

Сулаймонов Хусанбой Маннопович,  
ст. преподаватель, uzferfizika@mail.ru  
Йулдашев Хуршид Толипович, к.ф.-м.н., доцент,  
Нурматов Озодбек Равшанович,  
Рахмонов Тохир Имомалиевич,  
Мухаммадякубов Хусанбой Элмуратович,  
Ферганский политехнический институт,  
Узбекистан

### **ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР CdTe:Sn ПРИ СТАТИЧЕСКИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЯХ**

*Обнаружена сильная зависимость эффекта аномально большого фотонапряжения (АФН) в косонапыленных поликристаллических тонких ( $d \leq 1$  мкм) пленках теллурида кадмия от количества примеси олово и технологических параметров. С целью выявления природы и механизма высоковольтного фотовольтаического эффекта в слоях теллурида кадмия с примесью олово экспериментально исследовано влияние механических воздействий на их электрофизические и фотоэлектрические свойства.*

*Ключевые слова: теллурид кадмия, тонкие пленки, поликристаллическая структура, аномально высокий фотовольтаический эффект, механическая деформация, вольт-амперные, люкс-амперные, люкс-вольтовые, деформационные характеристики.*

Sulaimonov Khusanboy Mannopovich, senior lecturer,  
Yuldashev Khurshid Tolipovich, C.Ph.-M.Sc., assoc., prof.,  
Nurmatov Ozodbek Ravshanovich  
Rakhmonov Tokhir Imomalievich  
Muhammadyakubov Husanboy Elmuratovich,  
Ferghana Polytechnic Institute, Uzbekistan

### **PHOTOELECTRIC PROPERTIES OF SEMICONDUCTOR POLYCRYSTALLINE FILM STRUCTURES OF CdTe: Sn AT STATIC MECHANICAL DEFORMATIONS**

*Strong dependence of effect is found out is abnormal the big photovoltage (APV) in косонапыленных polycrystalline thin ( $d \leq 1 \mu\text{m}$ ) films of telluride of cadmium from quantity of an impurity tin and technological parametres. For the purpose of revealing of the nature and the mechanism high-voltage photovoltaic effect in layers of telluride of cadmium with an impurity tin is experimentally investigated influence of mechanical influences on their electro physical and photo-electrical properties.*

*Key words: cadmium telluride, thin films, polycrystalline structure, the abnormal high photovoltage effect, mechanical deformation, volt-ampere, lux-ampere, lux-voltage, deformation characteristics.*

**Введение.** Неоднородные полупроводниковые структуры представляют основу большинство излучателей и приёмников света, используемых в современных  
*Известия ОшТУ, 2019 №3*

оптоэлектронных приборах [1]. В обычных условиях эксплуатации наряду с влиянием на них электрических и магнитных полей, температуры и излучения они испытывают значительные механические воздействия, которые приводят к изменению объема и симметрии кристаллов, спектра энергии электронов и соответственно кинетические, оптические резонансные и другие явления, протекающие в неоднородных структурах. Изучение влияния деформации неоднородных полупроводниковых структур на их электрические и фотоэлектрические свойства имеет большое теоретическое и практическое значение для понимания явлений происходящих в них и для создания на их основе новых приборов [2]. В неоднородной структуре на контакте между различными однородностями образуется потенциальный барьер и область объемного заряда. При освещении барьерной структуры происходит оптическая генерация носителей зарядов и их разделение электрическим полем барьера. В связи с этими на контактах между однородными зернами структурами появляется напряжение  $qE_f$ . Если освещенная диодная структура замкнута на внешнее сопротивление  $R$ , то в цепи возникает ток. Авторами работ [3] теоретически и экспериментально исследовано образование фотонапряжения в кремниевых солнечных фотоэлементах под действием механического усиления  $P$ .

Из полученных результатов авторы пришли к выводу, что существенные изменения фотоэдс  $E_j^\sigma = E_j + \Delta E_2^\sigma$  неоднородных структур при деформации вызваны изменением потенциального барьера в области объемного заряда.

В настоящее время имеется большое количество работ посвященных исследованию АФН в различных полупроводниковых структурах (см, например [4-7]). Однако до сих пор нет единого мнения относительно природы и механизма этого эффекта.

Поликристаллические полупроводниковые структуры в виде косонапыленной пленки были получены методом открытого термовакуумного напыления в квазизамкнутом объеме на прозрачную диэлектрическую подложку из определенных порций теллурида кадмия, а также методом дискретного испарения смесей из компонентов определенного состава.

