

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ
ГЕТЕРОСТРУКТУРНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ
n-CdS/*p*-CdTe**

Ш. Б. Каримов, Б. Х. Каримов

Ферганский государственный университет,

г. Фергана, Узбекистан,

Поступила в редакцию 20.02.2015

Разработана технология получения гетероструктурных солнечных элементов графен /CdS/CdTe/CdCl₂/Sb₂Te₃/Mo сформированных на стеклянных подложках и полиамидных плёнках. Исследуется, световые вольтамперные характеристики и определяются выходные параметры солнечных элементов.

Ключевые слова: CdS, CdTe, графен (прозрачный электропроводящий слой), пленочный солнечный элемент.

**ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ
ГЕТЕРОСТРУКТУРНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ОСНОВІ
n-CdS/*p*-CdTe**

Ш. Б. Каримов, Б. Х. Каримов

Розроблено технологію одержання гетероструктурних сонячних елементів графен/CdS/CdTe/CdCl₂/Sb₂Te₃/Mo, сформованих на скляних підкладках і поліамідних плівках. Досліджуються, світлові вольт-амперні характеристики і визначаються вихідні параметри сонячних елементів.

Ключові слова: CdS, CdTe, графен (прозорий електропровідний шар), плівковий сонячний елемент.

**THE TECHNOLOGY OF RECEPTION
AND RESEARCH OF *n*-CdS/*p*-CdTe THIN FILM SOLAR CELLS**

Sh. B. Karimov, B. Kh. Karimov

The technology of reception of graphene/CdS/CdTe/CdCl₂/Sb₂Te₃/Mo thin film solar cells on the glass substrates and polyamide film were developed. It is investigated the voltage-current characteristics of the solar cells is investigated and the output parameters of the solar cells is defined.

Keywords: CdS, CdTe, graphene (transparent conducting layers), thin-film solar cells.

ВВЕДЕНИЕ

Гетероструктурные солнечные элементы на основе *n*-CdS/*p*-CdTe характеризуются замечательной возможностью воспроизведения в крупном масштабе. О рекордном 16,5 % коэффициенте преобразования сообщалось в работе [3]. Высокий коэффициент преобразование получен при использовании в качестве подложки боросиликатного стекла и создания контакта с CdTe посредством содержащий медь пасты. Применение боросиликатного стекла слишком дорого. Медь является быстрым диффузором в CdTe, что вызывает у солнечного элемента деградацию в длительном периоде. Авторами разработан метод, использующий

дешевое натриево-кальциево-силикатное стекло, в качестве подложки с устойчивым контактом, не содержащим меди. При этом жидкости или кислоты не используются. Данный метод способен производить солнечные элементы с эффективностью 14 % и выше.

Краткое описание процесса

Гетероструктурные солнечные элементы на основе *n*-CdS/*p*-CdTe, изготовленные в нашей лаборатории, составлены из 6 слоев.

Для получения многослойных структур наносились прозрачные электропроводящие слои графена на натриево-кальциево-силикатное стекло, слюду или полиамид.

Формирование графена осуществлялось в воздухе при комнатной температуре на стеклянных, слюдяных и полиамидных подложках. На слои графена термическим испарением осаждались плёнки CdS толщиной 0,3–0,4 мм при давлении 10^{-5} мм рт. ст. при температуре подложки 250–300° С. Без нарушения вакуума при температуре 260–300° С осаждались плёнки CdTe толщиной 1–3 мкм. Полученные тонкоплёночные солнечные элементы графен /CdS/CdTe подвергались «хлоридной» обработке. Для этого на слои CdTe без нагревания подложки, термическим испарением при давлении 10^{-4} мм рт. ст. наносились плёнки CdCl₂. Полученные гетероструктурные солнечные элементы графен/CdS/CdTe/CdCl₂ подвергались отжигу на воздухе в закрытом объеме при температуре 420–460° С в течении 30 минут. После на поверхность отожженных тонкоплёночных солнечных элементов термическим испарением наносились электрические контакты Sb₂Te₃, и покрывались молибденом с низким удельным сопротивлением. Таким образом, получен многослойный гетероструктурный солнечный элемент на основе графен/CdS/CdTe/CdCl₂/Sb₂Te₃/Mo.

Подробное описание процесса

Прозрачный электропроводящий слой графена

Самый распространенный прозрачный проводящий окисел Indium tin oxide (ITO) это In₂O₃, содержащий 10 % Sn. Данный материал характеризуется низким удельным сопротивлением, порядка 3×10^{-4} Ом·см и высокой прозрачностью (>85 %) в оптическом спектре. Данный материал формируется напылением и в образце ITO после нескольких проходов может образоваться полоска, содержащая In в избытке. Это приводит к повреждению плёнки. ITO является дорогостоящим и не самым устойчивым веществом. К тому же мир вскоре исчерпает свои запасы индия.

