

Гибкие солнечные модули на основе сульфида и теллурида кадмия

© Г.С. Хрипунов[¶], Е.П. Черных, Н.А. Ковтун, Е.К. Белоногов^{¶¶,+}

Национальный технический университет „Харьковский политехнический институт“, 61002 Харьков, Украина

⁺ Воронежский государственный технический университет, 394026 Воронеж, Россия

(Получена 12 января 2009 г. Принята к печати 19 января 2009 г.)

Исследованы выходные параметры и световые диодные характеристики гибких тонкопленочных солнечных элементов $\text{ITO}/\text{CdS}/\text{CdTe}/\text{Cu}/\text{Au}$, сформированных на полиимидных пленках вакуумными методами. Путем математического моделирования влияния световых диодных характеристик на эффективность проведена оптимизация физико-технических параметров формирования таких приборных структур. Это позволило получить лабораторные образцы гибких солнечных элементов на основе сульфида и теллурида кадмия с эффективностью 11.4%. Впервые сформированы солнечные модули с эффективностью 4.5% на основе разработанных гибких солнечных элементов.

PACS: 81.05.Qk, 73.61.Ph, 84.60.Jt, 85.30.De

1. Введение

Пленочные солнечные элементы (СЭ) на основе CdTe являются одними из наиболее перспективных для широкомасштабного наземного применения [1]. В наземных условиях такие базовые слои имеют максимальный среди однопереходных полупроводниковых СЭ теоретический коэффициент полезного действия (кпд) — свыше 29%. Это обусловлено оптимальной для фотоэлектрического преобразования солнечного излучения в наземных условиях шириной запрещенной зоны теллурида кадмия — 1.46 эВ [2]. Для организации промышленного производства таких СЭ вполне достаточно природных запасов теллура и кадмия [3]. Комплексные медико-химические исследования показали, что в отличие от кадмия теллурид кадмия не является токсичным [4]. При этом CdTe обладает высокой устойчивостью к разложению, поэтому в процессе эксплуатации СЭ на основе теллурида кадмия не оказывают отрицательного воздействия на здоровье людей [4].

С учетом большей экономичности и радиационной стойкости пленочные СЭ на основе CdS/CdTe представляют альтернативу СЭ на основе моно-Si и GaAs при использовании не только в наземных, но и в заатмосферных условиях [5]. Однако солнечные элементы на основе CdS/CdTe существенно уступали монокристаллическим СЭ по величине электрической мощности, вырабатываемой на единицу веса (приведенной мощности). Приведенная мощность представляет собой важнейшую техническую характеристику при заатмосферном использовании СЭ [6]. Основным направлением увеличения приведенной мощности пленочных СЭ на основе CdS/CdTe является замена стеклянной подложки на легкую гибкую подложку. Это обусловлено тем, что вес стеклянной подложки, которая обычно

используется в конструкции пленочного СЭ на основе CdS/CdTe , составляет 98% веса всей приборной структуры. Однако пленочные СЭ на основе CdS/CdTe , которые для снижения веса формировались на тонких металлических фольгах, на момент постановки задач данного исследования имели недостаточную эффективность — всего на уровне 5% [7]. В настоящее время ряд западных фирм начали производить прозрачные полиимидные пленки толщиной 7–10 мкм, обладающие термостабильностью до 450°C. Это позволяет формировать гибкие СЭ на основе CdS/CdTe так называемой тыльной конфигурации, при которой СЭ освещается со стороны прозрачной подложки. Замена массивной стеклянной подложки на тонкую полиимидную пленку с существенно отличающимися теплофизическими и механическими свойствами неизбежно приводит к необходимости оптимизации фотоэлектрического преобразования в гибких СЭ на основе CdS/CdTe тыльной конфигурации.

2. Методика эксперимента

СЭ на основе CdS/CdTe тыльной конфигурации изготавливались на полиимидных пленках фирмы Uiplex методом неактивного магнетронного распыления мишени, представляющей собой спрессованную механическую смесь порошков In_2O_3 (90 вес%) и SnO_2 (10 вес%) полупроводниковой чистоты. Пленки ИТО формировались при температуре осаждения 300°C.

