

УДК 621.354

## ЭФФЕКТ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

<sup>1</sup>Комилов Аслиддин Гуломович - д.ф.т.н., с.н.с., E-mail: [asliddin@rambler.ru](mailto:asliddin@rambler.ru)

<sup>2</sup>Насруллаев Юсуф Зокирович – ст. преподаватель. E-mail: [yusufnasrullayev3108@gmail.com](mailto:yusufnasrullayev3108@gmail.com)

<sup>1</sup>Физико-технический институт Академии Наук Республики Узбекистан. г.Ташкент, Узбекистан.

<sup>2</sup>Каршинский инженерно-экономический институт. г.Карши, Узбекистан.

*Аннотация.* В статье представлены результаты экспериментов по влиянию солнечного света на параметры солнечных элементов со структурой  $ZnO:Al/i-ZnO/CdS/CuIn1-xGa_x(S,Se)_2/Mo$ . Анализ экспериментальных исследований показал, что эффект поглощения света противоположен эффекту обратного напряжения и может почти полностью перекрыть его во времени. Однако солнечным элементам с нормальным буферным слоем требуется больше времени для восстановления после обратного напряжения, чем солнечным элементам с тонким буферным слоем.

**Ключевые слова:** солнечные элементы, медь-селен-индий-галлий (CIGS), поглощение света, концентрация носителей, коэффициент полезной работы (ФИК), вольтамперная характеристика (ВАХ).

*Light absorption on the parameters of solar cells with the ZnO structure: Al/i-ZnO / CdS/CuIn1-xGa<sub>x</sub> (S, Se) 2 / Mo after reverse bias. Analysis of the experimental data showed that the effect of light absorption is opposite to the effect of reverse bias and can almost completely compensate for it over time. At the same time, the recovery of the open circuit voltage in a solar cell with a normal buffer layer thickness requires more time than in a solar cell with a thin buffer layer.*

**Keywords:** Solar cells, Copper-Selenium Indium-Gallium CIGS, light absorption, carrier concentration, efficiency, Useful work coefficient (FIK), Volt-ampere characteristic (VAX).

Тонкопленочные солнечные элементы на основе CIGS проявляют различные мета стабильности в своих электрических характеристиках. Несмотря на важность для изменения КПД элементов, происхождение метастабильностей в CIGS пока недостаточно изучено.

Мета стабильности, вызванные освещением и напряжением, были проблемой для солнечных элементов на основе  $CuInSe_2$  с самого начала [1]. На сегодняшний день в гетеропереходах  $ZnO/CdS/Cu(In,Ga)Se_2$  твердо установлены, по крайней мере, три типа мета стабильностей [2]:

Тип I: непрерывное увеличение напряжения холостого хода во время освещения и одновременное увеличение емкости перехода. Оба явления удовлетворительно объясняются следствием постоянной фотопроводимости в поглощающем слое  $Cu(In,Ga)Se_2$  [3], т. е. постоянного захвата фотогенерированных электронов в ловушках, которые проявляют большие релаксации решетки, такие как известный DX-центр в AlGaAs. Этот тип эффекта влияет исключительно на Voc и может варьироваться от нескольких мВ до 50 мВ, особенно если образец хранился в темноте при повышенных температурах.

Тип II: уменьшение коэффициента заполнения при обратном смещении. В крайних случаях этот тип мета стабильности приводит к гистерезису ВАХ, например, фактор заполнения зависит от того, были ли характеристики измерены с понижением или с повышением напряжения. Обратного смещения также приводит к метастабильному увеличению емкости перехода и значительным изменениям профилей пространственного заряда, определяемым из измерений емкости в зависимости от напряжения [Ошибка! Закладка не определена.]. Тип II является общей особенностью тонких пленок  $Cu(In,Ga)Se_2$ , которую можно наблюдать даже в высококачественных элементах с КПД выше 16%.

Тип III: увеличение коэффициента заполнения при освещении светом, который поглощается в буферном слое или на самой поверхности поглощающего слоя  $Cu(In,Ga)Se_2$ ,

т.е. синей части солнечного спектр. Таким образом, мета стабильность типа III в определенной степени уравнивает последствия обратного смещения, то есть повторно увеличивает коэффициент заполнения после его ухудшения в результате применения обратного смещения. Однако эффект синего освещения не является дополнением к эффекту обратного смещения, поскольку механизмы имеют совершенно разные постоянные времени [Ошибка! Залкадка не определена].

В данной статье приведены результаты экспериментов исследования влияния эффекта поглощения света (1-типа мета стабильности) на электрофизические характеристики солнечных элементов со структурой ZnO:Al/i-ZnO/CdS/CuIn<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>(S,Se)<sub>2</sub>/Mo после обратного смещения (2-типа мета стабильности).

