

L.S. MANUKYAN, S.D. MANUKYAN

**MEMORY OF THE IMPACT OF MAGNETIC FIELD IN
MACROMOLECULE SOLUTIONS**

A principally new possibility of remembering the actions of the magnetic field implemented in macromolecule aquatic solutions, particularly in the solutions of colloidal iron is considered. Under the influence of the magnetic field, the colloidal particles deform (phenomenon of striction) and, in such a deformed state, exist for a relatively short time. However, the deformed macromolecules are not a source of memory, but the accompanying activation process (coagulation, adsorption, etc) which fixes (absorbs) the deformed macromolecules with a higher speed than the relaxation speed of the deformed state to the balance state.

Keywords: longitudinal and cross effects, magnetohydrodynamic method (MHD-method), magnetohydrodynamic method of demineralization of liquids, magnetohydrodynamic separator, coagulation, solution of colloidal iron.

УДК 621.38

**Ж.Р. ПАНОСЯН, А.Н. КОЧАРЯН, Г.Г. ТОРОСЯН, М.А. ЕРАНОСЯН,
Е.В. ЕНГИБАРЯН, С.Л. ГРИГОРЯН**

**ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОК ТЕЛЛУРИДА
КАДМИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ НА ПОВЕРХНОСТИ
МЕДИ И ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ**

Исследована возможность получения тонких пленок CdTe на поверхности медной подложки для тонкопленочного солнечного элемента (СЭ) CdS/CdTe. Медная подложка служила одновременно в качестве омического контакта для базового слоя CdTe. Проведены дифрактометрические исследования строения полученных пленок CdTe кубической сингонии и меди. Определены распределения шероховатости и поверхностного потенциала подложки атомно-силовым микроскопом (АСМ).

Ключевые слова: электрохимический-гальваностатический метод выращивания, тонкие пленки CdTe на поверхности меди, р-тип проводимости, дифрактометрическое исследование структуры, АСМ-изображение, поверхностный потенциал подложки, шероховатость.

Введение. Ожидается, что в ближайшие десятилетия солнечная энергетика станет стимулом для экономического развития стран и регионов, обладающих максимальным “солнечным” ресурсом, как это имело место во время “нефтяной” экономики. Мощность солнечных электростанций в мире удваи-

вается каждые три года [1]. Второе поколение СЭ было изготовлено из тонкопленочных полупроводников группы A_3B_5 или A_2B_6 с прямыми оптическими переходами и высоким коэффициентом поглощения света, где необходимая толщина полупроводников снизилась на два порядка. Наименьшую стоимость вырабатываемой электрической энергии демонстрируют пленочные СЭ на основе сульфида и теллурида кадмия. Кроме того, они обладают высокой деградационной стойкостью, что расширяет спектры их использования [2,3]. Пленочные покрытия и материалы группы A_2B_6 широко применяются в микроэлектронике, в оптоэлектронике, как источники света [4]. Особенно перспективным является создание фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии на основе этих полупроводников [3].

В настоящее время для получения тонких пленок соединений A_2B_6 используются различные методы, среди которых внимание многих исследователей привлекает химическое и электрохимическое осаждение из водных растворов [5-8]. Несмотря на наличие большого числа публикаций, посвящённых технологиям получения слоёв, вопросы совершенствования и оптимизации технологии изготовления материалов A_2B_6 остаются до сих пор актуальными. Электрохимический метод имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами, а именно: простая и экономически выгодная технология, низкие температуры, возможность осаждения на поверхности пленок любого размера и конфигурации и др. В ряде работ [6-8] тонкие пленки CdTe получены электрохимическим-потенциостатическим методом с помощью соосаждения ионов Cd^{2+} и Te^{4+} при определённом потенциале катода. В качестве электропроводящей подложки были использованы титан [6], никель [7], алюминий [8], а также CdS [9], который сначала был осажден на тонкий слой ИТО. Как показали результаты рентгенофазового анализа, электрохимическим методом получают поликристаллические пленки CdTe кубической сингонии. В работе [7] показано, что гальваностатическим методом получают пленки CdTe n-типа, а потенциостатическим методом – p-типа. В работе [6] получена корреляция между температурой осаждения в электрохимической ячейке и состоянием CdTe.