Исходное парциальное давление составляло 10^{-4} Па. Удельная мощность магнетрона была 1.5 Вт/см², что соответствует диапазону значений, обычно применяемых для получения прозрачных и проводящих пленок ИТО [8]. Распыление ИТО осуществлялось в аргоно-кислородной смеси при давлении $8 \cdot 10^{-1}$ Па. В таких

[¶] E-mail: khrip@ukr.net

^{¶¶} E-mail: belonogov@phis.vorstu.ru

условиях формировались слои с поверхностным сопротивлением $10 \text{ Ом}/\square$ и средним коэффициентом пропускания в видимом спектральном диапазоне около 90%. Получение приборной гетеросистемы CdS/CdTe осуществлялось в едином технологическом цикле методом термического вакуумного осаждения из графитовых испарителей при исходном вакууме на уровне 10^{-4} Па. Полученные приборные гетеросистемы подвергались стандартной для этого типа СЭ „хлоридной“ обработке [9,10]. Для этого на поверхность слоев CdTe методом термического испарения без нагрева подложки наносились пленки CdCl₂. Затем полученные многослойные пленочные системы ITO/CdS/CdTe/CdCl₂ отжигались на воздухе в закрытом объеме при температуре 430°C в течение 25 мин. Для удаления продуктов реакции отожженные образцы травились в 5% растворе брома в метаноле. Для формирования верхних электродов СЭ на протравленную поверхность теллурида кадмия в вакуумной установке термическим испарением наносились двухслойные электрические контакты Au-Cu.

При освещении СЭ преобразование солнечной энергии в электрическую осуществляется в результате протекания ряда физических процессов: генерации, диффузии, дрейфа, разделения и собирания неравновесных носителей заряда. Интегральная эффективность этих фотоэлектрических процессов определяет выходные параметры СЭ: плотность тока короткого замыкания J_{sc} , напряжение холостого хода V_{oc} , фактор заполнения FF нагрузочной световой вольт-амперной характеристики (ВАХ) и в конечном итоге коэффициент полезного действия η .

Согласно эквивалентной схеме СЭ [11], количественными характеристиками фотоэлектрических процессов являются световые диодные характеристики солнечного элемента: плотность фототока J_F , плотность диодного тока насыщения J_0 , коэффициент идеальности диода A , последовательное сопротивление R_p и шунтирующее сопротивление R_{sh} , рассчитываемые на единицу площади СЭ.

Связь эффективности со световыми диодными характеристиками в неявном виде описывается теоретической световой ВАХ солнечного элемента [12]:

$$J_L = -J_F + J_0 \left[\exp \frac{e(V_L - J_L R_p)}{A k_B T} - 1 \right] + \frac{V_L - J_L R_p}{R_{sh}}, \quad (1)$$

где J_L — плотность тока, протекающего через нагрузку, e — заряд электрона, k_B — постоянная Больцмана, T — температура солнечного элемента, V_L — падение напряжения на нагрузке.

Путем аппроксимации экспериментально полученных значений тока I_L и напряжения V_L с помощью теоретического выражения (1) можно определить выходные параметры, световые диодные характеристики и КПД солнечного элемента (см., например, [12,13]). При этом непосредственно в соответствии с теоретическим выражением (1) можно лишь качественно идентифицировать