Ввиду множественности данных были введены следующие сокращения:

L- light, измерения или воздействие проводится при освещении;

D- dark, измерения или воздействие проводится в темноте;

T- thin, СЭ с тонким слоем CdS;

N- norm, СЭ с нормальной толщиной слоя CdS;

C-непрерывный режим напряжения: напряжение подается непрерывно;

pre- предварительные данные, полученные до проведения какой-либо обработки (первоначальное измерение);

aft- данные, полученные после некоторой обработки (измерение после процедуры);

В естественных условиях эксплуатации, если на затененные солнечные элементы снова падает свет, они продолжают преобразовывать свет в электричества. Измерения напряжения холостого хода во время освещения после воздействия обратным смещением (рис.1) показывает его восстановление. Хотя восстановление СЭ с нормальной толщиной буферного слоя в первые минуты происходит очень интенсивно, видно, что для полного восстановления ему нужно намного больше времени чем для СЭ с маленькой толщиной буферного слоя. Незначительное увеличение напряжения холостого хода также наблюдается в СЭ, воздействованных обратным смещением в темноте.

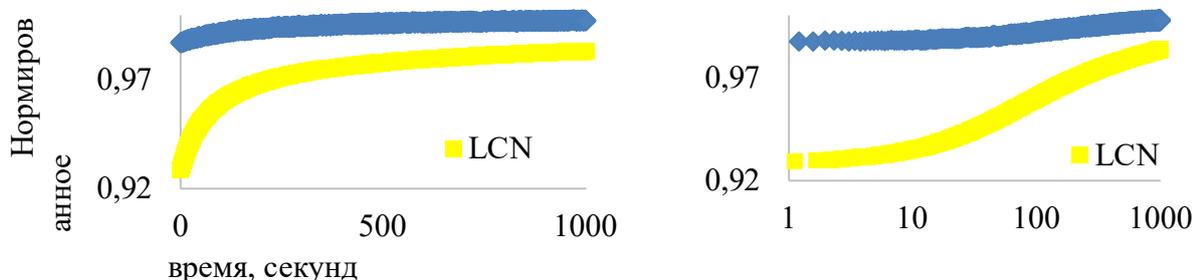


Рис.1. Динамика изменения напряжения холостого хода при воздействии освещения в линейной (слева) и логарифмической (справа) шкале времени

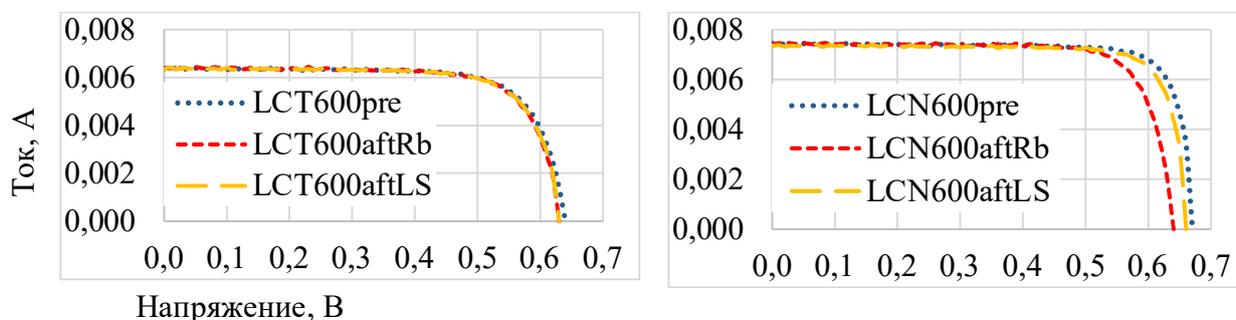


Рис.2. Кривые ВАХ СЭ CIGS до воздействия обратного смещения в 600 секунд и после обработки освещением

Кривые ВАХ представленные на рис.2 показывают, что легкое замачивание почти полностью компенсирует эффект обратного смещения. Зная, что в СЭ с тонким слоем CdS эффект обратного смещения очень мал, и потому что не заметны никаких существенных

изменений в ВАХ СЭ с тонким слоем CdS после освещения, можно предположить, что легкое замачивание не имело никакого влияния на ВАХ СЭ элементов, кроме компенсации эффекта обратного смещения.

Изменение концентрации носителей после воздействия обратного смещения и после последующей обработки освещением на рис.3-4 также однозначно свидетельствует о том, что легкое замачивание компенсирует эффект обратного смещения.

