

**ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ДЛЯ СОЗДАНИЯ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ
ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ CdS-Cu₂S**

Борщак В.А.¹, *д.ф.-м.н., с.н.с.*, **Вилинская Л.Н.²**, *к.ф.-м.н., доц.*,
Писаренко А.Н.², *к.ф.-м.н., доц.*, **Куталова М.И.¹**, *н.с.*,
Затовская Н.П.¹, *н.с.*

¹*Одесский национальный университет имени И.И.Мечникова, Украина*

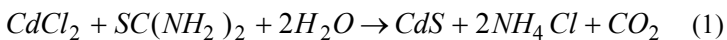
²*Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина*

В настоящее время использование нетрадиционных источников энергии приобретает особую актуальность в связи с необходимостью соблюдения экологической безопасности. Среди таких источников особую роль играет солнечная энергетика. Однако остаётся нерешенным один вопрос, который тормозит широкомасштабное применение этого экологически чистого источника энергии: в настоящее время во многих случаях применение солнечных фотоэлектрических станций экономически не выгодно. Солнечная электроэнергия гораздо дороже электроэнергии, получаемой от тепловых, гидро - и атомных электростанций.

Существует несколько перспективных направлений снижения стоимости, по которым осуществляются интенсивные исследования и разработки. Это удешевление технологии получения кремниевых монокристаллических элементов, использование концентрированных потоков солнечного излучения в сочетании с высокоэффективными фотоэлектрическими преобразователями на основе полупроводниковых материалов, таких как арсенида галлия, а также использование неидеальных гетеропереходов для создания фотоэлектрических преобразователей [1,2]. Следует отметить особый интерес к разработкам тонкопленочных фотоэлементов на основе неидеального гетероперехода $CdS - Cu_2S$, который изучался в данной работе.

Для получения фотоэлементов на основе тонких слоев CdS нами применялся метод пульверизации водного раствора хлорида кадмия ($CdCl_2$) и тиомочевины на разогретую подложку, представляющую собой стеклянную пластину с предварительно нанесенным на нее

прозрачным проводящим слоем SnO_2 [3]. При температуре $T > 250^\circ C$ на подложке происходит следующая химическая реакция:



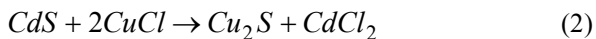
Для распыления раствора использовался пульверизатор, соединенный гибкими трубками с емкостью, содержащей распыляемый раствор, и компрессором. Для снижения размера аэрозольных частиц до $(5 \div 10)$ мкм, а также для обеспечения направленного их движения к подложке, распыляемый раствор заряжался от источника, создающего потенциал порядка 25 кВ относительно подложки. Варьируя температуру нагревателя подложки, интенсивность подачи раствора и давление сжатого газа, можно влиять на скорость роста пленки. Наиболее однородными (разброс толщины пленок не превышал $(5 \div 6)$ %) получались пленки CdS при скорости роста $\sim 0,3$ мкм/мин на площади $(20 \div 40)$ см². При этом наблюдалась наилучшая фоточувствительность гетероструктуры $CdS - Cu_2S$.

Схема установки, которая использовалась для реализации описанного метода получения гетероструктур $CdS - Cu_2S$, представлена на рисунке 1.

Известно, что введение цинка в состав сульфида кадмия приводит к уменьшению различия между параметрами кристаллических решеток материалов гетероструктуры $Cd_xZn_{1-x}S - Cu_2S$, а значит, и к уменьшению концентрации поверхностных состояний на гетерогранице. Это осуществлялось нами путем добавления в распыляемый раствор необходимого количества хлорида цинка ($ZnCl_2$), что позволило получать пленки тройного состава с регулируемым соотношением компонент.

Фотоэлементы на основе гетероперехода $CdS - Cu_2S$ с наиболее высоким КПД получены нами с помощью режима замещения, при котором слой Cu_2S формируется непосредственно из базового слоя CdS .

При использовании режима замещения [2] подрешетка серы в слое CdS остается практически без изменений, а один ион кадмия замещается двумя ионами меди:



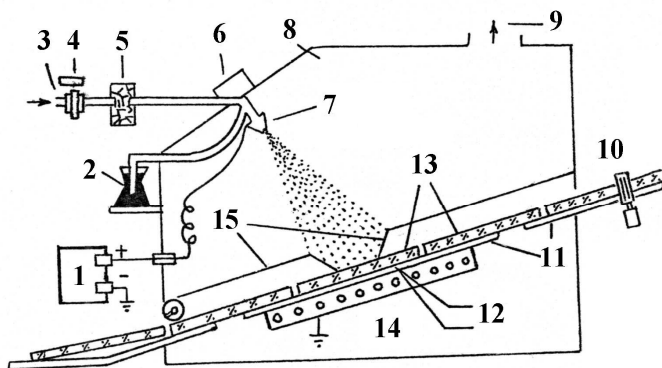


Рис. 1. Схема установки для получения базового слоя CdS .

