

## СТРУКТУРА, ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК $PbS_{1-x}Te_x$

И.Р.НУРИЕВ, А.А.АЛИЕВ, И.С.ГАСАНОВ, Х.Д.ДЖАЛИЛОВА, С.С.ФАРЗАЛИЕВ

*Институт Физики НАН Азербайджана,*

*AZ1143, Баку, пр. Г.Джавида, 33*

Təqdim olunan işdə alçaq enerjili indium və qallium ionlarının implantasiyası ilə nazik fotonəssas  $n-PbS_{1-x}Te_x$  ( $x=0,5$ ) epitaksial təbəqələri alınmışdır.  $77\div 130$  K temperatur intervalında udulma və fotokeçiricilik (FK) spektrlərinin ölçülmələri aparılmışdır.  $E_g$ -nin qiyməti 77 K-də düzünə və tərsinə keçidlər üçün uyğun olaraq 0,295 eV və 0,26 eV təşkil etmişdir. Optik udulma və FK spektrlərinin müqayisəsindən müəyyən edilmişdir ki, FK-nın azalması  $\alpha d \sim 1$  olduqda başlayır ki, bu da FK kənarının təbəqələrin qalınlığının azalması ilə qısa dalğalar tərəfə sürüşməsinə gətirib çıxarır.

В настоящей работе имплантацией низкоэнергетическими ионами индия и галлия получены тонкие фоточувствительные эпитаксиальные пленки  $n-PbS_{1-x}Te_x$  ( $x=0,5$ ). Проведены измерения спектров поглощения и фотопроводимости (ФП) в диапазоне температур  $77\div 130$  К. Значения  $E_g$  для прямых и непрямых переходов составили соответственно 0,295 эВ и 0,26 эВ при 77 К. Сравнением спектров оптического поглощения и ФП установлено, что спад ФП начинается при  $\alpha d \sim 1$ , что приводит к сдвигу края ФП в коротковолновую сторону с уменьшением толщины пленки.

In the present paper with the use implantation low-energy indium and gallium ions thin photosensitive epitaxial films of  $n-PbS_{1-x}Te_x$  ( $x=0,5$ ) are obtained. The photoconductivity (PC) and optical spectra measurements at  $77\div 130$  K temperature is carried out. It is defined, that  $E_g=0,295$  eV and 0.26 eV at  $T=77$  K for direct and non-direct transitions respectively. By the comparing of optical absorption and PC spectra is established, that PC falloff begin at the  $\alpha d \sim 1$  value, that is leads to translation PC to short wavelengths side by the films thickness decreasing

Повышенный интерес к исследованиям полупроводниковых твердых растворов на основе соединений  $A^{IV}B^{VI}$  вызван рядом причин. С одной стороны эти вещества являются перспективными материалами для электронной техники [1], что обуславливает их значительную практическую ценность. С другой стороны, эти узкозонные полупроводники обладают уникальными свойствами: сильной зависимостью ширины запрещенной зоны ( $E_g$ ) от состава и температуры, большой статической диэлектрической проницаемостью и т.п., комплекс которых делает чрезвычайно интересными исследования их физических свойств. Близость ширины запрещенной зоны к энергии квантов инфракрасного излучения стимулировало разработку оптоэлектронных приборов на их основе. По сравнению с хорошо известными твердыми растворами  $PbSe_{1-x}Te_x$ ,  $Pb_{1-x}Sn_xTe$ ,  $Pb_{1-x}Sn_xSe$  [2-4], оптические и фотоэлектрические свойства эпитаксиальных пленок  $PbS_{1-x}Te_x$  мало исследованы.

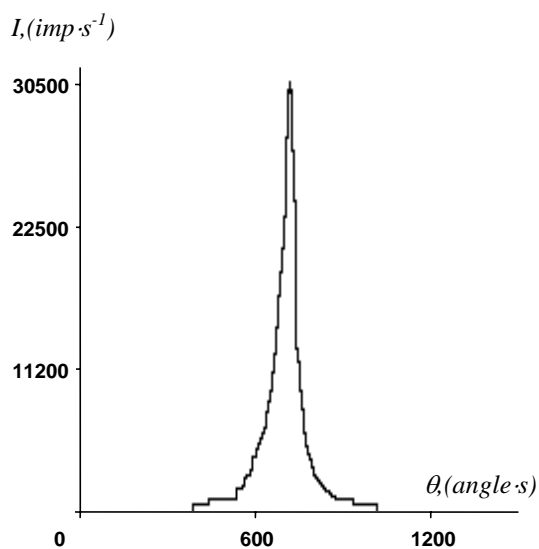
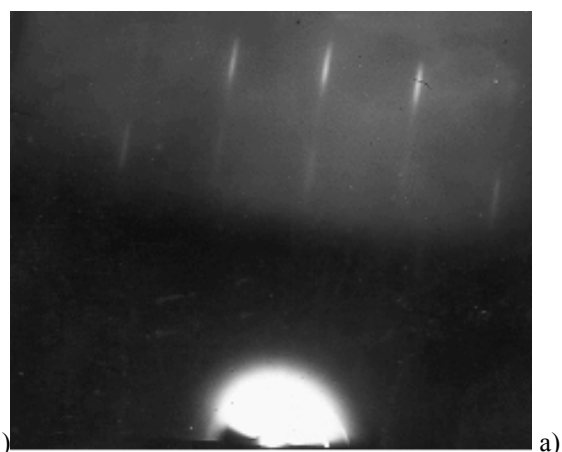
В настоящей работе приведены результаты оптических и фотоэлектрических исследований эпитаксиальных пленок  $PbS_{1-x}Te_x$  ( $x=0,5$ )  $n$ -типа проводимости, выращенных на диэлектрических подложках  $BaF_2$  (111). Эпитаксиальные пленки  $PbS_{1-x}Te_x$  ( $x=0,5$ ) толщиной  $0,5\div 1,5$  мкм, полученные методом конденсации молекулярных пучков с применением дополнительного источника паров  $Te$  в процессе роста, в вакууме  $10^{-4}$  Па, на стандартной установке УВН-71П-3, имели  $p$ -типа проводимости. Толщина полученных пленок контролировалась на микроскопе МИИ-4. Для точного определения параметра решетки и состава выращенных пленок использовались методы рентгенодифрактометрии и электронографии. По полученным данным для параметра решетки « $a$ » определялся соответствующий состав « $x$ » твердого раствора. Определенная таким образом величина « $x$ » практически не отличалась от той, которая задавалась соотношением компонентов в исходной