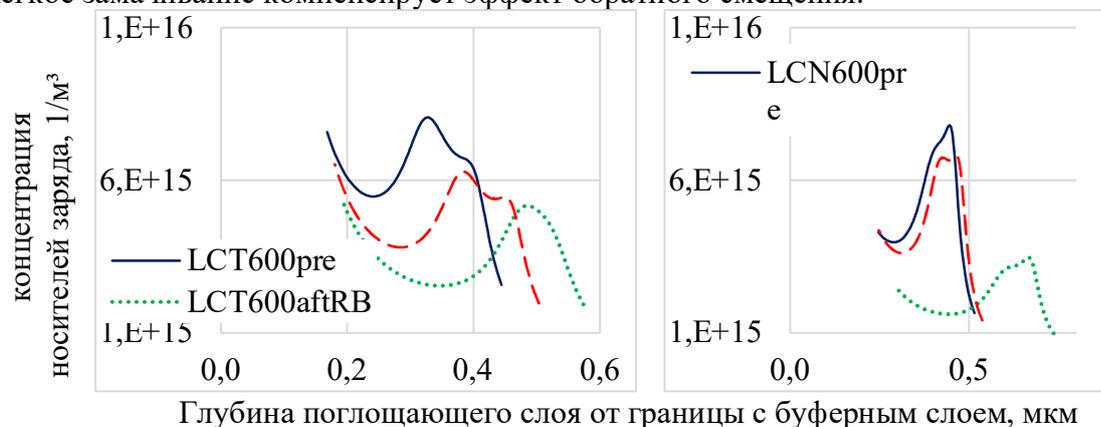


Рис.3. Кривые Na-x СЭ CIGS до воздействия обратного смещения в 600 секунд при освещении и после обработки освещением

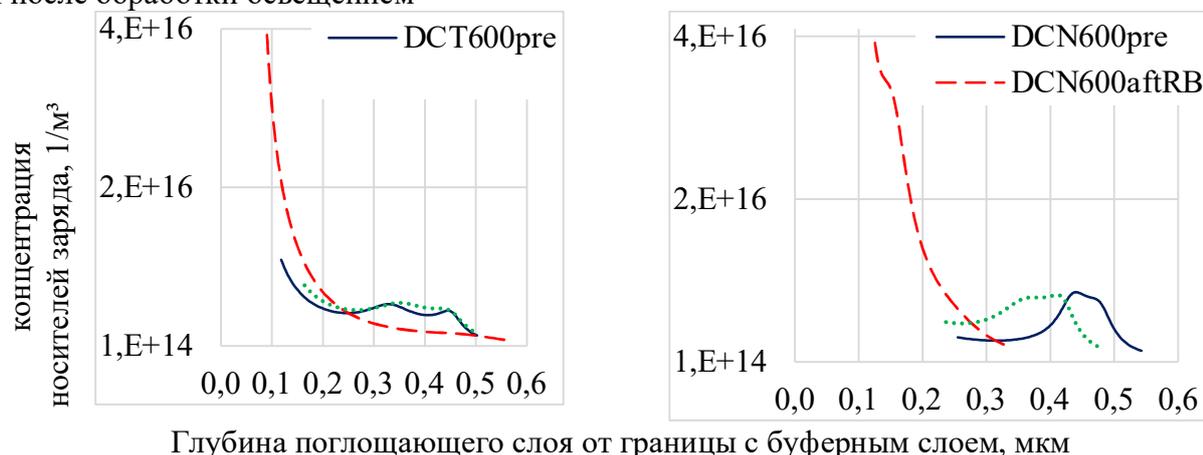


Рис.4. Кривые Na-x СЭ CIGS до воздействия обратного смещения в 600 секунд в темноте и после обработки освещением.

**Заключение.** Анализ данных экспериментов показали, что эффект поглощения света противоположен эффекту обратного смещения и может со временем почти полностью его компенсировать. При этом, восстановление напряжения холостого хода в СЭ с нормальной толщиной буферного слоя требует больше времени чем в СЭ с тонким буферным слоем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. M.N. Ruberto, A. Rothwarf, Time-dependent open-circuit voltage in CuInSe<sub>2</sub>/CdS solar cells: Theory and experiment. J. Appl. Phys. 61 1987 4662.
2. Zabierowski, P., Rau, U., & Igalson, M. (2001). Classification of metastability's in the electrical characteristics of ZnO/CdS/Cu (In,Ga)Se<sub>2</sub> solar cells. Thin Solid Films, 387(1-2), 147–150. doi:10.1016/s0040-6090(00)01850-2
3. Th. Meyer, M. Schmidt, F. Engelhardt, J. Parisi, U. Rau, A model for the open circuit voltage relaxation in Cu (In,Ga)Se<sub>2</sub> heterojunction solar cells. Eur. Phys. J. AP 8 (1) 43-52 (1999), DOI: 10.1051/epjap:1999228