Анализ литературных данных показывает, что фотовольтаические пленки имеют очень сложное внутреннее структурное строение, заведомо они состоят из различных блочных асимметричных микропотенциальных барьеров [6,7]. Следовательно, природу и механизма АФН-эффекта целесообразно связать с природой образования и свойством потенциальных барьеров на границах кристаллических зерен. В настоящей работе экспериментально исследуется влияние примеси олова на количественные характеристики фотовольтаического эффекта в поликристаллических тонких ( $d \leq 1$  мкм) пленках теллурида кадмия. С целью выявления природы и механизма высоковольтного фотовольтаического эффекта в поликристаллических слоях теллурида кадмия с примесью олова исследовано влияние механических воздействий на их электрофизические и фотоэлектрические свойства. При этом основное внимание уделяется на технологии получения высокочувствительных фотовольтаических пленок CdTe:Sn и изучение их электрофизических, фотоэлектрических и тензометрических свойств. Ниже будет рассмотрено принципиальные вопросы совершенствования технологии получения тонких пленок с аномальным фотовольтаическим свойством из теллурида кадмия с примесью олова. Приводятся результаты экспериментального исследования вольт-амперных, люкс-амперных, люкс-вольтовых, деформационных характеристик изготовленных пленок.

**Технология получения пленок.** Пленочные элементы, генерирующие фотонапряжения более 100 В на один см длины пленки при комнатной температуре получении [8] сублимацией поликристаллического теллурида кадмия. Знак фотоэдс ближайшего к испарителю края пленки отрицательным для большинства

исследованных пленок. в работе [9] установлено, что получения пленки из  $CdTe$  различного состава наибольшие фотонапряжения достигающие 150-180 В. На один см длины пленки при комнатной температуре генерировали пленки, приготовленные из теллурида кадмия полученного сплавлением нужных весовых количеств чистых и теллура и  $CdTe$  с примесью мишьяка.

Электронно-микроскопические исследования слоев полученных из  $CdTe$  [9], показал, что они состоят из кристаллитов ориентированных в направлении осаждения молекулярного пучка. Эти результаты согласуются с данными работы [8]. В отличие от [8, 9, 10] нам удалось разработать новую технологию получения пленок теллурида кадмия с примесью олова. Исходным материалом был поликристаллический теллурида кадмий стехиометрического состава и компоненты кадмия и теллура. Вакуумная камера где производилось напыление пленок представляла собой стеклянный колпак внутри которого располагались подложка (стекло и орг. стекло) и тангаловая лодочка. Подложка помещалась под углом  $30^{\circ}$  по отношению к направлению молекулярного пучка на расстоянии 5-7 см от испарителя. Исследовано влияние примеси олова на фотовольтаический эффект в пленках, полученных термовакuumным напылением теллурида кадмия на предварительно не нагретых подложках. Результаты исследования показали, что наименьшие фотонапряжения (десятки вольт) генерируют пленки полученные из порошка теллурида кадмия и смеси  $CdTe$  в определенных количества стехиометрического состава. При увлечении количество примеси олова до 5 атом % отношении фотонапряжения генерируемых пленками растет. При дальнейшем увеличении свыше 5 атом % фотонапряжения генерируемых пленкой медленно падают. Для исследования фотоэлектрические свойства пленки теллурида кадмия с примесью олова до 5 атом % толщиной  $\sim 0,5$  мкм наносились на подложки из орг. Стекло. На край пленок испарением в вакууме наносились серебряные электроды, изготовленные из аквадага. При комнатной температуре и освещенности  $5 \cdot 10^4$  лк с фронта и типа пленки генерировали одинаковые по величине и знаку фотонапряжения. Пленки получались типа В:  $U_{CdTe} = 3000$  В/см при комнатной температуре и  $U_{CdTe} = 13000$  В/см при температуре жидкого азота. Темновое сопротивление пленки стехиометрического  $CdTe$  было порядка  $10^{10} - 10^{11}$  Ом, пленки с примесью олова 5 атома % составила  $10^{12} - 10^{13}$  Ом что на один порядка больше. При температуре жидкого азота максимальное фотонапряжение достигали 18000 В. такая технология получения АФН пленок теллурида кадмия даёт возможность экономить материал на 20-30 % и генерируемого фотонапряжения пленки будет гораздо больше чем приведенный в работе [10].

