

**ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ТОНКИХ ПЛЕНОК  $Cd_{1-x}Sn_xS$ , ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КАЧЕСТВЕ  
СЕЛЕКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ  
ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

**А.Ю. Кузьмин, Ю.А. Брусенцов, В.И. Ильин**

*Кафедра «Материалы и технология», ГОУ ВПО «ТГТУ»;  
a\_kuzmin@list.ru*

*Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым*

**Ключевые слова и фразы:** монохроматическая чувствительность; первичный измерительный преобразователь; спектральная характеристика.

**Аннотация:** Описывается и проводится анализ свойств спектрального распределения чувствительности селективного преобразователя инфракрасного излучения на основе  $Cd_{1-x}Sn_xS$ .

---

На кафедре «Материалы и технология» Тамбовского государственного технического университета ведутся исследования по разработке селективного неохлаждаемого преобразователя инфракрасного излучения (**ИК**) на основе тройного сплава  $Cd_{1-x}Sn_xS$ . Преимуществами преобразователя являются расширение диапазона принимаемого излучения при помощи селективных первичных измерительных преобразователей (**ПИП**), не нуждающихся в охлаждении, созданных на основе нового, запатентованного материала [1].

В исследованиях изучены структура и свойства соединения  $Cd_{1-x}Sn_xS$ , и теоретически обоснована возможность его использования в качестве чувствительного материала для ПИП электромагнитного излучения ИК-спектра. В частности, были изучены спектральные характеристики данного материала.

Более полную информацию о свойствах фотоспротивления можно получить, зная его монохроматическую чувствительность  $S_{U_\lambda}$ , то есть отношение напряжения сигнала к падающему на чувствительную площадку фотоприемника потоку монохроматического излучения. Измерив величину напряжения сигнала, и отнеся ее к величине падающего на фотоприемник потока монохроматического излучения различной длины волны, можно построить спектральную характеристику чувствительности  $S_{U_\lambda} = f(\lambda)$  [2].

Для определения фоточувствительности детектора излучения рассмотрим цепочку фоторезистор – сопротивление нагрузки  $R_H$  при воздействии на него монохроматического лучистого потока и  $R_T$  – темновое сопротивление. При отсутствии излучения ток в цепочке фоторезистор – нагрузка имеет величину

$$I_T = \frac{U_0}{R_T + R_H}. \quad (1)$$

где  $U_0$  – напряжение нагрузки.

При полностью открытом потоке через монохроматор

$$I_0 = \frac{U_0}{R_T - \Delta R + R_H}, \quad (2)$$

где  $\Delta R$  – изменение величины сопротивления при освещении.

Таким образом, при вращении диска модулятора на сопротивлении нагрузки возникает переменный сигнал, полная амплитуда которого

$$U_{C_\lambda} = (I_0 + I_T)R_H = \frac{U_0 R_H (2R_T - \Delta R + 2R_H)}{(R_T - \Delta R + R_H)(R_T + R_H)}. \quad (3)$$

Если изменение темнового сопротивления под воздействием лучистого потока незначительно (то есть  $\Delta R \ll R$ ), тогда

$$U_{C_\lambda} = \frac{2U_0 R_H}{R_T + R_H}. \quad (4)$$

Из формулы видно, что величина сигнала, измеряемого на нагрузке, зависит от соотношения  $R_T$  и  $R_H$ . Таким образом, если цепь будет в режиме согласования нагрузки (когда  $R = R_H = R_T$ ), то полная амплитуда сигнала равна амплитуде напряжения нагрузки:

$$U_{C_\lambda} = U_0. \quad (5)$$

Чувствительность фоторезистора, В/Вт, может быть определена как отношение величины сигнала, возникающего на нагрузочном сопротивлении (в согласованном режиме) к величине лучистого потока определенного спектрального состава, попадающего на чувствительный элемент фотоприемника,

$$S_{U_\lambda} = \frac{U_{C_\lambda}}{Eq_\Phi}, \quad (6)$$

где  $E$  – плотность лучистого потока, Вт/см<sup>2</sup>;  $q_\Phi$  – площадь фоточувствительного элемента, см<sup>2</sup>.

С учетом того, что  $E = \frac{\sigma S(T^4 - T_0^4)}{\pi l^2}$ , полное выражение для расчета величины вольтовой чувствительности принимает вид

$$S_{U_\lambda} = \frac{U_{C_\lambda} \pi l^2}{\sigma (T^4 - T_0^4) S q_\Phi}, \quad (7)$$

где  $l$  – расстояние между контактными площадками, см;  $S$  – площадь окна пропускания потока, см<sup>2</sup>;  $\sigma$  – постоянная Стефана–Больцмана,  $\sigma = 5,668 \cdot 10^{-12}$  Вт·см<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>.

