

ПРИКЛАД ОФОРМЛЕНИЯ СТАТТИ

УДК 621.383.4

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ ОСВЕЩЕННОСТИ НА ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ CdS/CdTe

Н. В. Дейнеко

Национальный университет гражданской защиты Украины
ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, Украина, 61023.
E-mail: natalyadeyneko@nuczu.edu.ua

Приведены результаты исследований влияния уровня освещенности на выходные параметры солнечных элементов на основе CdS/CdTe с тыльными контактами, изготовленными согласно различным вариантам конструктивно-технологического решения. На основании полученных результатов выходных параметров и световых диодных характеристик обоснован выбор оптимального конструктивно-технологического решения тыльных контактов к солнечным элементам на основе CdS/CdTe. Показано, что использование нанослоя Si позволяет получить деградационно-стойкие солнечные элементы, которые демонстрируют максимальную эффективность при уровне освещенности характерной для Харьковской области.

Ключевые слова: пленочный солнечный элемент, гетероструктура, теллурид кадмия, выходные параметры, тыльный контакт

ВПЛИВ РІВНЯ ОСВІТЛЕННЯ НА ВИХІДНІ ПАРАМЕТРИ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ОСНОВІ CdS / CdTe

Н. В. Дейнеко

Національний університет цивільного захисту України
вул. Чернишевська, 94, г. Харків, Україна, 61023.
E-mail: natalyadeyneko@nuczu.edu.ua

Наведено результати досліджень впливу рівня освітленості на вихідні параметри сонячних елементів на основі CdS / CdTe з тильними контактами, виготовленими згідно з різними варіантами конструктивно-технологічного рішення. На підставі отриманих результатів вихідних параметрів і світлових діодних характеристик обґрунтовано вибір оптимального конструктивно-технологічного рішення тильних контактів до сонячних елементів на основі CdS / CdTe. Показано, що використання наночастин Si дозволяє отримати деградаційно-стійкі сонячні елементи, які демонструють максимальну ефективність при рівні освітленості що характерна для Харківської області.

Ключові слова: плівковий сонячний елемент, гетероструктура, телурид кадмію, вихідні параметри, тильний контакт

Постановка проблемы. Пленочные солнечные элементы (далее – СЭ) на основе теллурида кадмия являются перспективными для широкомасштабного промышленного производства. Однако доля выпускаемых СЭ на основе CdTe не превышает 26% . производятся в промышленных масштабах всего несколькими зарубежными компаниями. Ограничение промышленного выпуска таких СЭ, несмотря на высокую технологичность методов получения пленок сульфида и теллурида кадмия, обусловлено физико-технологическими проблемами формирования тыльных контактов к базовым слоям теллурида кадмия p-типа электропроводности.

Анализ последних исследований и публикаций. Одним из современных направлений повышения эффективности пленочных СЭ на основе CdS / CdTe является увеличение фактора заполнения световой ВАХ путем снижения последовательного сопротивления СЭ при оптимизации конструктивно-

технологического решения тыльных контактов [1–2]. Использование омического контакта к базовым слоям p-CdTe в условиях промышленного производства не является экономичным, поскольку только платина имеет необходимую для формирования омического перехода работу выхода электронов [3]. Поэтому к слоям p-CdTe традиционно формируют туннельные контакты, используя при этом тонкие пленки, содержащие медь или халькогенид меди [4]. Однако диффузия меди в базовый слой приводит к деградации выходных параметров пленочных СЭ на основе CdS/CdTe [5-7]. Поэтому в настоящее время ведутся интенсивные исследования по разработке тыльных контактов, которые медь не содержат. Однако, как правило, применение таких контактов не позволяет формировать высокоэффективные СЭ.

Наряду с теоретической моделью, описывающей тыльные контакты к CdTe в рамках идеального туннельного диода, разработаны и нашли свое экспе-

риментальное подтверждение модели обращенного и сквозного диода [8,9].

Однако, несмотря на успехи в построения физических моделей оптимальных тыльных контактов к базовым слоям теллурида кадмия, комплексные работы их экспериментальной апробации, за редким исключением, не проводятся.

Постановка задания и его решение. Базовые пленочные гетеросистемы CdS/CdTe осаждались методом термического вакуумного испарения в едином технологическом цикле. пленочную гетероструктуру Cu/Au наноразмерной толщины, также осуществлялось этим методом. Нанесение тыльных контактов пленок ИТО (оксидов индия и олова) осуществлялось методом неактивного магнетронного распыления на постоянном токе с использованием оригинального материалосберегающего магнетрона. Перед нанесением тыльных контактов поверхность теллурида кадмия травилась в 5 % растворе брома в метаноле на протяжении 10 секунд. Затем методом термической конденсации без нагрева подложки на поверхность базового слоя наносились слои меди толщиной 12 нм и пленка золота толщиной 50 нм. После этого осуществлялся отжиг на воздухе при температуре 200 °С на протяжении 30 минут. При этом в течение предшествующих 10 минут лабораторный образец нагревался до указанной температуры отжига. Кроме лабораторных образцов со стандартными технологическими операциями при фор-

мировании тыльных контактов анализировались СЭ, в конструкции тыльных контактов которых прокладка меди отсутствовала, и которые после получения пленочной гетеросистемы Cu/Au не отжигались.