шихте. Электронограмма отражения, полученная от пленки  $p-PbS_{1-x}Te_x$  ( $x=0,5$ ) представлена на рис.1а. Расчет электронограммы показывает, что данная структура относится к кубической гранцентрированной решетке с параметром  $a=6,19$  Å в согласии с [5]. Полуширина кривой качания рентгеновской дифракции ( $W_{1/2}=100''$ ) этих пленок подтверждает их высокое кристаллическое совершенство (Рис.1, б).

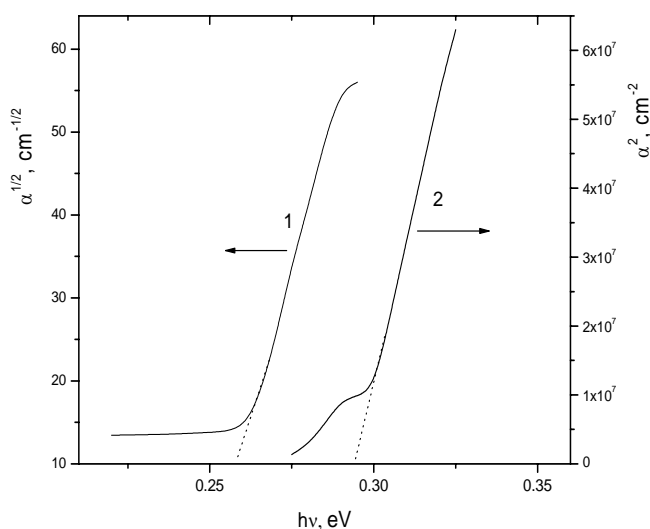
Полученные пленки обычно подвергаются активационному отжигу на воздухе, после чего на них наблюдается высокая фоточувствительность. Однако, выдерживать их при высоких температурах (372 К и более) для дальнейшего изготовления на основе этих пленок фотоприемников, не всегда приемлемо. Поэтому, для получения фоточувствительных пленок  $PbS_{1-x}Te_x$  ( $x=0,5$ ) впервые нами проводилось их имплантирование низкоэнергетическими ионами индия и галлия с энергией менее 1 кэВ посредством жидкометаллического ионного источника, который действовал в режиме торможения первичного пучка. Режим имплантации: энергия ионов  $W=700$  эВ, плотность ионного тока  $4$  мкА/см<sup>2</sup>, время экспозиции  $t=25$  с. Доза облучения

$$D = \frac{i \cdot t}{e} = \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 25}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 6,2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$$

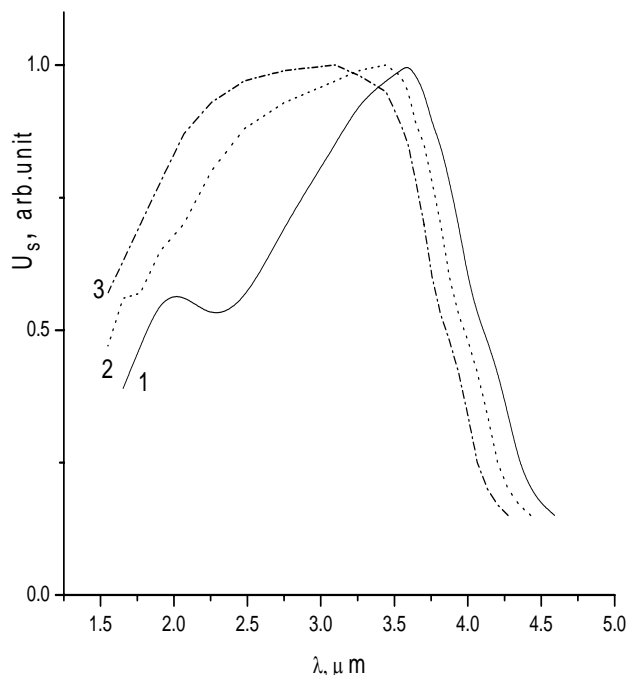
После проведенной имплантации, пленки  $p-PbS_{1-x}Te_x$  ( $x=0,5$ ) обладали  $n$ -типом проводимости и концентрация носителей заряда в них снизилась на 2 порядка и составила  $\sim 10^{16}$  см<sup>-3</sup>, что привело к достаточно высокой фоточувствительности. Далее на спектрометре ИКС-31 в диапазоне температур  $77\div 130$  К были измерены оптические спектры пропускания и отражения, по которым рассчитывался коэффициент поглощения.