влияние световых диодных характеристик на выходные параметры и эффективность СЭ. В то же время для идентификации физических механизмов, определяющих КПД солнечного элемента, полезно устанавливать количественную связь между параметрами, характеризующими работу СЭ. Это позволяет определять доминирующие световые диодные характеристики, изменение которых при изменении технологических параметров изготовления СЭ обуславливает изменение его КПД. В результате появляется возможность существенно уменьшить объем последующих экспериментальных исследований по установлению закономерности влияния технологических параметров изготовления пленочных СЭ на основе CdS/CdTe на их эффективность, что и является предметом исследования данной работы. Для реализации указанного подхода изготавливалась серия СЭ, у которых отличается один технологический параметр (например, толщина слоя сульфида кадмия d_{CdS}). Из серии вначале выбирают исходный (первый) и следующий (второй) солнечные элементы. Затем измеряются световые ВАХ выбранных элементов. Потом путем аппроксимации экспериментальной световой ВАХ теоретической зависимостью (1) определяют световые диодные характеристики (J_F , R_{sh} , J_0 , A , R_p) и эффективность СЭ (η). Среднеквадратичное отклонение при аппроксимации обычно составляло 10^{-8} – 10^{-10} . При этом величины теоретического и экспериментального КПД, которые рассчитывались по теоретической и экспериментальной световой ВАХ, совпадали с точностью 0.01%. На следующем этапе определяли интервалы значений, в которых изменились световые диодные характеристики. В соответствии с этими интервалами, используя разработанную компьютерную программу, проводили моделирование влияния варьирования в соответствующих экспериментальным значениям интервалах каждой из световых диодных характеристик первого СЭ на эффективность. При этом все световые диодные характеристики первого СЭ, кроме одной, фиксируются, а эта световая диодная характеристика принимает значение из выбранного интервала. По набору световых диодных параметров, в соответствии с выражением (1), программой рассчитывается теоретическая световая ВАХ и определяется КПД. Затем выбирается следующее значение световой диодной характеристики из выбранного интервала и рассчитывается следующая теоретическая световая ВАХ, из которой определяется КПД. В результате мы получаем теоретическую зависимость КПД от изменения в выбранном диапазоне одной из диодных характеристик при фиксированных остальных. Подобное моделирование повторяется для каждой световой диодной характеристики первого СЭ. Анализируя 5 теоретических зависимостей КПД от изменения световых диодных характеристик первого СЭ, мы сопоставляем полученные теоретические значения КПД с экспериментальным КПД второго СЭ и оцениваем количественный вклад изменения каждой из световых

диодных характеристик в экспериментально зафиксированное изменение кпд. Это позволяет идентифицировать те диодные характеристики, изменение которых оказывает доминирующее влияние на экспериментально зафиксированное изменение кпд при изменении технологического параметра изготовления СЭ. Подобная процедура повторяется для второго и третьего СЭ, затем для третьего и четвертого и т.д.

В результате мы можем выделить диапазоны значений технологического параметра, в котором доминирующее влияние на изменение кпд оказывает одна и та же световая диодная характеристика. Это позволяет проводить физически обоснованную оптимизацию конструкции и физико-технологических условий получения СЭ.

3. Экспериментальные результаты

Для идентификации оптимальных технологических параметров при формировании гибких СЭ на основе ITO/CdS/CdTe/CdCl₂/Cu/Au нами варьировалась толщина пленок сульфида кадмия (d_{CdS}) и хлорида кадмия (d_{CdCl_2}). При мощности светового потока 100 мВт/см² были измерены световые ВАХ изготовленных гибких СЭ на основе ITO/CdS/CdTe/Cu/Au, в конструкциях которых были использованы сопрягающие слои различной толщины. Путем аналитической обработки экспериментальных световых ВАХ определялась эффективность, выходные параметры и световые диодные характеристики изготовленных лабораторных образцов СЭ. По характеру зависимости эффективности от световых диодных характеристик можно выделить несколько характерных диапазонов толщин сульфида кадмия. Эффективность, выходные параметры и световые диодные характеристики СЭ, соответствующие этим диапазонам (образцы 1, 2, 3), приведены в таблице.

Варьирование толщины слоев сульфида кадмия при изготовлении солнечных элементов ITO/CdS/CdTe/Cu/Au на полиимидных пленках показало, что при неизменной толщине хлорида кадмия рост толщины слоя сульфида кадмия до 0.50 мкм приводит к увеличению эффективности СЭ. Это обусловлено увеличением напряжения холостого хода. При этом фактор заполнения световой ВАХ несколько уменьшается, а плотность тока короткого замыкания практически не изменяется.

