

Полвонов Бахтиёр Зайлобидинович,  
к. ф.-м.н., доцент,  
Насиров Мардон Халдарбекович, ассистент,  
Полвонов Обиджон Зайлобидинович, ассистент,  
Туйчибаев Бахадир Курбаналиевич, ассистент,  
Ферганский политехнический институт,  
E-mail: [bakhtiyor@mail.ru](mailto:bakhtiyor@mail.ru)

## ОСОБЕННОСТИ ПОВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ ПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР ХАЛЬКОГЕНИДОВ КАДМИЯ

*Работа посвящена проблеме повышения мощности аномально фотовольтаических пленочных структур на основе поликристаллических пленочных структур CdTe, CdTe:In, CdTe/CdS в качестве солнечных фотопреобразователей и фотогенераторов напряжения. Исследования относятся к области физике полупроводников и получения материалов оптоэлектроники и гелиотехники*

*Ключевые слова: Фотовольтаическая пленочная структура, поликристаллическая пленочная структура, фотогенератор, фотонапряжение, солнечная фотопреобразователь, халькогенидов кадмия, CdTe, CdTe:In, CdTe/CdS.*

Polvonov Bakhtiyor Zaylobidinovich,  
Phd, associate professor,  
Nasirov Mardon Khaldarbekovich, assistant,  
Polvonov Obidzhon Zaylobidinovich, assistant,  
Tuychibaev Bakhadir Kurbanalievich, assistant,  
Fergana Polytechnic Institute

## FEATURES OF INCREASING THE POWER OF PHOTOVOLTAIC FILM STRUCTURES OF CADMIUM CHALCOGENIDES

*The work is devoted to the problem of increasing the power of anomalously photovoltaic film structures based on polycrystalline film structures, as solar photoconverters and voltage photogenerators. The research relates to the field of semiconductor physics and the production of materials for optoelectronics and solar technology*

*Key words: Photovoltaic film structure, polycrystalline film structure, photogenerator, photovoltage, solar photoconverter, cadmium chalcogenides, CdTe, CdTe:In.*

Разработана технология изготовления тонких ( $d \leq 1,0$  мкм) аномально фотовольтаических (АФВ) пленок CdTe:In методом вакуумного испарения, позволяющая  $10^3$  раз увеличить мощности фотогенератора напряжения. Это достигнуто за счет повышения эффективности генерации фотонапряжения пленкой CdTe с помощью легирования её примесью индия во время выращивания методом термического испарения в вакууме  $10^{-3} - 10^{-5}$  мм. рт. ст. путем испарения CdTe и In из отдельных тиглей. При этом исходная масса напыляемой примеси составляла 3–7 вес. % от массы основного полупроводникового соединения. Температура стеклянной подложки варьировалась в пределах 250–300 °С. Свежеприготовленные поликристаллические образцы CdTe:In с толщиной  $d \approx 0,8 - 1,0$  мкм и площадью

$5 \times 20 \text{ мм}^2$ , со скоростью конденсации  $v_k \approx 1,5 - 2,0 \text{ нм/с}$ , углом напыления  $40 - 50^\circ$ , оказались более низкоомными и относительно слабо выражались аномальными фотовольтаическими свойствами ( $V_{\text{АФН}} = 50 - 100 \text{ В}$ ). В результате термической обработки (ТО) на воздухе в присутствии паров соактиватора  $\text{CdCl}_2$  при температуре  $250 - 300^\circ \text{C}$  в течение 2–4 мин образцы  $\text{CdTe:In}$  при комнатной температуре генерировали максимальное фотонапряжение до значений  $(2 - 4) \cdot 10^3 \text{ В}$ , т.е. на порядок больше, чем специально нелегированные образцы  $\text{CdTe}$  (где  $V_{\text{АФН}} = 200 - 600 \text{ В}$ ). При этом фототок короткого замыкания увеличивался более чем на два порядка и достигал до значения  $I_{\text{к.з.}} \approx 10^{-8} \text{ А}$ . Световые сопротивления при интенсивности света  $L \approx 10^3 \text{ лк}$  пленок  $\text{CdTe}$ ,  $\text{CdTe:In}$  – свежеприготовленной и  $\text{CdTe:In}$  – термообработанной имели значения  $R_{\text{св.}} = 2 \cdot 10^{12}$ ,  $3 \cdot 10^{10}$  и  $2 \cdot 10^{11} \text{ Ом}$ , соответственно. Они генерировали  $V_{\text{АФН}} \approx 200 \text{ В}$ ,  $60 \text{ В}$  и  $2000 \text{ В}$ , следовательно, [2] мощности этих фотогенераторов, пропорциональной  $V_{\text{АФН}}^2 / R_{\text{св.}}$ , относились как, 2:12:2000. Таким образом, мощность легированной  $\text{In}$  АФВ пленок  $\text{CdTe:In}$  после ТО увеличивается более чем на два порядка, а по сравнению с нелегированной пленкой – в  $10^3$  раза. Это объясняется тем, что атомы замещения  $\text{In}$  во время ТО пленки в результате термополевой миграции (диффузии) увеличивают асимметрию потенциальных барьеров на границе кристаллических зерен, что повышает эффективность генерации АФН пленкой  $\text{CdTe:In}$ . Показано, что электрофизические и АФВ свойства термообработанных пленок  $\text{CdTe:In}$  существенно стабилизируются.