**Рис.1** Эпитаксиальная пленка p-PbS<sub>1-x</sub>Te<sub>x</sub> (x=0,5):  
 а) электронограмма; a=6,19 Å;  
 б) кривая качания рентгеновской дифракции W<sub>1/2</sub>=100".



**Рис.2.** Коэффициент поглощения эпитаксиальных пленок n-PbS<sub>1-x</sub>Te<sub>x</sub> (x=0,5) для непрямых α<sup>1/2</sup>(hν) (кривая 1) и прямых α<sup>2</sup>(hν) (кривая 2) переходов при температуре 77К.



**Рис.3.** Спектральное распределение фоточувствительности эпитаксиальных пленок n-PbS<sub>1-x</sub>Te<sub>x</sub> (x=0,5) разной толщины d при 77 К; 1 – 1,5 мкм, 2 – 1 мкм, 3 – 0,5 мкм.

При значениях коэффициента поглощения менее 3000 см<sup>-1</sup>, по наклону зависимости α<sup>1/2</sup>(hν) (рис.2) определено значение оптической ширины запрещенной (E<sub>gopt</sub>) зоны для непрямых переходов, составившая 0,26±0,31 эВ, и температурный коэффициент изменения ширины запрещенной зоны γ=(4,1±0,2)·10<sup>-4</sup> эВ/град. При больших значениях коэффициента поглощения E<sub>gopt</sub> для прямых переходов, определенное по наклону зависимости α<sup>2</sup>(hν), на 0,035 эВ больше.

Далее были проведены измерения спектральной зависимости фоточувствительности полученных пленок в том же диапазоне температур. Соответствующие спектры ФП для образцов разной толщины, представлены на рис.3. Как видно из приведенных кривых, максимум фоточувствительности оказался сдвинутым в сторону более коротких длин волн. Значение ширины запрещенной зоны вычисленное по полуспаду спектра ФП (E<sub>gpc</sub>) больше, чем определенное из оптических измерений даже для прямых переходов. Причем для более тонких пленок, он сдвинут еще больше. Сравнивая спектры оптического поглощения и ФП легко убедиться, что спад ФП начинается при значениях ad~1. То есть, этот сдвиг объясняется тем, что при малой толщине пленок часть излучения, соответствующая краю поглощения, проходит через нее, не поглотившись.

Найденные нами по спектрам оптического пропускания и ФП значения E<sub>g</sub> для исследуемых пленок PbS<sub>1-x</sub>Te<sub>x</sub> (x=0,5) хорошо согласуется со значением E<sub>g</sub>, полученных из измерений спектральной характеристики фоточувствительности фотодиодов [5], изготовленных на основе этих материалов.

- [1]. *А.В.Матвеевко, Ю.В.Медведев, Н.Н.Берченко* Термическое вакуумное напыление эпитаксиальных пленок полупроводниковых соединений группы  $A^{IV}B^{VI}$  // Зарубежная электронная техника, 1982, №11, с. 54-115.
- [2]. *И.Р.Нуриев, Х.Д.Джалилова, С.С.Фарзалиев* Получение и исследование изопериодических гетероструктур  $PbSe_{1-x}Te_x/PbS_{1-y}Te_y$  / Сборник докладов 14-го Международного симпозиума: Тонкие пленки в оптике и электронике, Харьков, 2002, с. 91-93.
- [3]. *С.А.Семилетов, Н.А.Сулейманов, Е.В.Ракова, С.И.Желудева, И.Р.Нуриев* Гетероструктуры  $Pb_{1-x}Sn_xTe-PbTe$  полученные методом молекулярно-лучевой эпитаксии на слюде и ниобате лития. // Микроэлектроника, 1979, т.8, №5, с.467-469.
- [4]. *Е.Ю.Салаев, Н.Р.Нуриев, Х.Д.Джалилова, Н.В.Фараджев* Optical properties of  $Pb_{1-x}Sn_xSe:In$  epitaxial films. Proceedings of SPIE, 2000, Vol. 4340, pp.213-216.
- [5]. *С.С.Фарзалиев, И.Р.Нуриев, А.М.Назаров, М.Б.Гаджиев* Получение и исследование р-п гомопереходов на основе эпитаксиальных пленок  $PbS_{1-x}Te_x$  // Физика-2005, Доклады международной конференции, Баку, 2005, С.268-270.

*Daxil olunub: 01.07.2007*