

УДК 538.975:621.383.5

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМНОВЫХ И СВЕТОВЫХ
ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОПЕРЕХОДОВ n-CdS/p-CdTe И n-ZnS/p-CdTe**

Конопленко А.П., Доброжан О.А.
Сумский государственный университет

UDC 538.975:621.383.5

**MODELING OF DARK AND LIGHT VOLTAGE-CURRENT
CHARACTERISTICS OF SOLAR CELLS ON THE BASIS OF n-CdS/p-CdTe
AND n-ZnS/p-CdTe HETEROJUNCTIONS**

Konoplenko A.P., Dobrozhan O.A.
Sumy State University

Аннотация: В работе выполнено моделирование вольт-амперных характеристик солнечных преобразователей на основе гетеропереходов (ГП) n-ZnS/p-CdTe и n-CdS/p-CdTe в программной среде SCAPS-3200. Показано, что замена традиционного материала CdS оконного слоя фотоэлектрических приборов на более широкозонный материал ZnS приводит к увеличению эффективности устройства. Установлены конструктивные параметры солнечных элементов на основе многослойной n-ZnS/p-CdTe системы, обеспечивающие их максимальную эффективность. Это дает возможность оптимизировать технологию получения более дешевых и высокоэффективных тонкопленочных солнечных преобразователей.

Ключевые слова: солнечный преобразователь, вольт-амперные характеристики, оконный слой, сульфид цинка, сульфид кадми.

Abstract: Modeling of dark and light I-V characteristics of solar cell films on the basis of ideal n-ZnS/p-CdTe and n-CdS/p-CdTe heterojunctions with the use of SCAPS-3200 software environment is held in this work. It is shown that the replacement of traditional material CdS of window layer of photovoltaic devices with

more wide area ZnS material leads to increase the efficiency. The constructive parameters of solar cells based on multilayer n-ZnS/p-CdTe system which provide their maximal efficiency were established. It makes possible to optimize the technology for obtaining real cheap and highly effective thin film solar energy transducers.

Key words: solar cell, voltage-current characteristics, window layer, zinc sulfide, cadmium sulfide

Использование солнечной энергии сегодня рассматривается как перспективный способ выхода из глобального энергетического кризиса. Среди различных способов преобразования энергии Солнца в электрическую особое внимание привлекает ее фотоэлектрическое преобразования. В наше время для создания солнечных элементов (СЭ) используется монокристаллический, поликристаллический и аморфный Si, тонкие пленки различных полупроводников и даже органические материалы. Пленки теллура кадмия (CdTe) сегодня рассматриваются как один из наиболее перспективных материалов для создания экономически эффективных фотопреобразователей, поскольку этот материал имеет оптимальную для преобразования солнечной энергии ширину запрещенной зоны ($E_g = 1,46$ эВ) и является прямозонным, что обеспечивает сто процентное поглощения света уже при толщине слоя $d \sim 2-3$ мкм. По теоретическим оценкам эффективность пленочных СЭ с поглощающим слоем CdTe составляет 28-30 % [1]. Реальный коэффициент полезного действия (КПД) таких фотопреобразователей намного ниже. Наиболее перспективными для создания высокоэффективных фотопреобразующих приборов считаются СЭ на основе ГП. Так для фотопреобразователей со структурой n-CdS/p-CdTe в наше время получено КПД 18,3 % [2]. Дальнейшее повышение экономической эффективности таких элементов возможно как путем увеличения их КПД в следствие оптимизации конструкции так и путем удешевления технологии производства.

Для проведения моделирования электрических характеристик тонко-

пленочных СЕ на основе ГП была использована программа SCAPS-3200, позволяющая рассчитывать темновые и световые вольтамперных характеристик (ВАХ) СЕ при различных условиях освещения. В результате их анализа определены такие характеристики устройств как: КПД (η), фактор заполнения ВАХ (FF), плотность тока короткого замыкания (J_{sc}) и напряжение холостого хода (U_{oc}).

Используемое программное обеспечение требует задания основных параметров оконных и поглощающих слоев входящих в состав СЕ (средства к электрону $\chi(x)$, коэффициента поглощения $\alpha(x,\lambda)$, эффективной плотности состояний в валентной зоне и зоне проводимости $N_C(x)$, $N_V(x)$, концентрации примесей $N_C(x)$, $N_A(x)$ подвижности носителей заряда $\mu_n(x)$, $\mu_p(x)$, рекомбинационных свойств материалов $N_i(x)$, $\sigma_n(x)$, $\sigma_p(x)$ и т. д.) в виде таблицы:

В таблице 1 приведены основные характеристики полупроводниковых материалов, использовавшиеся при моделировании физических процессов в ГП n-CdS/p-CdTe и n-ZnS/p-CdTe. Моделирование проводилось в условиях освещенности AM-1,5 при комнатной температуре ($T=300$ К).