Рассчитанную таким образом величину с учетом сигнала, измеренного при напряжении на фоторезисторе, равном рабочему, и согласованной нагрузке принято называть интегральной вольтовой чувствительностью. В том случае, если величина чувствительности рассчитывается при воздействии монохроматического излучения, ее называют монохроматической чувствительностью.

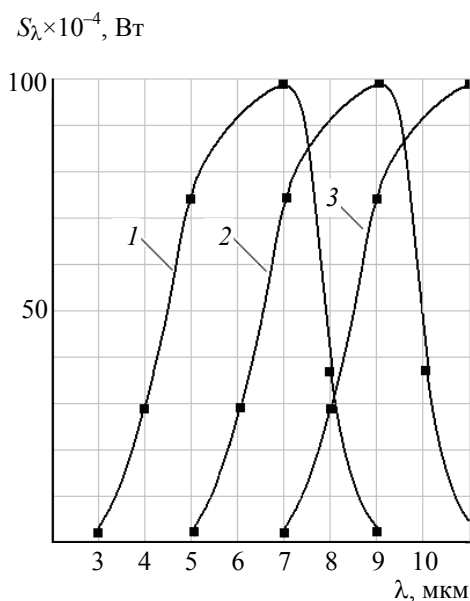
В соответствии с приведенной методикой была рассчитана монохроматическая чувствительность тонких пленок  $\text{Cd}_{0,14}\text{Sn}_{0,86}\text{S}$ ,  $\text{Cd}_{0,2}\text{Sn}_{0,8}\text{S}$ ,  $\text{Cd}_{0,3}\text{Sn}_{0,7}\text{S}$  и построено спектральное распределение чувствительности (рис. 1).

Анализ полученной зависимости указывает на наличие ярко выраженного всплеска проводимости ПИП при воздействии на него ИК-излучения с длиной волны, соответствующей энергии активации полупроводника, что подтверждает справедливость выбранной методики получения полупроводникового материала.

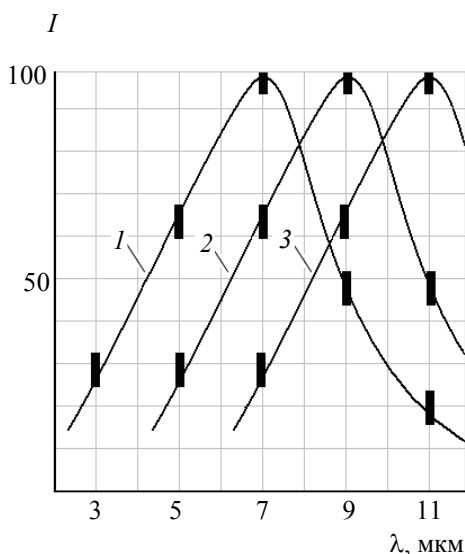
Для оценки влияния ИК-излучения на величину фототока тонкопленочных сплавов  $\text{Cd}_{0,14}\text{Sn}_{0,86}\text{S}$ ,  $\text{Cd}_{0,2}\text{Sn}_{0,8}\text{S}$ ,  $\text{Cd}_{0,3}\text{Sn}_{0,7}\text{S}$  была построена зависимость фототока детектора от длины волны воздействующего на него излучения методом непосредственного измерения напряжения сигнала и сопротивления детектора излучения. На рис. 2 представлен график, отражающий зависимость величины фототока от длины волны излучения. В связи с тем, что разброс номиналов детекторов излучения достаточно велик ( $\pm 10\%$ ), а характер кривой сохраняется в пределах погрешности построения зависимости, фототок  $I$  приведен в относительных единицах.

Характер поведения кривой, представленной на рис. 2, можно объяснить следующим образом: при освещении образцов происходит резкое возрастание сигнала фотопроводимости, особенно в области фундаментального поглощения в связи с ростом коэффициента поглощения, когда  $h\nu \approx E_g$ . При определенной энергии фотона, близкой к ширине запрещенной зоны, кривая фоточувствительности достигает максимума, а затем спадает в области сильного поглощения.

По описанным ранее методикам в рамках исследования были получены основные характеристики ПИП на основе сплава  $\text{Cd}_{1-x}\text{Sn}_x\text{S}$ , которые являются типовыми для устройств подобного вида (табл. 1).