1 – источник высокого напряжения, 2 – распыляемый раствор, 3 – трубка, подключенная к компрессору, 4 – регулятор давления воздуха, 5 – фильтр для очистки воздуха, 6 – система сканирования распылителя, 7 – распылитель, 8 – технологический бокс, 9 – труба, подключенная к вытяжной вентиляции, 10 – механизм транспортировки подложек, 11 – направляющие полозья для перемещения подложек, 12 – термонара, управляющая температурой нагревателя, 13 – подложки, 14 – нагреватель подложек, 15 – защитные экраны.

Реакция замещения ионов кадмия ионами меди протекает в твердой фазе во время термообработки при $200^{\circ}C$ базового слоя CdS с предварительно нанесенной на него пленкой $CuCl$. Такая пленка формировалась методом вакуумного испарения. При испарении в вакууме с расстояния 10 см (температура испарителя $\sim 600^{\circ}C$) хлорида меди весом 15 мг толщина образующейся пленки $CuCl$ составляла приблизительно 1 мкм.

При указанной температуре и толщине пленки хлорида кадмия реакция замещения происходила полностью за время термообработки $\sim (3 \div 4)$ мин. Оптимальная температура и время обработки для достижения максимальной полноты прохождения реакции подбирались экспериментально – по максимуму зависимости напряжения холостого хода и тока короткого замыкания получаемых гетеропереходов $CdS - Cu_2S$ от указанных технологических параметров.

Нами был разработан оригинальный метод оптимизации количества последовательно включенных фотоэлементов в батарее для достижения заданных параметров при разных условиях освещения [4,5]. Такой метод является универсальным и может успешно применяться при разработке батарей из любых, в том числе и кремниевых фотоэлементов, поэтому рассмотрение практического использования его при создании батареи на основе гетероперехода $CdS - Cu_2S$ представляет определенный интерес.

Изготовленный таким методом фотоэлемент на основе гетероперехода $CdS - Cu_2S$ развивает достаточно большую ЭДС холостого хода; при $L = 100$ лк, $U_{XX} = 320$ мВ и обладает гораздо большим значением тока короткого замыкания ($I_{KЗ} = 26$ мкА/см²). Это позволяет использовать такие фотоэлементы при достаточно низкой освещенности для питания устройств, потребляющих большой ток [6].

Приведем пример, как используя гетерофотоэлементы $CdS - Cu_2S$, можно получить источник тока, например, для питания устройства, потребляющего ток 15 мкА, при напряжении не менее 2 В. Это соответствует величине нагрузочного сопротивления $R_H = 125$ кОм. Пусть освещенность не превышает 100 лк, а общая площадь S фотоэлементов – 10 см². Очевидно, что для получения таких параметров источник тока должен представлять собой батарею последовательно соединенных фотоэлементов. Для определения оптимального числа элементов для такого источника тока предположим, что батарея составлена из одинаковых фотопреобразователей. При этом следует иметь в виду, что площадь отдельного элемента S_1 зависит от их количества в батарее и определяется соотношением $S_1 = S/n$ (здесь S – площадь фотоэлементов, n – их количество).

Определим, при какой минимальной освещенности может работать такой источник питания, и какое оптимальное количество отдельных элементов n он при этом должен содержать. Измерим для этого нагрузочные характеристики, для разных освещенностей и рассчитаем для каждой из них мощность, выделяющуюся на заданной нагрузке при разном количестве элементов в батарее. Полученные кривые представлены на рис. 2. Видно, что для разного уровня освещенности максимальная мощность, генерируемая батареей, достигается при разном количестве элементов, которые ее составляют. Если провести

через точки максимума кривую, то соответствующее величине максимальной мощности на этой кривой значение n и определит оптимальное количество элементов для минимальной освещенности, при которой батарея заданной площади еще может давать заданные нами параметры. Величине $L_{\min} = 75$ лк соответствует $n_{opt} = 9.5$.

Нами была изготовлена батарея [7], отдельные элементы которой расположены на одной подложке размером 10 x 140 мм. Для их последовательной коммутации слой CdS наносился на стеклянную подложку с проводящим слоем SnO_2 , разделенным протравленными полосками на 10 площадок, служащих тыльными контактами для отдельных элементов. Затем на базовом слое CdS , также разделенном на 10 элементов, формировался слой Cu_2S так, как это показано на рис.3. Последовательная коммутация полученных на одной подложке фотоэлементов проводилась одновременно с нанесением второго контакта путем напыления через маску необходимой конфигурации тонкого слоя меди. Основные фотоэлектрические параметры данного источника питания составляют: КПД = 5,5 %, $FF = 0,66$, $U_{XX} = 2,9$ В, $I_{KЗ} = 26$ мкА/см². При нагрузке $R_H = 125$ кОм, $U = 2,3$ В, $I = 20$ мкА.