Для исследования влияния наноразмерной прокладки меди в конструкции тыльного контакта на эффективность фотоэлектрических процессов в пленочных СЭ ИТО/CdS/CdTe были измерены световые вольт-амперные характеристики (далее – ВАХ) с последующей их аналитической обработкой с использованием компьютерного моделирования. Для измерения компенсационным методом в стационарном режиме облучения, приближенном к стандартному AM1,5, световых ВАХ образцов СЭ с площадью фотоприемной поверхности до 2 см², универсальный светодиодный осветитель УСО-2 [10], который был вмонтирован в лабораторную установку.

Измерения проводились для серии образцов с различными конструктивными решениями тыльного контакта при мощностях освещения от 10 мВт/см² до 100 мВт/см² (100 мВт/см² соответствует стандартному режиму освещения AM1).

Путем аналитической обработки световых ВАХ с использованием компьютерного моделирования, были определены выходные параметры и световые диодные характеристики для каждого режима освещения представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние уровня освещения на выходные параметры и световые диодные характеристики ИТО/CdS/CdTe/Cu/Au

Параметры и характеристики	P _с , мВт/см ²									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
J _{кз} , мА/см ²	1,9	3,8	5,94	8,3	10,3	12,8	15,0	17,0	19,5	21,2
V _{хх} , мВ	697	711	719	720	728	727	729	731	727	731
FF, от. ед.	0,66	0,67	0,67	0,67	0,67	0,663	0,66	0,66	0,66	0,66
КПД, %	8,7	9,1	9,49	10	10	10,29	10,37	10,23	10,36	10,19

Было установлено, что эффективность СЭ при мощности освещения 1000 Вт/м² с тыльным контактом Cu/Au более 10%, а с тыльным контактом Au – 3,1%, что обусловлено, в первую очередь, большим значением напряжения холостого хода и фактора заполнения световой ВАХ. Зависимость плотности тока короткого замыкания от уровня освещения для обоих типов контактов носит традиционный линейный характер (см. рис. 1). Это и обуславливает ограничение напряжения холостого хода на уровне 0,351 В.

Действительно, если бы на величину последовательного сопротивления СЭ определяющее влияние оказывало удельное сопротивление базового слоя, то с ростом интенсивности солнечного излучения в результате генерации неравновесных носителей заряда в базовом слое наблюдалось бы снижение R_п. Для СЭ с тыльным контактом Au при росте освещенности также наблюдается традиционный рост плотности фототока. При этом необходимо учесть, что такие СЭ, несмотря на меньшую эффективность по сравнению с СЭ с тыльным контактом Cu/Au, характеризуются на порядок большими значениями

шунтирующего сопротивления, величина которого от освещенности практически не зависит.

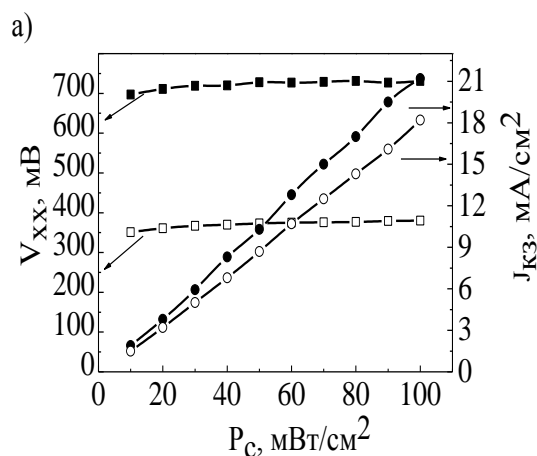


Рис. 1. Зависимость плотности тока короткого замыкания от уровня освещенности СЭ ИТО/CdS/CdTe (■ – Cu/Au, □ – Au), J_{кз} (● – Cu/Au, ○ – Au)

Наблюдаемое отличие влияния мощности излучения на световые диодные характеристики СЭ с различными типами контактов обусловлено тем, что для СЭ с тыльным контактом Au реализуется режим сквозного диода в результате формирования микродиодов, которые параллельны основному туннельному контакту. Поскольку микродиоды включены навстречу основному диоду, то это обуславливает высокие значения шунтирующего сопротивления. Поскольку микродиоды, в отличие от туннельного диода, характеризуются существенными размерами области обеднения, то с ростом интенсивности освещения в результате увеличения концентрации неравновесных носителей заряда происходит снижение их размеров, что приводит к наблюдаемому экспериментально снижению последовательного сопротивления СЭ.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено:

1. При отсутствии прослойки меди на тыльной поверхности эффективность пленочных солнечных элементов ИТО/CdS/CdTe/Au ограничивается на уровне 3-4%, однако при формировании низкоомного туннельного контакта Cu/Au эффективность СЭ на основе ИТО/CdS/CdTe увеличивается до 10,4%.