Проведенное численное моделирование влияния изменения световых диодных характеристик на зафиксированное экспериментально изменение кпд солнечного элемента показало, что при увеличении толщины сульфида кадмия до 0.50 мкм определяющее влияние на рост эффективности СЭ оказывает уменьшение плотности диодного тока насыщения. Наблюдаемое экспериментально уменьшение фактора заполнения световой ВАХ вызывается ростом последовательного электросопротивления. Вполне очевидно, что рост R_p обусловлен увеличением сопротивления слоя сульфида кадмия при увеличении его толщины. Увеличение толщины слоя

Выходные параметры и световые диодные характеристики гибких солнечных элементов ITO/CdS/CdTe/CdCl₂/Cu/Au тыльной конфигурации

Образец	1	2	3	4	5
d_{CdCl_2} , мкм	0.08	0.08	0.08	0.11	0.16
d_{CdS} , мкм	0.30	0.55	0.70	0.50	0.50
V_{oc} , мВ	440	712	711	733	756
J_{sc} , мА/см ²	16.9	17.1	15.7	19.3	19.4
FF	0.57	0.51	0.49	0.59	0.49
η , %	4.2	6.3	5.8	8.5	7.2
R_p , Ом·см ²	2.2	5.9	7.2	5.8	12.1
R_{sh} , Ом·см ²	180	218	328	2300	429
J_0 , А/см ²	$1.2 \cdot 10^{-5}$	$1.7 \cdot 10^{-6}$	$1.0 \cdot 10^{-6}$	$1.1 \cdot 10^{-7}$	$5.9 \cdot 10^{-6}$
A	3.5	2.9	2.7	2.2	1.8
J_F , мА/см ²	17.8	17.6	16.0	19.6	19.9

сульфида кадмия свыше 0.50 мкм приводит к снижению эффективности СЭ за счет уменьшения плотности тока короткого замыкания и уменьшения фактора заполнения световой ВАХ. При этом величина V_{oc} практически не изменяется.

Проведенное численное моделирование влияния изменения световых диодных характеристик на изменение кпд солнечного элемента показало, что при увеличении толщины сульфида кадмия от 0.50 до 0.70 мкм снижение эффективности СЭ обусловлено уменьшением фототока. Как и для приборных структур, сформированных на стекле, снижение плотности фототока в гибких СЭ обусловлено соответствующим снижением плотности потока фотонов, поступающих в базовый слой, что вызывается закономерным снижением среднего коэффициента пропускания в видимом диапазоне слоя сульфида кадмия по мере роста его толщины.

По характеру зависимости эффективности гибких солнечных элементов ITO/CdS/CdTe/Cu/Au от толщины слоя хлорида кадмия при проведении „хлоридной“ обработки можно выделить несколько характерных диапазонов. Эффективность, выходные параметры и световые диодные характеристики образцов, соответствующих этим диапазонам, приведены в таблице (образцы 2, 4, 5). Варьирование толщины слоя хлорида кадмия при изготовлении СЭ ITO/CdS/CdTe/CdCl₂/Cu/Au на полиимидных пленках показало, что при неизменной оптимальной толщине слоя сульфида кадмия $d_{CdS} = 0.50$ мкм рост толщины слоя хлорида кадмия до $d_{CdCl_2} = 0.11$ мкм приводит к увеличению эффективности за счет увеличения напряжения холостого хода, фактора заполнения световой ВАХ и плотности тока короткого замыкания. Проведенное численное моделирование влияния изменения световых диодных характеристик на изменение кпд СЭ также показало, что при увеличении толщины хлорида кадмия до $d_{CdCl_2} = 0.11$ мкм рост эффективности СЭ в равной мере обусловлен уменьшением плотности диодного тока насыщения и ростом шунтирующего элек-

тросопротивления. Увеличение толщины слоя хлорида кадмия свыше $d_{\text{CdCl}_2} = 0.11 \text{ мкм}$ приводит к снижению эффективности СЭ за счет уменьшения фактора заполнения световой ВАХ. При этом напряжение холостого хода несколько возрастает, а плотность тока короткого замыкания практически не изменяется. Проведенное численное моделирование влияния изменения световых диодных характеристик на изменение эффективности СЭ показало, что при увеличении толщины хлорида кадмия от 0.11 мкм и более снижение кпд в равной мере обусловлено увеличением R_p и снижением R_{sh} . Для достижения ббльших значений эффективности гибких СЭ на основе ИТО/CdS/CdTe/Cu/Au тыльной конфигурации в первую очередь необходимо улучшить качество сепарирующего барьера для снижения светового диодного тока насыщения.