Другой материал, который обычно используется в данном случае, это фтор легированный SnO₂, который показывает более высокое удельное сопротивление близкое

к 10^{-3} Ом·см. Для того, чтобы поверхностное сопротивление было приблизительно 10 Ом необходимо формировать слой толщиной 1 мкм. Высокая толщина ITO снижает прозрачность, и фототок солнечного элемента. Новый материал на основе Cd, SnO₄, изучен в работе [4]. Данный материал характеризуется недостатком. Так как образец составлен из смеси CdO и SnO₂ и, существующий объект CdO очень гигроскопический, образец является не очень стабильным. Перспективным материалом для солнечных элементов является графен [5]. Авторами изучалось применение для солнечных элементов прозрачного электропроводящего слоя графена. Такой слой характеризуется очень высокой прозрачностью и низким удельным сопротивлением.

В данной работе графен использовался в качестве прозрачного электрода для солнечной батареи. По сравнению с ITO графен более прозрачен и устойчив. Графен отвечает всем перечисленным выше требованиям (поверхностное сопротивление для него составляет 30 Ω, коэффициент пропускания 97,7 %), хотя традиционно в солнечных элементах используется оксид индия и олова с несколько лучшими характеристиками.

Учитывая, что качество графена повышается каждый год, а технологии получения ITO не дешевеют, графен имеет высокие шансы получить в данном секторе технологий большую долю рынка. Графен обладает выдающейся механической гибкостью, что выгодно отличает его от ITO. Контактное сопротивление между электродами на основе графена и металлическими контактами все еще является проблемой. Графен в качестве прозрачного электрода в солнечной батарее является перспективным, и осталось только найти подходящие способы его массового производства. Прозрачность указанных плёнок превышает 85 % в диапазоне волн 400–800 нм.

Слой CdS

Так как CdS плавится при температуре 1750° С, вольфрамовый тигель нагревается до температуры 1800° С или выше, а затем охлаждается до комнатной температуры. На

слои графена термическим испарением осаждаются плёнки CdS толщиной 0,3–0,4 мкм при давлении 10^{-5} мм рт. ст. и температуре подложки 250–300° С. Напыленный слой CdS нуждается в отжиге при температуре 500° С в атмосфере, содержащей O₂ для солнечного элемента CdS/CdTe, с целью достичь высокой производительности.

Слой CdTe

Из-за того что CdTe является полупроводником с прямым межзонными переходами, коэффициент оптического поглощения быстро достигает значений 10^{-4} см⁻¹ и выше, как только энергия фотона повысит ширину запрещенной зоны. Это означает, что во всей области собственного поглощения глубина проникновения света в полупроводник меньше 10^{-4} см = 1 мкм, т. е. практически все излучение поглощается, если толщина слоя превышает несколько микрометров (~63 при 1 мкм, ~86 при 2 мкм, ~95 при 3 мкм) [1].

Так как CdTe плавится в 1120° С, тигель должен быть нагрет до 1200° С, для того чтобы иметь полное плавление частей CdTe. Из второго тигеля после на плёнку CdS без нарушения вакуума 10^{-5} мм рт. ст. и при температуре 260–300° С осаждались плёнки CdTe толщиной 1–3 мкм.

Нанесение на CdTe слоя CdCl₂

Важным этапом в изготовлении высокой производительности гетероструктурных солнечных элементов *n*-CdS/*p*-CdTe является нанесение на слой CdTe слоя CdCl₂. Большинство исследовательских групп обычно, пройдя предыдущие этапы, осаждают на слой CdTe слой CdCl₂ простым испарением или погружая CdTe в раствор метанола, содержащего CdCl₂. Затем отжигают материал в воздухе при температурах 400° С в течении 15–20 мин. Предполагается, что обработка соединением CdCl₂ улучшает кристаллическое качество CdTe, увеличивая размер, зерен и, удаляя некоторые дефекты в материале.

После обработки CdCl₂, CdTe обычно травится в растворе метанола брома или в смеси азотной и фосфорической кислот. Это травление необходимо в случае, если

обработка CdCl₂ произведена в воздухе, так как CdO или CdTeO₃ обычно формируется на поверхности CdTe. CdO и/или CdTeO₃ необходимо удалить, для того чтобы обработать хороший тыльный контакт на CdTe. Помимо этого травление, образуя обогащенную теллуром поверхность, облегчает образование омического контакта, когда металл осаждается на поверхности CdTe [2].