2. Максимальная эффективность пленочных солнечных элементов ИТО/CdS/CdTe/Cu/Au зафиксирована при мощности солнечного излучения 70 мВт/см² что соответствует мощности солнечного излучения, которая характерна для местности Харьковской области.

Публікацію бажано завершувати подяками та/чи назвою організації (фонду), за рахунок якої виконувались дослідження.

Литература

1. Bätzner D.L. Development of efficient and stable back contacts on CdTe/CdS solar cells [Text] / D.L. Bätzner, A. Romeo, H. Zogg, A.N. Tiwari // Thin Solid Films.–2001.– V. 387.– P.151-154.

2. Єрохов В. Ю., Дружинін А. О., Єрохова О. В. Формування текстур фронтальної поверхні сонячного елемента технологією пористого кремнію [Text] // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015.– №5.– С. 4-9.

3. Romeo N. An innovate process suitable to produce high efficiency CdTe/CdS thin film modules [Text] / N. Romeo, A. Bosio, A. Romeo // Solar Energy Materials and Solar Cells. – 2010. – V. 94. – Issue 1. – P. 2-7.

4. Bandgap effects in thin-film heterojunction solar cells [Text] : Proceeding 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference.– Amsterdam (Netherlands): 1994.– p.1315-1319.

5. Riech I. et al. Effect of annealing time of CdCl₂ vapor treatment on CdTe/CdS interface properties [Text] / I. Riech // Semiconductor Science and Technology. – 2012. – Т. 27. – №. 4. – С. 045015.

6. Khrypunov G. et al. Development organic back contact for thin-film CdS/CdTe solar cell [Text] / Khrypunov G. // Physics And Chemistry of Solid State. – 2010. – Т. 11. – №. 1. – С. 248-251.

7. Wu H. p-CdTe/n-CdS photovoltaic cells in the substrate configuration [Text] : дис. – University of Rochester, 2014.

8. Karpov V.G. Physics of CdTe Photovoltaics: from Front to Back/Mater [Text] / V.G. Karpov, D. Shvydka, Y. Roussillon // Materials Research Society Proceedings.– 2005.– V. 865. –P.307-318.

9. Singh V.P. Analysis of contact degradation at the CdTe-electrode interface in thin film CdTe-CdS solar cells [Text] / V.P. Singh, O.M. Erickson, and J.H. Chao // Journal of Applied Physics.– 2000.– V. 78.– № 7.– P.4538-4543

10. Кіріченко М.В. Універсальний світлодіодний освітлювач / М.В Кіріченко, Р.В. Зайцев, В.Р. Копач, Г.С. Хрипунов, Г.В. Лісачук, // Патент на корисну модель № 33676. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисну модель 10.07.2008. Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 10.07.2008, Бюл. №13.

Поступила (received) 30.11.2016

INFLUENCE OF LIGHT ON THE LEVEL OF OUTPUT PARAMETERS SOLAR CELLS BASED ON CdS / CdTe

N. Deyneko

National university of civil protection of Ukraine
Str. Chernyshevskaya, 94, Kharkov, Ukraine, 61023.
E-mail: natalyadeyneko@nuczu.edu.ua

The results of studies of the effect on the level of illumination output parameters of solar cells based on CdS / CdTe with the back contact, manufactured in accordance with various embodiments of constructive and technological solutions. Based on these results the output parameters and the light diode characteristics chosen are optimal constructive and technological solutions for the back contact solar cells based on CdS / CdTe. It is shown that the use of nanolayer Cu provides a degradation-resistant solar cells that exhibit the maximum efficiency at light levels typical of the Kharkov region.

Keywords: film solar cell, heterostructure, cadmium telluride, the output parameters, the back contact

Інформаційна довідка про авторів

Дейнеко Наталя Вікторівна
Кандидат технічних наук
Кафедра прикладної механіки
Національний університет цивільного захисту України
вул. Чернишевська, 94, г. Харків, Україна, 61023
Номер ORCID: 0000-0001-8438-0618
E-mail: natalyadeyneko@nuczu.edu.ua
Контактний тел: 0996093575

Дейнеко Наталья Викторовна
Кандидат технических наук
Кафедра прикладной механики
Национальный университет гражданской защиты Украины
ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, Украина, 61023
Номер ORCID: 0000-0001-8438-0618
E-mail: natalyadeyneko@nuczu.edu.ua
Контактный тел: 0996093575

Deyneko Natalya
PhD
Department of Applied Mechanics
National University of Civil Protection of Ukraine
Chernyshevskaya str., 94, Kharkov, Ukraine, 61023
Number ORCID: 0000-0001-8438-0618
E-mail: natalyadeyneko@nuczu.edu.ua
Contact tel: 0996093575