**Методы исследования.** Для изучения влияния деформации на свойства фотовольтаических элементов пользовались устройством приведенной в [11]. При этом величина относительной деформации  $\varepsilon$  вычислялась по выражению  $\varepsilon = \frac{3c\chi}{\ell^3} - \Delta\gamma$ , где  $c$  - расстояние от нейтральной оси пластинки до пленки,  $\ell$  - длина пластинки между опорой и точкой приложения силы,  $\Delta\gamma$  - прогиб свободного конца пластинки в точки приложения силы,  $\chi$  - расстояние от точки приложения силы до середины пленочного образца. При этом деформации лежала в интервале  $\varepsilon \neq 2 \cdot 10^{-3}$  отн.ед. Это позволило одну и ту же пленки деформировать многократно без разрушения её структуры.

Коэффициент тензочувствительности  $K$  пленочных образцов оценивали по выражению  $K = \frac{\Delta I}{I\varepsilon}$ , где  $\Delta I$  - абсолютное изменение тока при деформации  $I$  - ток через деформированный образец. Фотонапряжение измерялась от 1000 В до 30 000 В и электрометром В2-5 при комнатной температуре освещенности до  $3 \cdot 10^5$  лк. Входное

сопротивление статического вольтметра определяется сопротивлением утечки изоляторов и составляет  $10^{13} - 10^{15} \text{ Ом}$ . Это на 2-3 порядка выше сопротивления пленок и поэтому можно найти действительное напряжение холостого хода. Пленки освещали фокусировкой тела накала проекционной лампы мощностью 500 Вт на поверхность пленки.

Фотонапряжение измеряли как путем прямого отсчета, так и методом компенсаций. Сопротивления пленок в темноте  $R_0$  и при освещении находились по наклону вольт – амперных характеристик. С помощью нейтральных светофильтров типа НС, а также перемещением лампы по оптической скамье, интенсивность света могла изменяться от  $3 \cdot 10^5 \text{ лк}$  до нескольких люкс. Освещенность измеряли люксметром с селеновым датчиком и вычисляли по известной формуле  $E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha$ , где  $E$  - освещенность,  $I$  - сила света,  $r$  - расстояние между источником и пленкой.

Для изучения влияния деформации на спектральную чувствительность фотовольтаических элементов пользовались методом работы [11]. Которое одновременно с деформацией давало возможность освещать исследуемый образец монохроматическим светом. Источником света служил осветитель ОИ-24, участки спектра выделялись с помощью шести интерференционных светофильтров установленных на вращающемся диске. Светофильтры имели максимума пропускания 461; 512; 590; 628; 669 нм. Толщину пленок определяли интерференционным микроскопом МИИ-5 и методом взвешивания.

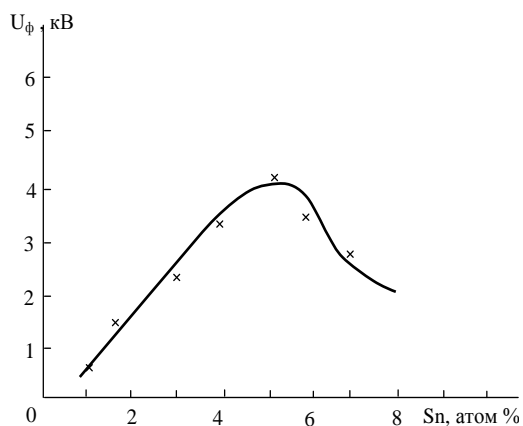
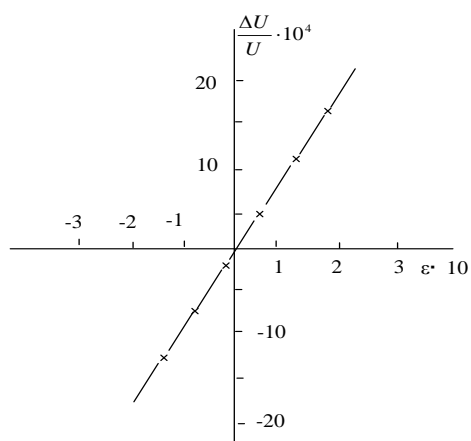


Рис.1. Влияние примеси олова на фотовольтаический эффект пленок теллурида кадмия



**Результаты исследования и их обсуждение.** На рис. 1 показана типичная зависимость фотонапряжения от количества вводимой примеси олова, полученная по результатам исследований 100 образцов и изготовленных приблизительно при одинаковых технологических условиях.

