедра технологии микро- и нанoeлектронной аппаратуры; студент.

Федотов Александр Александрович

E-mail: alexandr.a.fedotov@gmail.com.

Кафедра технологии микро- и нанoeлектронной аппаратуры; доцент.

Ageev Oleg Alexeevich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: ageev@fep.tti.sfedu.ru.

2, Shevchenko Street, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371611.

The Department of Micro- and Nanoelectronics; Head the Department; Dr. of Eng. Sc., Professor.

Klimin Victor Sergeevich

E-mail: KliminV.S@mail.ru.

The Department of Micro- and Nanoelectronics; Postgraduate Student.

Ilin Oleg Igorevich

E-mail: ru.saint@gmail.com.

The Department of Micro- and Nanoelectronics; Student.

Fedotov Alexandr Alexandrovich

E-mail: alexandr.a.fedotov@gmail.com.

The Department of Micro- and Nanoelectronics; Associate Professor.

УДК 621.382.2

В.В. Кушнир

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ПЛЕНОЧНОГО СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

Рассматриваются вопросы влияния электрофизических и технологических свойств полупроводниковых материалов на характеристики преобразователей солнечной энергии. Определены оптимальные значения толщин рабочих слоев полупроводниковых солнечных элементов на основе гетероструктуры Si/ZnO. Проведено моделирование вольт-амперных характеристик для рассматриваемой конструкции солнечного элемента, с помощью которого были определены оптимальные толщины слоев, при которых значение тока короткого замыкания и, следовательно, коэффициента полезного действия элемента было максимальным.

Солнечные элементы; тонкие пленки; оксид цинка; коэффициент полезного действия.

V.V. Kushnir

THE OPTIMIZATION OF FILM SOLAR CELL DESIGN

The influence of electrophysical and technological properties of semiconductor materials on solar cells are investigated. The optimal values of working layers' thickness of semiconductor solar cells on the basis of poly-Si/ZnO heterostructure were calculated. The investigated solar cell's current-voltage characteristics were simulated, thus the optimal thicknesses of layers which showed the maximum values of short-circuit current and consequently, solar cell's efficiency, were determined.

Solar cells; thin films; zinc oxide; efficiency.

Тонкопленочные полупроводниковые солнечные элементы (СЭ) являются перспективным направлением исследований в энергосберегающих технологиях. Ожидается, что к 2020 г. эти технологии станут определяющими в области солнечной энергетики [1].

Основными полупроводниковыми материалами, применяющимися в технологии изготовления преобразователей солнечной энергии (ПСЭ), являются кремний (моно-, поли-, мультикристаллический и аморфный), арсенид галлия, теллурид кадмия и некоторые другие [1–3]. Стоит отметить, что кристаллические и аморфные материалы применяются с целью удешевления готовой продукции в связи со сравнительно низкой ценой их изготовления.

Основным фактором для выбора материала рабочих слоев ПСЭ является ширина запрещенной зоны E_g . Однако данный критерий, по мнению многих исследователей, имеет достаточно противоречивый характер – с одной стороны, уменьшение E_g позволяет полезно использовать большую часть спектра излучения, в связи с чем повышается коэффициент полезного действия (КПД) элемента, однако, вместе с тем, уменьшение приводит к снижению напряжения холостого хода, от которого также зависит КПД элемента [4]. Для достижения оптимальных значений КПД исследуют характеристики элементов на основе различных полупроводниковых материалов.

Основными характеристиками ПСЭ являются вольт-амперная характеристика (ВАХ) и КПД. На обе вышеперечисленные характеристики оказывают влияние различные технологические и электрофизические параметры, такие как площадь поверхности, тип структуры (одно- или многопереходной элемент), степень легирования полупроводниковых слоев, степень их дефектности и толщина. Все эти параметры необходимо учитывать при проектировании.

Целью работы является исследование влияния толщины слоев ПСЭ на его характеристики. Толщина слоев структуры, образующей ПСЭ, в первую очередь определяет количество фотонов, поглощаемых полупроводниковым материалом, в пределах спектра излучения, падающего на поверхность элемента. Согласно литературным данным [3, 4], основная доля фотонов поглощается в приповерхностном слое полупроводникового материала толщиной около 200 нм. В пределах указанной толщины поглощаются фотоны на длинах волн от ультрафиолетового до верхней границы видимого спектра.

В инфракрасном спектре излучения фотоны поглощаются на большей глубине, на порядки превосходящей указанное выше значение. В настоящее время для увеличения эффективности поглощения солнечным элементом излучения на различных длинах волн применяются гетероструктуры с оптимальным соотношением ширины запрещенных зон каждого материала и многопереходные солнечные элементы, различные слои которых служат для поглощения фотонов на разных диапа-

зонах длин волн. Однако при массовом изготовлении таких элементов возникает проблема поддержания воспроизводимости, а также значительно повышается стоимость готовых изделий из-за возрастающих требований к качеству технологических операций [3].

В работе рассматривается однопереходной элемент на основе гетероструктуры «poly-Si/ZnO». Оксид цинка представляется достаточно перспективным материалом для применения в области фотовольтаики, поскольку обладает рядом преимуществ по сравнению с другими материалами. К числу этих преимуществ можно отнести ширину запрещенной зоны и высокую прозрачность в видимой области длин волн [5].

Для расчета ВАХ и КПД элемента были использованы стандартные параметры солнечного излучения [3, 4].