Экспериментальная методика. Основной целью работы является разработка электрохимического-гальваностатического метода получения полупроводникового CdTe p-типа проводимости на медной подложке для создания тонкопленочного СЭ CdS/CdTe с использованием одинакового технологического метода. Медные подложки толщиной 2...2,5 мм и диаметром 2 мм были отрезаны от болванки чистотой 96,84%. С целью осаждения покрытий CdTe необходимой адгезии с медной подложкой и получения качественных

композиционных покрытий из CdTe электрохимическим методом проведены как механическая, так и электрохимическая полировка поверхности медных подложек и очистка химическим методом. Поверхность подложки была отполирована с использованием пасты алмазного порошка. Благодаря многократной полировке с постепенным уменьшением размера частиц порошка (4; 0,5; 0,1 мкм), можно получить достаточно гладкую поверхность с шероховатостью нанометрового (нм) размера для нанесения пленок толщиной несколько мкм.

Результаты исследования и обсуждение. Исследования поверхностного строения полированной меди и последующего покрытия пленкой CdTe проводились с применением атомно-силового микроскопа. 3D АСМ-изображения, гистограмма, средний профиль шероховатости и поверхностный потенциал полированной медной подложки приведены на рис.1.

Как видно из АСМ-изображения, после описанной выше процедуры полировки поверхности медной подложки была получена достаточно низкая шероховатость. Из 3D-изображений (рис.1а), гистограмм (рис.1б) и среднего профиля (рис.1в) определено распределение шероховатости.

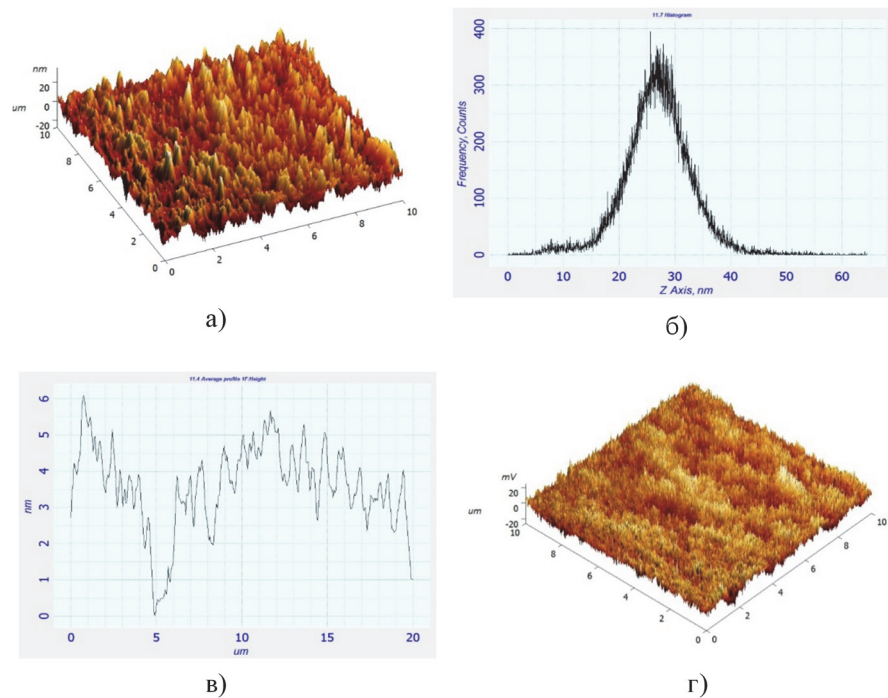


Рис. 1. АСМ-изображения медной подложки (а), гистограмма изображения (б), средний профиль изображения (в) и распределение поверхностного потенциала медной подложки (г)

Результаты анализа показали, что наибольшая высота выступов составляет 40 нм, средняя высота выступов - 25 нм (рис.1б), средний профиль - 6 нм (рис.1в), а латеральные размеры выступов у основания - 500...600 нм. Также рассмотрено применение метода зонда-Кельвина (контактной разности потенциалов) для измерения распределения электрического потенциала по поверхности образца. Полученные результаты для медной подложки представлены на рис. 1г. Как видно из изображения, изменение поверхностного потенциала составляет 40 мВ. Учитывая, что работа выхода меди составляет 4,5...5,1 эВ, можно предположить, что влияние полученной шероховатости поверхности на величину распределения поверхностного потенциала ничтожно мало, и поверхность подложки с большой точностью можно считать эквипотенциальной.