Было обнаружено, что предварительный отжиг полиимидных пленок с нанесенными слоями ИТО при температуре 400°C приводит к увеличению кпд солнечного элемента до 11.4% за счет увеличения напряжения холостого хода от 733 до 765 мВ, фактора заполнения световой ВАХ от 0.59 до 0.71 и плотности тока короткого замыкания от 19.3 до 20.9 мА/см^2 . Анализ световых диодных характеристик показывает, что увеличение эффективности обусловлено снижением последовательного сопротивления до $R_p = 2.1 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$, плотности диодного тока насыщения до $J_0 = 1.0 \cdot 10^{-8} \text{ А/см}^2$, ростом плотности фототока до $J_F = 21 \text{ мА/см}^2$ и шунтирующего сопротивления до $R_{\text{sh}} = 6400 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$.

Математическое моделирование влияния изменения световых диодных параметров на изменение эффективности СЭ, сформированных на полиимидных пленках, свидетельствует о том, что определяющее влияние на зафиксированный экспериментально рост кпд оказывает уменьшение плотности диодного тока насыщения. Снижение J_0 обусловлено устойчивостью полиимидной подложки с нанесенным слоем ИТО к „хлоридной“ обработке сформированного СЭ. Это в свою очередь уменьшает макродеформацию базового слоя в приборной структуре. Рост макродеформации базового слоя снижает эффективность СЭ за счет многих факторов: ухудшения адгезии, уменьшения подвижности неосновных носителей заряда, введения дополнительных дислокаций, нестабильности электрофизических свойств [14]. Эти негативные процессы интенсифицируются, если осаждение базового слоя происходит на подложки с коэффициентом линейного расширения, ббльшим, чем у полупроводникового материала, либо материал подложки испытывает пластические деформации, что и реализовывалось экспериментально при формировании СЭ на полиимидных пленках.

Нами была проведена апробация разработанных гибких солнечных элементов ИТО (0.5 мкм)/CdS (0.55 мкм)/CdTe (4 мкм)/Cu (12 нм)/Au (50 нм) в составе модуля (рис. 1). Солнечный модуль состоял из четырех микромодулей, соединенных между собою параллельно. Каж-

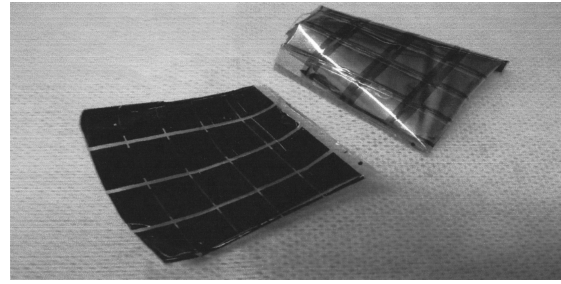


Рис. 1. Образец гибкого солнечного модуля на основе CdS/CdTe.

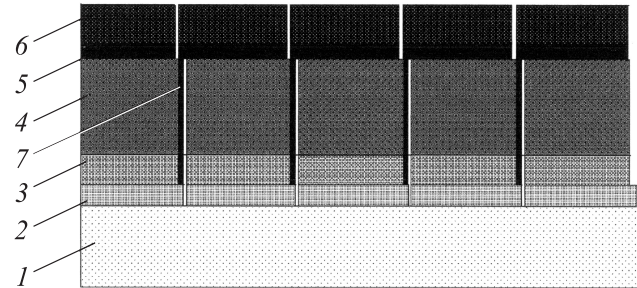


Рис. 2. Конструкция пленочного солнечного модуля на основе CdS/CdTe: 1 — полиимидная подложка, 2 — слой ИТО, 3 — слой CdS, 4 — слой CdTe, 5 — слой Cu, 6 — слой Au, 7 — нелегированные прослойки CdS и CdTe.