Моделирование ВАХ преобразователя солнечной энергии, проведенное в работе, позволило определить оптимальные значения толщин слоев структуры ПСЭ исходя из двух взаимно-обратных физических процессов, происходящих при генерации светом носителей заряда. При увеличении толщины p -слоя в нем поглощается больше фотонов в инфракрасной области спектра, тем самым повышается количество сгенерированных неосновных носителей заряда. С другой стороны, увеличение его толщины приводит к возрастанию скорости рекомбинации носителей, поскольку диффузионная длина практически не изменяется. При проведении моделирования учитывалось влияние шунтирующих сопротивлений.

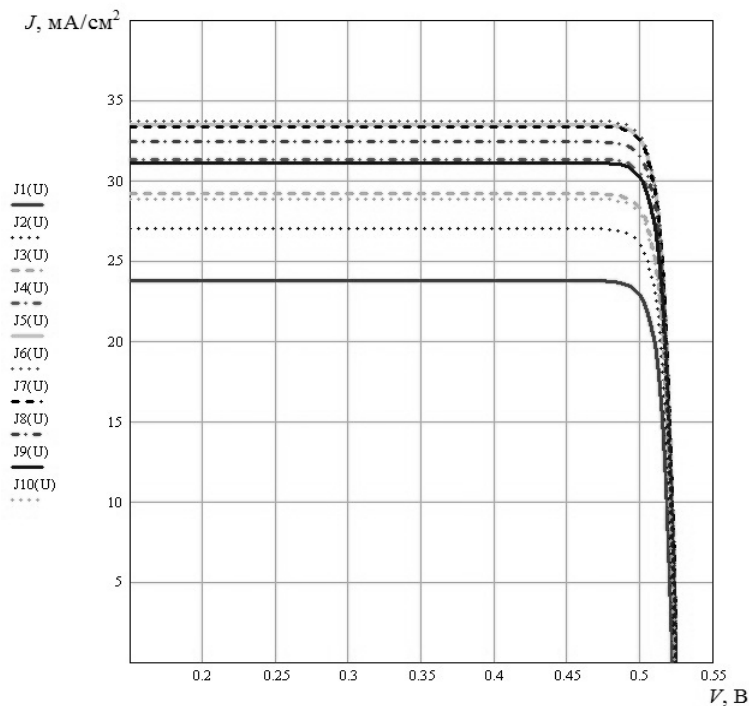


Рис. 1. Семейство ВАХ солнечного элемента

На рис. 1 показано семейство ВАХ солнечного элемента при различных значениях толщин полупроводниковых слоев с десятью наиболее высокими значениями тока короткого замыкания. Шаг изменения толщины – 0,05 мкм. Концен-

трация примеси для n -слоя (ZnO) составляла $5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, для p -слоя (poly-Si) – $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Наиболее высокие значения КПД достигнуты при значениях толщины n -слоя (ZnO) – 0,3–0,35 мкм, толщины p -слоя (poly-Si) – 0,55–0,7 мкм.

Для рассматриваемой структуры ПСЭ эти значения можно считать оптимальными. Модель может быть применена и к другим однопериодным структурам ПСЭ различного типа, что позволит оптимизировать их конструкцию для улучшения выходных характеристик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мейтин М. Фотовольтаика: материалы, технологии, перспективы // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2000. – № 6. – С. 40-46.
2. Немчинова Н.В., Клец В.Э., Непомнящих А.И. Кремний в XXI веке // Фундаментальные исследования. – 2006. – № 12. – С. 14-16.
3. Luque A., Hegedus S. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. – John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 2003. – P. 100-117.
4. Гременок В.Ф. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов / В.Ф. Гременок, М.С. Тиванов, В.Б. Залесский. – Минск: Изд. центр БГУ, 2007. – С. 60.
5. Tung-Te Chu, Huilin Jiang, Liang-Wen Ji, Wei-Shun Shih, Jingchang Zhong, Ming-Jie Zhuang. Grain size effect of nanocrystalline ZnO on characteristics of dye-sensitized solar cells // Microelectronics Journal. – 2009. – № 40. – P. 50-52.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н. А.М. Кармоков.

Кушнир Вячеслав Викторович

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: v.v.kushnir@gmail.com.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371611.

Кафедра технологии микро- и нанoeлектронной аппаратуры; аспирант.

Kushnir Viacheslav Viktorovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: v.v.kushnir@gmail.com.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371611.

The Department of Micro- and Nanoelectronics; Postgraduate Student.

УДК 621.78:544.3

С.П. Авдеев, С.Н. Гаранжа, Е.В. Луговой, С.Н. Петров

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОБРАЗОВАНИЯ МЕТАБОРАТА ЛАНТАНА В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ СТЕКОЛ

Проведен термодинамический анализ формирования в стекле СТК119 метабората лантана при электронно-лучевой обработке с использованием молекулярного квантово-химического расчета потенциала Гиббса в интервале рабочих температур ЭЛО. Результаты показывают, что образование метабората лантана идет в определенном диапазоне температур. Верхняя граница (1600 К) определяется процессом распада молекулы $\text{La}(\text{BO}_2)_3$, а нижняя (800 К) подвижностью молекулы окиси бора и окиси лантана.

Электронно-лучевая обработка (ЭЛО); метаборат лантана ($\text{La}(\text{BO}_2)_3$); боролантановое стекло.