На полированной поверхности подложки гальваностатическим методом были осаждены покрытия CdTe различной толщины (от 850 до 1500 нм), проведена оценка свойств этих покрытий. Пленка имела темно-серый оттенок с удельным сопротивлением 50...70 кОм·см. Электрохимическое осаждение CdTe можно проводить потенциостатическим и гальваностатическим методами [9]. Пленки CdTe на поверхности Cu наносили гальваностатическим методом в специально изготовленной электрохимической ячейке. Электроосаждение осуществляли на медном дискообразном электроде с площадью 1,77 см². В качестве анода использовали платиновую пластинку с площадью 2 см², а в качестве электролита - раствор следующего состава: CdSO₄: TeO₂ = от 2:1 до 20:1. Оптимальная температура электролита ~80 °С. Фоновым электролитом служил водный раствор 0,1 М К₂SO₄. При синтезе CdTe очень критичным является выбор pH электролита, который поддерживали в пределах pH=1,6...2; отклонение pH в щелочную область исключает возможность образования плёнки на поверхности катода. pH электролита регулировали добавлением H₂SO₄. Плотность тока варьировали в пределах 1...10 мА/см². Полученные пленки подвергали дальнейшей хлоридной и термической обработке при температуре 400 °С в течение 25 мин. В таблице приведены параметры синтеза пленок p-CdTe на меди гальваностатическим методом.

Параметры синтеза пленок *p*-CdTe на меди гальваностатическим методом

Состав раствора, М	Температура электролита, °С	рН раствора	Плотность тока, мА/см ²	Время осаждения, мин
TeO ₂ – 0,001 CdSO ₄ – 0,1 K ₂ SO ₄ – 0,07 H ₂ SO ₄ – для рН	80	1,6	1,5...2	120 – в 4 этапа

Следует отметить, что осаждение целесообразно было проводить поэтапно и между этапами осуществлять промывку образцов бидистиллированной водой, что позволило получить пленки толщиной до 2 мкм.

Проведены рентгенофазовые исследования строения поверхности медной подложки с осаждением на этой поверхности плёнок CdTe, полученных электрохимическим методом на дифрактометре Empyrean (фирма PANalytical), с использованием CuK α излучения ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$). Дифрактограммы образцов плёнок CdTe на медной подложке сняты в интервале углов 2θ : $0^\circ \dots 100^\circ$.

Рефлексы межплоскостных расстояний CdTe 3.7441 \AA ($2\theta=23.76^\circ$), 2.2876 \AA ($2\theta=39.39^\circ$) и 1.9516 \AA ($2\theta=46.49^\circ$) с соответствующими значениями h k l представляют собой (111), (220) и (311) грани кубической структуры плёнок. Установлено, что на медной подложке кубической структуры ($a=3.6130 \text{ \AA}$), ориентированной вдоль направления 111, осаждены эпитаксиальные пленки CdTe поликристаллической структуры с преимущественной ориентацией 111 кубической гранецентрированной решетки пространственной группы F43m с параметром $a = 6.4550 \text{ \AA}$ (рис.2а), а для рис.2б наблюдается некоторое увеличение параметра до $a=6,4890$.

На рис.2а представлена дифракционная картина образца плёнки CdTe, осаждённой электрохимическим методом на медную подложку, а на рис.2б - плёнка CdTe на медной подложке после "хлоридной обработки". На рис.2б заметно некоторое усиление текстуры образца CdTe по 111, увеличение интенсивности данного рефлекса после "хлоридной обработки" по сравнению с рис 2а. Исследования по обработке плёнок CdTe будут продолжены.

Полученные данные дифрактограмм согласуются с литературными данными [10,11] и файлами International Centre for Diffraction Data (ICDD) CdTe (98-018-1732), Cu (98-005- 3757) для рис.2а и ICDD CdTe (98-009-3944), Cu (98-062-7113) для рис.2б [11].