Авторами разработан новый метод обработки соединением CdCl₂, которая избегает травления и по-современному позволяет создавать хороший контакт. Данная процедура, описывается ниже: «Полученные гетероструктурные солнечные элементы графен/CdS/CdTe подвергаются «хлоридной» обработке. Для этого на слой CdTe без нагревания подложки, термическим испарением при давлении 10^{-4} мм рт. ст. наносились плёнки CdCl₂. Полученные гетероструктурные солнечные элементы графен/CdS/CdTe/CdCl₂ подвергались отжигу на воздухе в закрытом объеме при температуре 420–460° С в течении 30 минут. Обогащенная теллуром поверхность необходима для создания невыпрямляющего контакта, в случае, когда контакт создан осаждением на поверхность пленки CdTe тонкого слоя сильных токопроводящих полупроводников *p*-типа, таких как Sb₂Te₃ или As₂Te₃».

Тыльный контакт

Хороший невыпрямляющий омический контакт получен на чистой поверхности CdTe. В том случае когда 100 нм Sb₂Te₃ или As₂Te₃ осажжены напылением на подложку с температурой соответственно 250° С и 200° С. Процесс формирования контакта заканчивается нанесением слоя молибдена с низким удельным сопротивлением толщиной 100 нм.

Таким образом, получен многослойный гетероструктурный солнечный элемент на основе графен/CdS/CdTe/CdCl₂/Sb₂Te₃/Mo. Измерения световых вольтамперных характеристик полученных солнечных элементов осуществлялись в режиме освещения AM1.5. Исследованы световые вольтамперные характеристики и определены выходные параметры гетероструктурных

солнечных элементов: плотность тока короткого замыкания ($J_{кз}$), напряжение холостого хода ($U_{хх}$), фактор заполнения (FF) нагрузочной световой вольтамперной характеристики ($ВАХ$) и, в конечном итоге, коэффициента полезного действия η :

$$\eta = (J_{кз} \cdot U_{хх} FF) P_u,$$

где $P_u = 1000 \text{ Вт/м}^2$ — мощность падающего солнечного излучения.

В работе решена проблема эффективности фотоэлектрического преобразования в многослойных гетероструктурных солнечных элементах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методы, используемые в процессе формирования гетероструктур, такие как испарение, в замкнутом объеме — быстры, воспроизводимы и легко масштабируемы. По крайней мере следующие новые технологические параметры были представлены в процессе формирования солнечных элементов на основе системы графен/CdS/CdTe/CdCl₂/Sb₂Te₃/Mo:

— прозрачный электропроводящий слой графена;

— обработка соединением CdCl₂ и тыльный контакт, создание которого не требует применения кислот или жидкостей, делая процесс еще быстрее и, избегая опасности использования кислотных резервуаров.

Таким образом, описанный выше процесс формирования, может использоваться для поточного изготовления фотогальванических модулей *n*-CdS/*p*-CdTe с высокой производительностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bonnet D., Romeo A., Dobeli M., Weinert K., Zogg H., Tiwari A. N. High energy irradiation pro-parties of CdS/CdTe solar cells // Proceedings of 29 th EEE Photovoltaic Specialists Conference. — New Orleans, 2002. — P. 962–985.
2. Dieter Bonnet. Thin Solid Films, 2000. — P. 547–552.
3. Wu X., Keane J. C., Dhere R. G., DeHart C., Albin D. S, Duda A., Gessert T. A., Asher S., Levi D. H., and Sheldon. P // Proc. 17 th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Munich, Germany, 22–26 October 2001, II, P. 995–1000.
4. Wu X., Mulligan W. P., Coutts T. J. // Thin Solid Films, 1996. — P. 274–276.
5. Морозов С. В., Новоселов К. С., Гейм А. К. // Электронный транспорт в графене. УФН 178, 776 (2008).

LITERATURA

1. Bonnet D., Romeo A., Dobeli M., Weinert K., Zogg H., Tiwari A. N. High energy irradiation pro-parties of CdS/CdTe solar cells // Proceedings of 29 th EEE Photovoltaic Specialists Conference. — New Orleans, 2002. — P. 962–985.
2. Dieter Bonnet. Thin Solid Films, 2000. — P. 547–552.
3. Wu X., Keane J. C., Dhere R. G., DeHart C., Albin D. S, Duda A., Gessert T. A., Asher S., Levi D. H., and Sheldon. P // Proc. 17 th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Munich, Germany, 22–26 October 2001, II, P. 995–1000.
4. Wu X., Mulligan W. P., Coutts T. J. // Thin Solid Films, 1996. — P. 274–276.
5. Morozov S. V., Novoselov K. S., Gejm A. K. // Elektronnyj transport v grafene. UFN 178, 776 (2008).