Видно, что с увеличением примеси (от нуля до 5 атом %), фотонапряжения, генерируемые пленками, увеличиваются от нуля до 4200 В, а затем (от 5 атом % и выше) медленно падают (от 4200 В до 2000 В). знак фотонапряжений при фронтальном и тыловом освещении для всех образцов соответствовал «минус» на толстом конце, располагавшемся ближе к испарителю.

На рис. 2 приведена типичная деформационная характеристика фотовольтаических пленок теллурида кадмия и примесью олова. Из рисунка видно, что изменение фотонапряжения в пределах  $\pm 2 \cdot 10^{-3} \text{ отн.ед}$  линейно. Оценки показывают, что  $K = 0,5 \cdot 10^2 - 10^2 \text{ отн.ед}$ . Также видно, что при сжатии величина фотонапряжения уменьшается, а при растяжении – растет.

Рис.2. Деформационная характеристика фотовольтаических пленок теллурида кадмия с примесью олова.

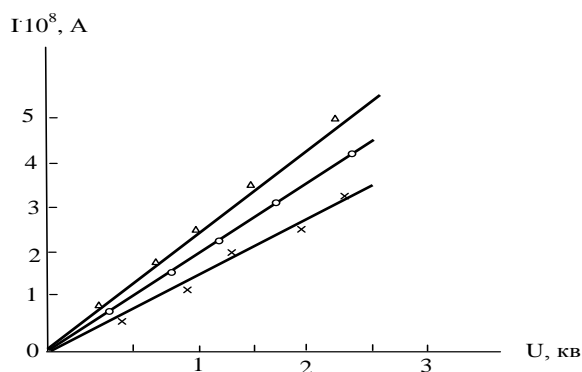


Рис.3. Вольт-амперная характеристика пленочных элементов теллурида кадмия с примесью олова:  $\circ$ -без деформации;  $\Delta$ -при сжатии;  $\times$ -при растяжении.  $\epsilon=2 \cdot 10^{-3}$  отн. ед.

Вольт-амперные характеристики пленочных элементов полученных при комнатной температуре и температуре жидкого азота, в темноте и освещенности  $3 \cdot 10^5$  лк в диапазоне электрических полей от -3 кВ на 1 см длины пленки линейны (рис 3). Темновое сопротивление пленочных элементов полученных с примесью олова было больше, чем элементов изготовленных из чистого стехиометрического теллурида кадмия. Наклон ВАХ всех пленочных элементов при деформации и освещении

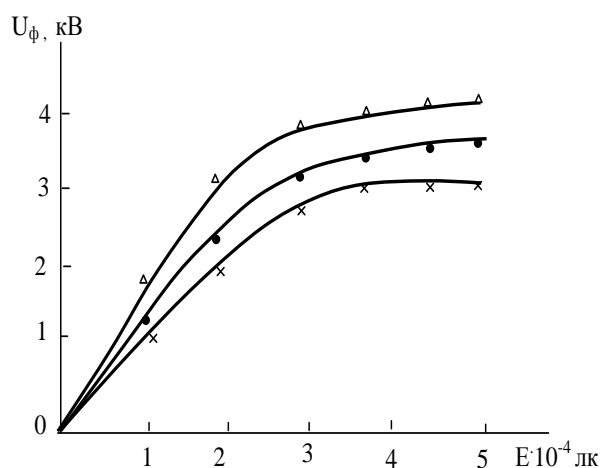


Рис. 4. Люкс-вольтовая характеристика пленок теллурида кадмия с примесью олова при деформации:  $\Delta$ - растяжение,  $\times$ - сжатие,  $\bullet$ - без деформации.  $\epsilon=2 \cdot 10^{-3}$  отн. ед.

изменяется, при сжатии величина тока расте, при растяжении -уменьшается. Зависимость фотонапряжения фотонапряжения от интенсивности возбуждающего света приведена на рис. 4. Люкс-вольтовые характеристики пленочных элементов полученных при комнатной температуре и в интервале освещенностей от нуля до  $3 \cdot 10^5$  лк , состоят из двух участков с различными углами наклона. Первый участок соответствует быстрому росту фотонапряжения с освещением до  $2 \cdot 10^4$  лк . Второй более медленному. Участок насыщения не наблюдалось. Величина и характер зависимости фотонапряжения от освещенности не изменяются при тыловом и фронтальном освещенности не изменяются полученных пленочных элементов достигает  $2 \cdot 10^7 \frac{B / cm}{Bm / cm^2}$  при комнатной температуре и интенсивности  $10^{-5} Bm / cm^2$ .

При сжатии величина фотонапряжения уменьшается, а при растяжения увеличивается. По видимому, это связано с изменением высоты микропотенциальных барьеров при деформации пленок.