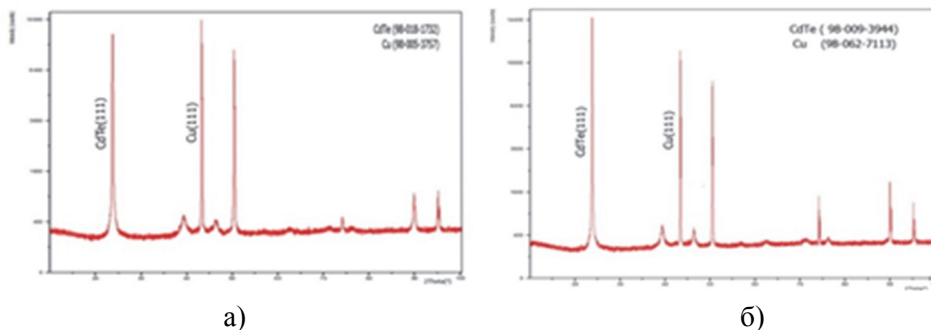


Рис. 2. Дифрактограммы образцов плёнок CdTe, полученных электрохимическим методом на медной подложке: а- до и б- после "хлоридной обработки"

Для изготовления тонкопленочного тыльноконструкционного СЭ при одинаковом технологическом методе был разработан также гальваностатический метод осаждения CdTe пленок на уже сформированном электрохимическим методом CdS [9]. Следует отметить, что для этого слоя также было применено поэтапное осаждение с промывками, как в случае осаждения p-CdTe.

На спектрах отражения структуры Cu/p-CdTe наблюдается резкое уменьшение отражения при 900...800 нм, связанное с поглощением в p-CdTe (рис.3).

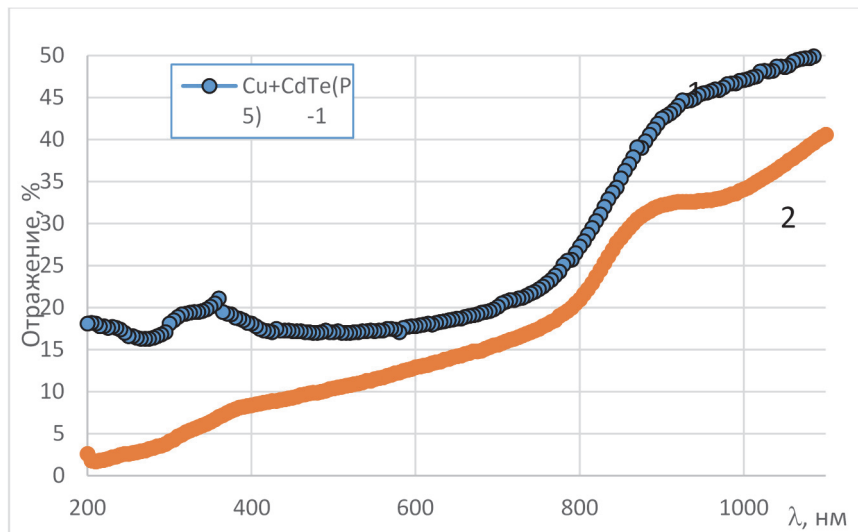


Рис. 3. Спектры отражения: 1- p-CdTe, 2- n-CdTe, нанесенные на Cu с различными параметрами синтеза

На рис.3 приведены, для сравнения, спектры отражения p-CdTe с n-CdTe, где видно более резкое изменение края отражения p-CdTe.