**Рис. 1. Монохроматическая чувствительность тонкопленочного сплава  $\text{Cd}_{1-x}\text{Sn}_x\text{S}$ :**  
 1 –  $\text{Cd}_{0,14}\text{Sn}_{0,86}\text{S}$ ; 2 –  $\text{Cd}_{0,2}\text{Sn}_{0,8}\text{S}$ ;  
 3 –  $\text{Cd}_{0,3}\text{Sn}_{0,7}\text{S}$



**Рис. 2. Зависимость величины фототока тонкопленочного сплава  $\text{Cd}_{1-x}\text{Sn}_x\text{S}$  от длины волны ИК-излучения:**  
 1 –  $\text{Cd}_{0,14}\text{Sn}_{0,86}\text{S}$ ; 2 –  $\text{Cd}_{0,2}\text{Sn}_{0,8}\text{S}$ ;  
 3 –  $\text{Cd}_{0,3}\text{Sn}_{0,7}\text{S}$

**Основные параметры фотонных полупроводниковых ПИП  
на основе  $Cd_{1-x}Sn_xS$**

Параметр	Сплав		
	$Cd_{0,14}Sn_{0,86}S$	$Cd_{0,2}Sn_{0,8}S$	$Cd_{0,3}Sn_{0,7}S$
Номинальное сопротивление $R_{ном}$ , Ом	4,8·10 <sup>6</sup>		
Напряжение нагрузки $U_0$ , В	3		
Темновой ток $I_T$ , А	0,6·10 <sup>-6</sup>	5,7	5,3
Энергия активации $\Delta E$ , эВ	0,3	0,2	0,1
Длина волны $\lambda$ , мкм	7	9	11
Коэффициент поглощения $\alpha$	1		
Время жизни $\tau$ , с	10 <sup>-16</sup>		
Подвижность $\mu$ , см <sup>2</sup> /(В·с)	≤ 5		
Фототок $I$ при $P_c = 6 \cdot 10^{-3}$ , А	10 <sup>-6</sup>		
Максимальный порог чувствительности, ×10 <sup>-4</sup> Вт	5		

Анализ полученных зависимостей указывает на наличие ярко выраженного всплеска проводимости ПИП при воздействии на него ИК-излучения с длиной волны, соответствующей энергии активации полупроводника, что подтверждает справедливость выбранной методики получения полупроводникового материала.

*Список литературы*

1. Пат. № 2309486 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 01 L 31/08. Чувствительный элемент детектора инфракрасного излучения / Поляков Е.В., Минаев А.М., Пручкин В.А, Кузьмин А.Ю. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-та. – № 2005133562/28 ; заявл. 31.10.05 ; опубл. 27.10.2007, Бюл. № 30.

2. Поляков, Е.В. Узкозонный детектор ИК-излучения на основе сплава  $Cd_{1-x}Sn_xS$  / Е.В. Поляков, Ю.А. Брусенцов, А.М. Минаев // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2003. – Т. 9, № 1. – С. 85–89.

**Research into Spectral Characteristics of  $Cd_{1-x}Sn_xS$  Thin Films Used  
as Selective Converter Infra-Red Radiation**

A.Yu. Kuzmin, Yu.A. Brusentsov, V.I. Plyin

*Department "Materials and Technology", TSTU;  
a\_kuzmin@list.ru*

**Key words and phrases:** mono-chrome sensitivity; selective converter; spectral characteristic.

**Abstract:** The paper describes the analysis of properties of spectral distribution of selective converter of infra-red radiation on the basis of  $Cd_{1-x}Sn_xS$ .

## References

1. Pat. № 2309486 Russian Federation, MPK<sup>7</sup> B 01 L 31/08. Sensing element of infrared radiation detector / Polyakov E.V., Minaev A.M., Pruchkin V.A., Kuz'min A.Yu. : Application and proprietors TSTU ; application № 2005133562/2 ; applied 31.10.05 ; application published 10.05.2007, Bull. № 30.

2. Polyakov, E.V. Narrowly-zone detector of IR-radiation on the basis of an alloy  $Cd_{1-x}Sn_xS$  / E.V. Polyakov, Yu. A. Brucenczov, A.M. Minaev // Transactions TSTU. – 2003. – V. 9, № 1. – P. 85–89.

---

### **Untersuchung der spektralen Charakteristiken der als selektiver Umformer der infraroten Strahlung benutzten Dünnschichten $Cd_{1-x}Sn_xS$**

**Zusammenfassung:** Es wird die Analyse der Eigenschaften der spektralen Verteilung der Empfindlichkeit des selektiven Umformers der infraroten Strahlung auf Grund von  $Cd_{1-x}Sn_xS$  beschrieben und durchgeführt.

---

### **Etudes des caractéristiques spectrales des pellicules fines $Cd_{1-x}Sn_xS$ utilisées en qualité du convertisseur sélectif du rayonnement infra-rouge**

**Résumé:** Sont décrites et analysées les propriétés de la répartition de la sensibilité du convertisseur sélectif du rayonnement infra-rouge à la base de  $Cd_{1-x}Sn_xS$ .

---

**Авторы:** *Кузьмин Александр Юрьевич* – аспирант кафедры «Материалы и технология»; *Брусенцов Юрий Анатольевич* – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материалы и технология»; *Ильин Владислав Игоревич* – магистрант кафедры «Материалы и технология», ГОУ ВПО «ТГТУ».

**Рецензент** *Пономарев Сергей Васильевич* – доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы, заместитель заведующего кафедрой «Автоматизированные системы и приборы» ГОУ ВПО «ТГТУ».

---