Экспериментально исследована форма спектров низкотемпературной фотолюминесценции косонапыленных поликристаллических пленок  $\text{CdTe}$ ,  $\text{CdTe:In}$  с АФВ свойствами. Эксперимент проводился в геометрии нормального освещения и почти нормального излучения и установлено следующие. Спектр фотолюминесценции (ФЛ) поликристаллической пленки с АФВ свойством и монокристалла  $\text{CdTe}$  качественно отличаются. Основной вклад в ФЛ пленки дает излучательная рекомбинация  $e-h$  свободных носителей (А-линия с полушириной  $14,2 \pm 0,1 \text{ мэВ}$ ) и краевая люминесценция с широкой дублетной структурой (В- и С – линии с полуширинами  $18,5 \pm 0,1 \text{ мэВ}$  и  $32,2 \pm 0,1 \text{ мэВ}$ ). Максимумы А- и В- линий излучения отличаются на энергию продольно оптического фонона  $\hbar\omega_{\text{LO}} = 0,021 \text{ эВ}$ . Значит симметричная В-линия является LO-повторением собственной полосы излучения А, которая отсутствовала в спектре монокристалла при заданной интенсивности лазерного возбуждения  $\sim 0,44 \text{ Вт/см}^2$ . Пологий максимум С-линии излучения отстает от А-линии более чем на  $2\hbar\omega_{\text{LO}}$  и она формируется в результате рекомбинации зона-зона с излучением 2LO, 3LO и т.д. фононов. Анализом спектра ФЛ легированной  $\text{In}$  пленки  $\text{CdTe}$  без ТО показано, что введение примесных атомов индия сильно деформирует спектр ФЛ: во-первых, существенно сужается полуширина А-линии (до  $6 \text{ мэВ}$ ), что и коррелируется падением (почти на порядок) максимального значения  $V_{\text{АФН}}$  у свежеприготовленной пленки  $\text{CdTe:In}$ ; во-вторых, полоса краевой люминесценции (В- и С- линии), также как и канал горячей ФЛ исчезают; в-третьих, резкая красная граница собственного излучения сдвигается в длинноволновую сторону на  $\approx 3 \text{ мэВ}$ . Донорные примеси замещения  $\text{In}_{\text{Cd}}$  создают мощный канал безызлучательной рекомбинации, тем самым, сильно уменьшают роль LO –фононов и

увеличивают электропроводность пленки  $CdTe:In$ , чем и определяется ухудшение её АФВ свойства. После оптимальной ТО пленки  $CdTe:In$  спектр ФЛ качественно не претерпевает сильного изменения [3].

Однако ТО приводит к уширению линии А почти в три раза (полуширина достигает значения  $\sim 17 \text{ мэВ}$ , а значение  $V_{AFH}$  - почти  $3 \cdot 10^3 \text{ В}$ ). Процесс ТО стимулирует наряду с АФВ свойством легированной пленки, также и её собственной полосы ФЛ. Таким образом, наблюдается четкая корреляция между АФВ свойством и формой полосы собственной ФЛ косоапыленных пленок  $CdTe$ , при легировании In и ТО спектр ФЛ сильно трансформируется в соответствии с изменением АФВ свойств пленки. Это позволяет целенаправленно управлять технологией изготовления фотовольтаических пленочных структур методом изкотемпературной фотолюминесценции. Полученные результаты представляют интерес для пленочной оптоэлектроники и гелиотехники.

#### Литература:

1. **Akhmadaliev, B.J.** Journal of Applied Mathematics and Physics [Text] / B.Z. Polvonov, O.M. Маматов, N.Kh.Yuldashev // Vol.4, No.2. pp.391, USA, (2016)
2. **Akhmadaliev, B.J.** Journal of Surface Investigation. [Text] / B.Z. Polvonov, N.Kh. Yuldashev // X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 10, 6, pp.1173, (2016)
3. **Polvonov, B.Z.** Semiconductors [Text] / N.Kh.Yuldashev // 50, 8, pp.1001, (2016)