Таблица 1 – Основные характеристики полупроводниковых слоев, использовавшиеся при моделировании

Параметры	Слои		
	p - CdTe	n - CdS	n - ZnS
Ширина запрещенной зоны (300 К) E_g , eВ	1,46	2,45	3,68
Сродство к электрону χ , eВ	4,28	4,5	4,45
Диэлектрическая проницаемость ε	10,6	10	8,3
Эффект. плотн. сост. зоны проводим. N_C , см ⁻³	9,15·10 ¹⁷	2,2·10 ¹⁸	6,34·10 ¹⁸
Эффект. плотн. сост. валентной зоны N_V , см ⁻³	5,19·10 ¹⁸	1,8·10 ¹⁸	1,46·10 ¹⁹
Подвижность электронов μ_n , см ² /В·с	70	50	30
Подвижность дырок μ_p , см ² /В·с	30	5	7

Основными конструктивными параметрами, влияющими на эффективность работы СЕ являются толщина оконного и поглощающего слоев. Соответственно, в работе было произведено исследование воздействия этих величин на характеристики фотопреобразователей и определены их

оптимальные значения. Моделирование проводилось в диапазоне изменения толщины поглощающего слоя CdTe $d = 0,1 - 5,0$ мкм и оконного слоя ZnS (CdS) $d = 0,05-0,50$ мкм.

Рассчитанные в результате моделирования темновые и световые ВАХ СЕ двух типов представлены на рис. 1.

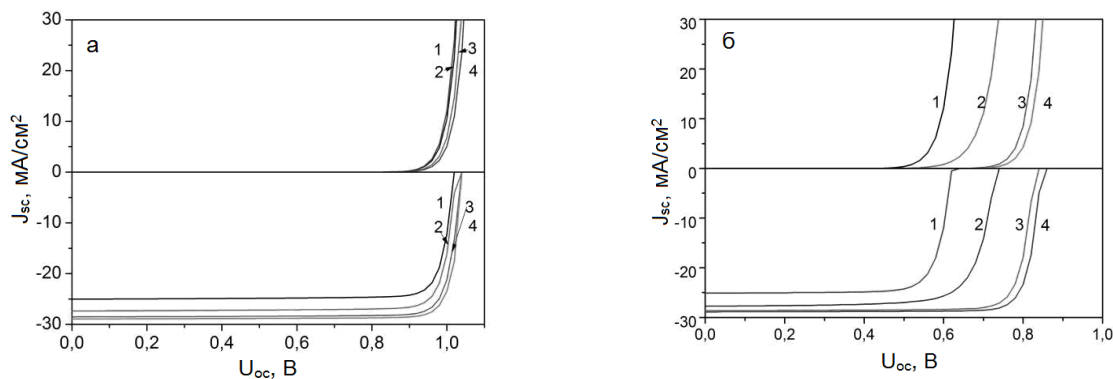


Рис. 1 – Темновые и световые ВАХ СЕ с ГП n-ZnS/p-CdTe (а) та n-CdS/p-CdTe (б) при разной толщине d_{CdTe} : 0,5 мкм (1), 1 мкм (2), 3 мкм (3), 5 мкм (5)

