

УДК 621.382

## ВЫЯВЛЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДЕФЕКТОВ В СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЯХ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ

К. ф.-м. н. В. М. Попов<sup>1</sup>, А. С. Клименко<sup>1</sup>, А. П. Поканевич<sup>1</sup>,  
Л. И. Самотовка<sup>1</sup>, А. И. Панин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт микроприборов  
НТК «Институт монокристаллов» НАН Украины, <sup>2</sup>ПАО «Квазар»  
Украина, г. Киев

microic@voliacable.com

*Исследованы электрически активные дефекты на поверхности пластин солнечных батарей, характеризующие локально повышенной проводимостью  $p$ - $n$ -перехода и световой эмиссией в видимой области спектра. Изучены электрические и физико-химические свойства дефектов. Показана возможность контроля качества солнечных батарей в процессе изготовления приборов по анализу концентрации светоизлучающих дефектов и оценке их интегральной световой эмиссии.*

*Ключевые слова: солнечные батареи, электрически активные дефекты, кремний.*

Повышение эффективности фотоэлектрического преобразования в солнечных батареях (СБ) является одной из наиболее актуальных задач в области энергосберегающих технологий. Наличие электрически активных дефектов, оказывающих шунтирующее влияние на  $p$ - $n$ -переходы СБ, сопровождается ухудшением эксплуатационных характеристик приборов, в частности, существенным уменьшением их КПД при работе в условиях пониженной освещенности. Поэтому разработка методов выявления электрически активных дефектов и выяснение их природы является важной задачей в технологии изготовления СБ.

В работе [1] были исследованы электрически активные дефекты на поверхности пластин серийных солнечных батарей, характеризующие локально повышенной проводимостью и световой эмиссией в видимой области спектра при обратных напряжениях на  $p$ - $n$ -переходе. Было установлено, что в области указанных электрически активных электролюминесцентных дефектов (ЭАЭЛД) на поверхности кремния имеется высокая концентрация алюминия, приводящая к созданию  $p$ -типа проводимости и формированию локальных  $n^+$ - $p^+$ -переходов. Однако роль других примесей и структурных дефектов в полупроводнике в формировании ЭАЭЛД изучена не была. Отсутствовала информация о влиянии технологических факторов на образование этих дефектов. Также актуальной задачей является развитие эффективных методов контроля ЭАЭЛД в технологии производства СБ.

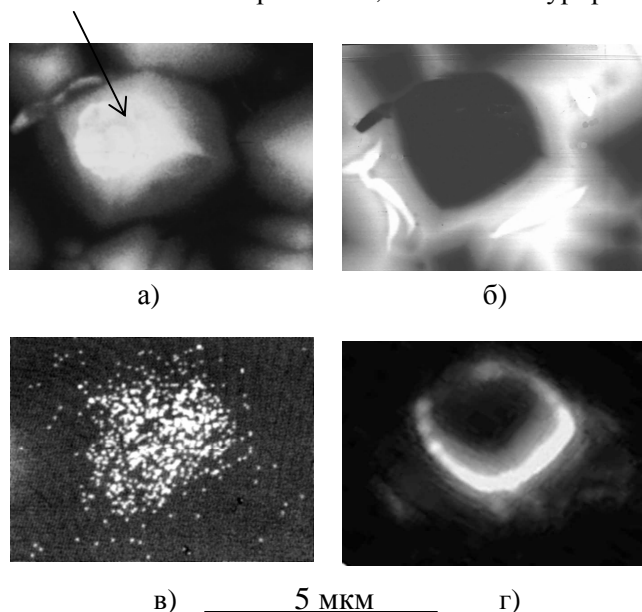
Целью данной работы являлось углубленное исследование локальных свойств ЭАЭЛД при различных технологиях изготовления СБ и разработка экспрессного метода их выявления.

Для локализации и последующего исследования свойств ЭАЭЛД применялись методы электрических измерений, оптической микроскопии высокого разрешения (ОМВР), жидкокристаллической термографии, сравнительных измерений распределения световой эмиссии по поверхности пластин СБ, дифференциальной спектроскопии электрического тока, растровой электронной микроскопии (РЭМ), включая режим токов, индуцированных электронным лучом (ТИЭЛ), локального рентгено-спектрального микроанализа (ЛРСМА) и вторично-ионной масс-спектроскопии (ВИМС).

На основании комплексных исследований определено, что виды ЭАЭЛД достаточно многообразны. Так, присутствие алюминия не обязательно сопровождается формированием ЭАЭЛД, шунтирующего  $p$ - $n$ -переход. Во многих случаях помимо наличия примеси алюминия для появления дефекта необходимо одновременное присутствие структурной неоднородности на поверхности кремния.

Характерный пример такого дефекта представлен на рисунке. Кроме алюминия, в дефектах были обнаружены примеси железа, никеля и хрома. Основным источником появления неконтролируемых примесей на активной поверхности СБ являются материалы контактов.

Установлено, что образование ЭАЭЛД не зависит от способа формирования  $p-n$ -перехода (диффузия, имплантация), а также от типа антиотражающего покрытия. Наибольшая концентрация ЭАЭЛД зарегистрирована на периферии пластин СБ по линиям разделения  $n^+$ -областей. Причем ЭАЭЛД в основном располагались вдоль линий лазерного скрайбирования или плазмохимического травления, в области которых концентрация структурных дефектов в кремнии повышена. При этом ЭАЭЛД наблюдались на пластинах как с полированной, так и с текстурированной поверхностью.



Изображение структурно-примесного ЭАЭЛД в СБ, полученное с помощью РЭМ в режиме вторичных электронов (а) и в режиме ТИЭЛ (б), характеристическое излучение алюминия, полученное с помощью ЛРСМА (в) и электролюминесценция по периферии дефекта, обнаруженная с помощью ОМВР (г)

Следовательно, для снижения концентрации ЭАЭЛД в технологии производства СБ следует применять процессы, при которых внесение неконтролируемых примесей и образование структурных несовершенств в полупроводнике минимизировано. В первую очередь это относится к чистоте операций формирования контактов и оптимизации процессов разделения  $n^+$ -областей на краях пластин.

В целях экспрессного контроля качества СБ опробованы и рекомендованы к применению методы определения средней концентрации ЭАЭЛД на всей площади пластин и оценки генерируемого ими интегрального светового потока.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Попов В.М., Клименко А.С., Поканевич А.П., Шустов Ю.М., Гаврилюк И.И., Панин А.И. Исследование локальных свойств электрически активных дефектов в солнечных батареях на основе кремния // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.– 2010.– № 4.– С. 43–48.

V. M. Popov, A. S. Klimenko, A. P. Pokanevich, L. I. Samotovka, A. I. Panin

#### Detection and study of electrically active defects and their properties in silicon-based solar cells.

Electrically active defects on the surface of solar wafers, characterized by locally enhanced conductivity of the  $p-n$  junction and the light emission in the visible region of the spectrum have been investigated. Electrical, physical and chemical properties of the defects were studied. The possibility of solar cells quality control by means of analysis of the concentration of the light-emitting defects and evaluation of their integrated light emission during the production of devices was shown.

Keywords: solar cells, electrically active defects, silicon.