Полученные спектры отражения пленок CdTe, нанесенных на медную подложку, показывают, что они совпадают с краем оптического отражения кристалла CdTe, приведенного в [9]. Это также доказывает, что на медной подложке получены кристаллические структуры CdTe.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солнечная фотоэнергетика: современное состояние и тенденции развития /**В.А. Миличко, А.С. Шалин, И.С. Мухин** и др // УФН.- 2016.- Т.186, N 8.- С. 801-852.
2. **Major J.D., Treharne R.E., Phillips L.J., Durose K.** A low-cost non-toxic post-growth activation step for CdTe solar cells // Nature- Letter.-2014.- V.511.- P. 334-342.
3. **Zweibel K.** The impact of tellurium supply on cadmium telluride photovoltaics // Science.- 2010.-V.328.- P.699-701.
4. **Паносян Ж.Р.** Излучательная рекомбинация в кристаллах теллурида кадмия // Труды ордена Ленина Физического института им. П.Н. Лебедева.-1973.- Т. 68.- С.147-202.
5. **Bonila S., Dalchiele A.** Electrochemical deposition and characterization of CdTe polycrystalline thin films // Thin Solid Films.-1991.-V. 204-P.397-403.
6. Single-Phase Cadmium Telluride Thin Films Deposited by Electroless Electrodeposition / **G. Khrypunov, N. Klochko, N. Volkova, et al**// Japanese Journal of Applied Physics. – 2011. - V.50, 05FH04-1-05FH04-2.
7. **Guo Y., Deng X.** Electrodeposition of CdTe thin films and their photoelectrochemical behavior // Solar Energy Materials and Solar Cells.-1993.- V. 29.-P. 115-122.
8. **Jan Y., Kim J., Kim D.** Electrochemical synthesis of Cu-doped ZnTe films as back contacts to CdTe Solar Cells // Metals and materials.-1999.-V. 5, №3.-P. 279-285.
9. Получение и изучение халькогенидных полупроводниковых пленок для изготовления солнечных фотоэлементов /**Ж.Р. Паносян, А.Н. Кочарян, С.С. Восканян и др.** // ВЕСТНИК НПУА: Сборник научных статей.-Часть 1.- Ереван, 2017.-С. 38-43.
10. **Gonzalez D., Ben T., Lozano J., et al** // Journal of Alloys and Compounds.-2011.- **509.-P.** 5400 – 5407. Cross-References: ICDD:98-005-3757; ICDD:98-018-1732
11. **Simonov V., Ivanov I., Yu M., Verin I. et al** // Crystallography Reports.-2001.- **46.- P.** 636 – 641. Cross-References: ICDD:98-009-3944; ICDD: 98-062-7113.

**Ժ.Ռ. ՓԱՆՈՍՅԱՆ, Հ.Ն. ՔՈՉԱՐՅԱՆ, Գ.Գ. ԹՈՐՈՍՅԱՆ, Մ.Ա. ԵՐԱՆՈՍՅԱՆ,
Ե.Վ. ԵՆԳԻԲԱՐՅԱՆ, Ս.Լ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ**

**ԿԱԴՄԻՈՒՄԻ ԹԵԼՈՒՐԻԴԻ ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴԱՅԻՆ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ
ՍՏԱՑՈՒՄԸ ՊՂՆՁԻ ՄԱԿԵՐԵՍԻՆ՝ ԷԼԵԿՏՐԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ ԵՎ
ԴՐԱՆՑ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ**

Ուսումնասիրվել է CdTe բարակ թաղանթների ստացման հնարավորությունը պղնձե տակդիրի մակերեսին CdS/CdTe բարակթաղանթային արևային էլեմենտների (ԱԷ) համար: Պղնձե տակդիրը միաժամանակ ծառայել է որպես CdTe բազային շերտի օհմական հպակ: Իրականացվել են ստացված տետրաէդրային սինգոնիայով կառուցվածքի CdTe թաղանթների և տակդիրի դիֆրակտաչափական հետազոտությունները: Որոշվել են տակդիրի մակերեսային կառուցվածքի անհարթությունների և պոտենցիալի բաշխումները ատոմա-ուժային մանրադիտակով (ԱՈւՄ):

Առանցքային բառեր. անցման էլեկտրաքիմիական-գալվանաստատիկական եղանակ, CdTe բարակ թաղանթներ պղնձի մակերևույթին, p-տիպի հաղորդականություն, դիֆրակտաչափական հետազոտություն, ԱՈւՄ պատկեր, տակդիրի մակերեսային պոտենցիալ, անհարթություններ:

**Zh.R. PANOSYAN, H.N. KOCHARYAN, G.G. TOROSYAN,
M.A. YERANOSYAN, Ye.V. YENGIBARYAN, S.L. GRIGORYAN**

**OBTAINING SEMICONDUCTOR FILMS OF CADMIUM TELLURIDE BY
THE ELECTROCHEMICAL METHOD ON THE SURFACE OF COPPER**

The possibility of obtaining thin CdTe films on the surface of a copper substrate for a thin-film solar cell (CdS /CdTe) is studied. The copper substrate served as an ohmic contact for the base layer of CdTe. X-ray studies of the structure of the CdTe films of cubic syngony and copper were carried out. The distribution of the roughness and surface potential of the substrate by an atomic force microscope (AFM) is determined.

Keywords: electrochemical-galvanostatic method of growth, thin CdTe films on the copper surface, p-type conductivity, X-ray studies, AFM images, surface potential of the substrate, roughness.