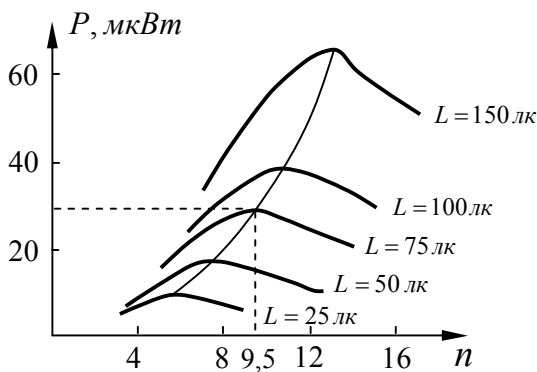


Рис. 2. Зависимость мощности, выделяющейся на нагрузке $R = 125$ кОм, от количества последовательно соединенных элементов, составляющих батарею с площадью $S = 10$ см², при различных уровнях освещенности.

Видно, что минимальная требуемая мощность $P_{\min} = 28$ мкВт достигается при $L_{\min} = 75$ лк для $n_{\text{opt}} = 9,5$.

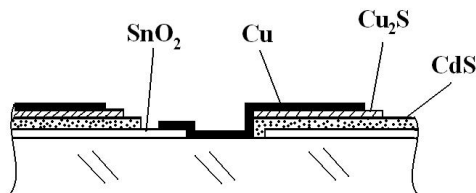


Рис. 3. Схематическое изображение фрагмента фотоэлектрической батареи. *Cu* – тонкопленочный контакт для последовательной коммутации элементов, *CdS* и *Cu₂S* – компоненты фотопреобразующей гетероструктуры, *SnO₂* – прозрачный контакт.

Таким образом, приведенные результаты свидетельствуют о том, что гетеропереходы *CdS* – *Cu₂S*, полученные методом пульверизации водного раствора хлорида кадмия, могут быть использованы для создания фотоэлектрических преобразователей.

ВЫВОДЫ

Разработаны технологические режимы получения фотоэлектрического преобразователя на основе гетереперехода *CdS* – *Cu₂S* методом пульверизации водного раствора хлорида кадмия (*CdCl₂*). Изучена зависимость мощности, выделяемой на нагрузке от количества последовательно соединенных элементов, составляющих батарею, при различных уровнях освещенности. Определено оптимальное количество элементов в батарее с фиксированной площадью и минимальная освещенность, при которой достигается заданная мощность.

SUMMARY

The technology of receiving a heterojunction on basis of $CdS - Cu_2S$ is developed. It is established that the heterojunction $CdS - Cu_2S$ is suitable for use as the photo-electric converter. The optimization method for the parameters of the battery of the photo cells included consistently is offered.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смынтына В. А., Борщак В. А., Бритавский Е. В., Карпенко А. А. Неидеальные гетеропереходы для сенсоров изображения: монография. – Одесса: «Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова», 2014. – 180 с.
2. Чопра К. Тонкоплёночные солнечные элементы/ Чопра К., Дас С. // М.: Мир. – 1986. – 370 с.
3. Куталова М.И. Создание эффективных преобразователей солнечной энергии на основе гетероперехода $CdZnS - CuS$ / Куталова М.И., Затовская Н.П., Борщак В.А., Смынтына В.А. // Фотоэлектроника. – 1998. – вып.7. – с. 47 – 48.
4. Борщак В.А., Смынтына В.А., Бритавский Е.В., Карпенко А.А., Затовская Н.П./ ЭДС холостого хода неидеального гетероперехода. – ФТП. – 2012. – Т.47. – Вып.6. – С. 828 – 832.
5. V. A. Borschak, V. A. Smyntyna, Ie. V. Brytavskiy, A. A. Karpenko, and N. P. Zatovskaya. Open Circuit Voltage of an Illuminated Nonideal Heterojunction // Semiconductors. – 2013. – Vol. 47, No. 6, p. 838 – 843.
6. Борщак В.А. Зависимость проводимости освещенного неидеального гетероперехода от внешнего смещения/ Борщак В.А., Смынтына В.А., Бритавский Е.В., Балабан А.П., Затовская Н.П.// ФТП. – 2011. – Т. 45. – Вып. 7. – С. 922 – 927.
7. V.A. Borschak, V.A. Smyntyna, Ie.V. Brytavskiy, S.V. Zubritskiy, M.I. Kotalova, Ya. I. Lepikh. Microstructural features and componential analysis of thin film $CdS - Cu_2S$ photosensing structures as element of image sensor// Photoelectronics. – 2013. – No 22, pp. 98 – 102.