дый микромодуль представлял собой 5 последовательно соединенных солнечных элементов.

При изготовлении солнечного модуля использовался набор соответствующих металлических масок, что более экономично, чем применение фотолитографии. Первая маска в технологии изготовления гибкого солнечного модуля применялась при формировании слоев ИТО. Вторая маска использовалась для нанесения слоев сульфида и теллурида кадмия, третья система масок применялась для формирования слоя хлорида кадмия и нанесения металлических электродов. Технологической новацией разработанной конструкции солнечного модуля (рис. 2) явилось то, что в качестве диэлектрической прослойки, отделяющей элементы в микромодуле, использовались высокоомные слои CdS и CdTe, которые не подвергались „хлоридной“ обработке.

Были исследованы световые ВАХ микромодулей, входящих в состав модуля (рис. 3, а). Для типичного микромодуля кпд составляет 5.4%. При этом $J_{\text{sc}} = 2.8 \text{ мА/см}^2$, $V_{\text{oc}} = 3577 \text{ мВ}$, $\text{FF} = 0.54$. Анализ показывает, что более низкий кпд микромодуля по сравнению с кпд единичного СЭ обусловлен снижением всех выходных параметров. Это связано с увеличением активной площади приборной структуры. В свою очередь это увеличивает вероятность формирования макродефектов, обусловленных недостаточной степенью чистоты лабораторного

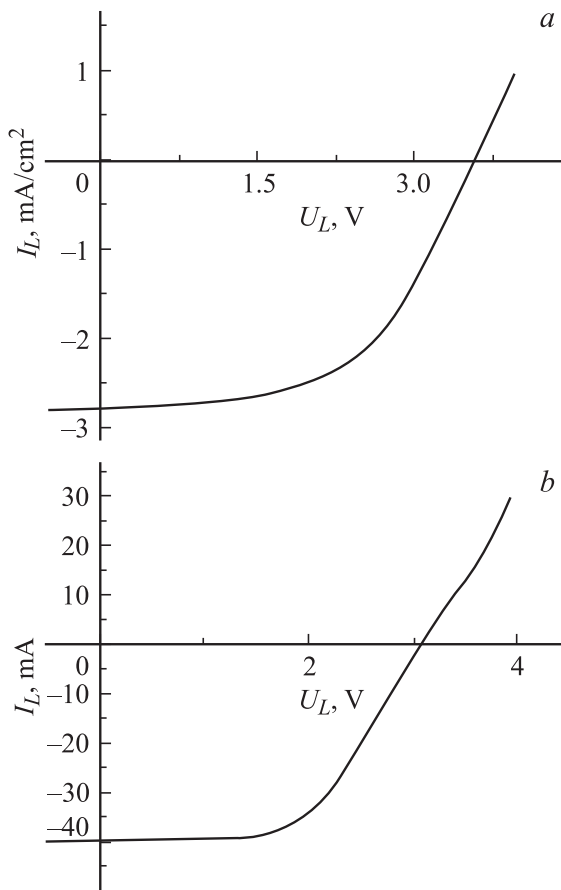


Рис. 3. Световые вольт-амперные характеристики гибкого микромодуля (а) и полного модуля (б).

помещения для изготовления приборных структур микроэлектроники. В стандартных условиях предприятия микроэлектронного профиля влияние макродефектов на КПД солнечного элемента не будет столь существенным.

Типичная световая ВАХ гибкого солнечного модуля представлена на рис. 3, б. Эффективность приборной структуры составила 4.6%, напряжение холостого хода 3.070 В, ток короткого замыкания 0.401 А, фактор заполнения световой ВАХ — 0.53.

4. Заключение

Показано, что для гибких солнечных элементов ИТО/CdS/CdTe/Cu/Au оптимальная толщина слоя сульфида кадмия составляет 0.5 мкм, что определяется двумя конкурирующими физическими процессами: одновременным изменением плотности диодного тока насыщения и плотности фототока. При проведении „хлоридной“ обработки максимальная эффективность пленочных солнечных элементов ИТО/CdS/CdTe/CdCl₂/Cu/Au наблюдается при толщине слоя хлорида кадмия 0.35 мкм. В этом случае одновременно достигаются минимальные значения последовательного электросопротивления и плот-

ности диодного тока насыщения, а также максимальное значение плотности фототока.