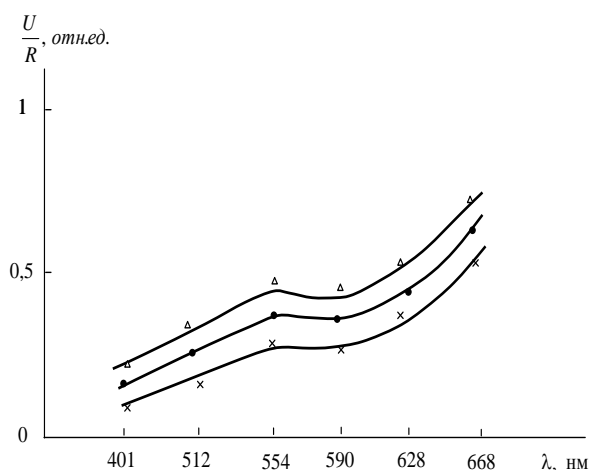


Рис.5. Спектральная зависимость фотоэдс при деформациях для пленок CdTe:Sn. ●-без деформации, x-при сжатии, Δ-при растяжении  $\sigma \varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$  отн. ед.

гетеропереходы в виде  $CdTe_p - Te_p$ .

Результаты исследования влияния деформации на спектральную чувствительность пленочных элементов показывают, что их чувствительность к механическим воздействиям зависит от длины волны падающего излучения и максимально вблизи собственного поглощения материала пленки. Наблюдается хорошая корреляция между спектральными и оптическими характеристиками.

Вероятно изменение темнового тока, фототока и фотонапряжения в фотовольтаических пленках теллурида кадмия с примесью олова, как и в работах [3,11], связаны с изменением высоты микро потенциальных барьеров при деформации пленок.

#### Литература:

1. Адирович Э.И. В сб.: «Фотоэлектрические явления и оптоэлектроника». [Текст] / Э.М. Матов, Т. Мирзамахмудов, Р. Найманбоев, Рубинов, Н. Шакиров, В.М. Юабов // Изд. «Фан», Ташкент, 1972. - с.143.
2. Эргашев Ж. Фотоэлектрический эффект в полупроводниковых пленочных структурах [Текст] / Н.Х. Юлдашев // Монография. «Техника», Фергана, 2017, -180 с.
3. Фридкин В.М. Физические основы электрофотографического процесса. [Текст] // М-Л.: «Энергия», 1966 -347 с.
4. Базакуца В.А. Фотоэлектретные нового типа на основе АФН слоёв  $Na_2S \cdot Sb_2Se_3$  [Текст] / В.Д. Кулибаба // ФТП, Т.9, В.7, 1975 -С. 1432.
5. Lukovsky G. On the photionization of deep impurity centers in semiconductors [Текст] // Sol.St.Com, 1965. V.3. P.229.
6. Гасанов О.К. К вопросу об исследовании уровнях захвата в неоднородных системах методом термостимулированных токов [Текст] / В.А. Извозчиков // ФТП, Т.4, В.2, 1970 - С. 375.
7. Фабри Ш. Общие введения в фотометрию. [Текст] // М., ОНТИ, 1938 – 138 с.
8. Аронов Д.А. К теории АФН эффекта в полупроводниковых пленках с периодической р-п-р- ... структурой [Текст] / Ю.М. Юабов // ФТП, Т. 18, В.7, 1984 - С. 1318.
9. Каримов М.А. Роль границы раздела зерен в люкс-амперной характеристике поликристаллической пленки твердого раствора  $CdSe_x S_{1-x}$ . [Текст] / А. Хайдаров, Н.Х. Юлдашев // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, № 5, 2006 - С.88- 92.

На рис.5 представлена типичная спектральная характеристика пленочных элементов полученных из теллурида кадмия с примесью олова, а также из смеси отдельных компонентов, они имеют качественно одинаковый вид. В них наблюдается несколько экстремальных точек, характерных и для единичных гетеропереходов из этих материалов. Основная точка максимума их, также как и у некоторых пленочных аморфных гетероструктур сдвинута в область коротких длин волн видимой части спектра. Возможно, что микро фотоэлементов, из которых состоят пленки, представляют собой микро

10. **Юлдашев Н.Х.** Высоковолновая поверхностная фото-ЭДС в тонких косонапыленных пленках при собственном и примесном поглощении [Текст] / Ю.Ю. Вайткус, С.М. Отажонов // УзбФЖ, Т.6, №3, 2004 - С.177.