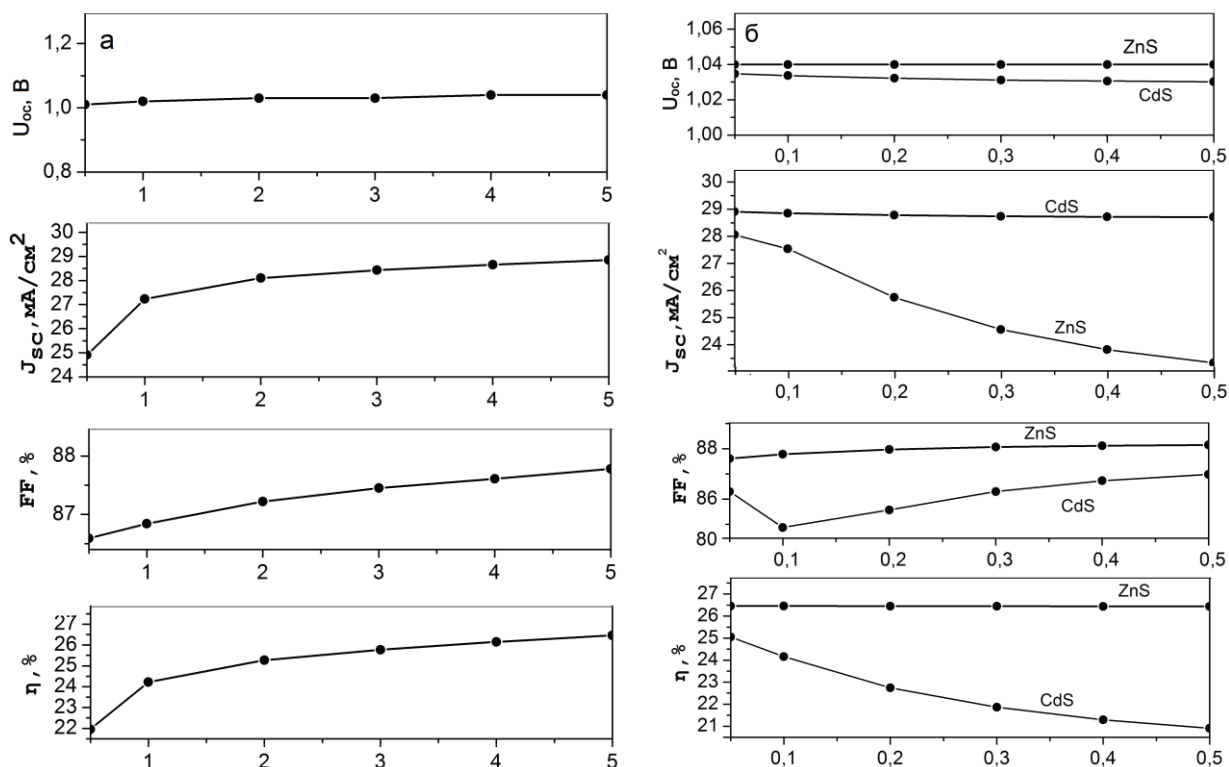


Рис. 2 – Зависимость U_{oc} , J_{sc} , FF, η от толщины поглощающего слоя CdTe при $d_{ZnS} = 0,05$ мкм (а) и оконных слоев CdS, ZnS при $d_{CdTe} = 3$ мкм (б)

Анализ световых ВАХ СЕ показал, что их КПД существенно повышается при увеличении толщины поглощающего слоя CdTe до 3-4 мкм, практически стабилизируясь при больших значениях. При увеличении толщины оконного слоя характеристики СЕ ухудшаются (рис. 2). Особенно это заметно для фотопреобразователей с оконным слоем CdS КПД которых снижается от 25,05 до 20,91% при увеличении толщины d_{CdS} от 0,05 мкм до 0,5 мкм. Эффективность СЕ n-ZnS/p-CdTe слабо зависит от толщины слоя ZnS. Показано, что замена традиционного материала оконного слоя фотопреобразователей CdS на более широкозонный материал ZnS приводит к росту их КПД почти на 1,5%. Сравнение результатов моделирования с параметрами реальных СЕ позволило наметить пути повышения их экономической эффективности путем оптимизации их конструкции.

Литература

1. Poly-crystalline CdTe thin films for photovoltaic applications / *A. Bosio, N. Romeo, S. Mazzamuto, V. Canevari* // *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*. – 2006. – V. 52, №4. – P. 247-279.
2. <http://www.researchgate.net/go.Deref.html?url=http%3A%2F%2Fwww.greentechmedia.com%2Farticles%2Fread%2FGE-Research-Beats-First-Solars-CdTe-PV-Efficiency-Record>.

Сведения об авторах:

Конопленко Александр Петрович, студент, Сумский государственный университет, г. Сумы, ул. Римского-Корсакова, 2, +380666978426, team10@meta.ua, интересы: измерение и моделирование вольт-амперных характеристик тонкопленочных солнечных преобразователей.

Доброжан Александр Анатольевич, аспирант, Сумский государственный университет, г. Сумы, ул. Римского-Корсакова, 2, +380508009428, dobrozhan.a@ukr.net, интересы: синтез функциональных материалов для тонкопленочных солнечных преобразователей безвакуумными методами, исследования основных вольт-амперных характеристик солнечных элементов с поглощающим слоем CdTe, синтез наноразмерных материалов для гелиоэнергетики.

Руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор, Опанасюк Анатолий Сергеевич, Сумский государственный университет, г. Сумы, ул. Римского-Корсакова, 2, +380662204106, opanasjuk.sumdu@ukr.net, интересы: материаловедение соединений A_2B_6 и их твердых растворов, использование данных материалов в электронике. Исследование структурных, электрических и оптических свойств пленок полупроводниковых соединений CdTe, CdSe, ZnO, ZnTe, ZnSe, ZnS, CdMnTe, CdMnS, SnS, SnSe. Создание тонкопленочных фотопреобразователей солнечной энергии и детекторов излучения.