Установлено, что предварительный отжиг гибкой подложки с сформированным слоем ИТО на воздухе при 400 °С за счет снижения плотности диодного тока насыщения $1.0 \cdot 10^{-8}$ А/см² приводит к увеличению эффективности приборной структуры до 11.4%.

Впервые на полиимидных пленках изготовлены гибкие микромодули на основе сульфида и теллурида кадмия с КПД 5.4%, представляющие собой 5 последовательно соединенных СЭ, и гибкие модули с эффективностью 4.5%, состоящие из четырех соединенных параллельно микромодулей.

Работа поддержана грантом РФФИ № 08-08-99071-р.

Список литературы

- [1] J.J. Loferski. *J. Appl. Phys.*, **27**, 777 (1956).
- [2] A. De Vos, J. Parrott, P. Baruch, P. Landsberg. *Proc. 12th Eur. Photovoltaic Solar Energy Conference* (Amsterdam, Netherlands, 1994) p. 1315.
- [3] B.A. Anderson. *Progr. Photovolt. Res. Appl.*, **8**, 61 (2000).
- [4] V. Ethenakis, M. Fuhrmann, J. Heiswer, A. Lanzirrotti, J. Fitts, W. Wang. *Progr. Photovolt.: Res. Appl.*, **13**, 713 (2005).
- [5] E.S. Fairbanks, M.T. Gates. *Proc. 26th IEEE Photovoltaic Specialist Conference* (N.Y., USA 2000), № 8, p. 27.
- [6] Ж.И. Алфёров, В.М. Андреев, В.Д. Румянцев. *ФТП*, **38** (8), 937 (2004).
- [7] A. Seth, G.B. Lush, V.P. Singh, D. Flood. *Sol. Energy Mater. & Solar Cells*, **86** (1), 35 (1999).
- [8] T. Coutts, X. Wu, P. Sheldon, D. Rose. *Proc. 2nd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion* (Vienna, Austrian, 1999) p. 720.
- [9] B.E. McCandless, I. Youm, R.W. Birkmire. *Proc. Progress in Photovolt.: Res. Appl.*, **7**, 21 (1999).
- [10] A. Romeo, D. Batner, H. Zogg, A. Tiwari. *Thin Sol. Film*, **361–362**, 420 (2000).
- [11] H.S. Raushenbach. *Solar Cells Array Design* (N.Y., Litton Uducation Publishing, 1980).
- [12] G. Khrypunov, B. Boyko, E. Chernykh, A. Meriuts. *Proc. 17th European Photovoltaic Solar Energy Conversion and Exhibition* (Munich, Germany, 2001) p. 1140.
- [13] B.T. Boyko, V.R. Kopach, G.S. Khrypunov, O.P. Chernykh, N.P. Klochko, O.S. Zakharchenko. *Functional Mater.*, **8** (3), 522 (2001).
- [14] R. Hill. *Active and Passive Thin Film Device* (1978) p. 487.

Редактор Т.А. Полянская

Flexible solar modules on the cadmium sulfide and cadmium telluride base

G.S. Khrypunov, E.P. Chernykh, N.A. Kovtun,
E.K. Belonogov⁺

National Technical University „Kharkov Polytechnic
Institute“,
61002 Kharkov, Ukraine

⁺ Voronezh State Technical University,
394026 Voronezh, Russia

Abstract Out parameters and light diode characteristics of the flexible thin film solar cell of ITO/CdS/CdTe/Cu/Au, formed on polyimide films by vacuuming methods, were investigated. By the mathematical modeling of influence of light diodes characteristics on efficiency, optimization of physic-technological parameters of the forming of such device structures is conducted. It allowed to receive the laboratory samples of the flexible thin film solar cells on cadmium sulfide and cadmium telluride base with efficiency 11.4%. First on the basis of developed flexible thin film solar cell the solar modules are formed with efficiency 4.5%.