

4-7-2020

EDGE ABSORPTION SPECTRA OF HEAVILY DOPED POLYCRYSTALLINE PbTe: Pb AND PbTe: Te FILMS

Kh M. Sulaymonov
Fergana polytechnic institute

T Axmedov
Fergana polytechnic institute

O M. Mamatov
Fergana polytechnic institute

D T. Mamadieva
Fergana polytechnic institute

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi>

Recommended Citation

Sulaymonov, Kh M.; Axmedov, T; Mamatov, O M.; and Mamadieva, D T. (2020) "EDGE ABSORPTION SPECTRA OF HEAVILY DOPED POLYCRYSTALLINE PbTe: Pb AND PbTe: Te FILMS," *Scientific-technical journal*: Vol. 3 : Iss. 2 , Article 2.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol3/iss2/2>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific-technical journal by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

FUNDAMENTAL SCIENCES

УДК 538.935, 958, 975

EDGE ABSORPTION SPECTRA OF HEAVILY DOPED POLYCRYSTALLINE PbTe: Pb AND PbTe: Te FILMS

Kh.M. Sulaymonov, T. Axmedov, O.M. Mamatov, D.T. Mamadiyeva

Fergana polytechnic institute

СПЕКТРЫ КРАЕВОГО ПОГЛОЩЕНИЯ СИЛЬНОЛЕГИРОВАННЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК PbTe:Pb и PbTe:Te

X.M. Сулаймонов, Т.Ахмедов, О.М. Маматов, Д.Т. Мамадиева

Ферганский политехнический институт

КУЧЛИ ЛЕГИРЛАНГАН PbTe:Pb ВА PbTe:Te ПОЛИКРИСТАЛЛ ПЛЕНКАЛАРНИНГ ЧЕГАРАВИЙ ЮТИЛИШ СПЕКТРЛАРИ

X.M. Сулаймонов, Т.Ахмедов, О.М. Маматов, Д.Т. Мамадиева

Фарғона политехника институти

Abstract. The results of studying the fundamental optical absorption edge of heavily doped polycrystalline PbTe: Pb: Te films depending on the composition of the initial deposited charge are presented. Experimental values of the band gap are obtained, as well as information on the nature of the mechanism of carrier scattering in a wide range of the chemical composition of the films.

Key words: lead telluride, heavily doped semiconductors, absorption spectra, interband and interband light absorption, strain-sensitive films.

Аннотация. Приводятся результаты исследования края фундаментального оптического поглощения сильнолегированных поликристаллических пленок PbTe:Pb:Te в зависимости от состава исходной напыляемой шихты. Получены экспериментальные значения ширины запрещенной зоны, а также сведения о характере механизма рассеяния носителей в широкой области химического состава пленок.

Ключевые слова: теллурид свинца, сильнолегированные полупроводники, спектры поглощения, межзонные и внутрizonные поглощения света, тензочувствительные пленки.

Аннотация. Кучли легирланган PbTe:Pb:Te поликристалл пленкалар фундаментал оптик ютилишининг спектрал чегараси буглатилаётган шихта таркибига боғлиқ равишда тадқиқот натижалари келтирилган. Пленкалар кимёвий таркибининг кенг оралигида тақиқланган зана кенглигининг экспериментал қийматлари, шунингдек заряд ташувчилар сочилиш механизмларининг характери ҳақидаги маълумотлар олинган.

Таянч сўзлар: кўрғошин теллуриди, кучли легирланган ярим ўтказгич пленка, ютилиш спектри, ёруғликнинг зоналар аро ва зона ичида ютилиши, тензосезгир пленкалар.

Введение. Как известно, одним из надежных и эффективных методов исследования полупроводниковых пленочных материалов является исследование их оптические свойства, что порой достигается путем изучения спектров поглощения и отражения пленок [1-3]. В неоднородных полупроводниках закономерности этих спектров могут дать необходимые полезные информации о фазовом составе, кристаллической структуре и влиянии степени неоднородности на электрофизические свойства тонких поликристаллических пленок [3-7]. Представляет большой интерес изменение коэффициента поглощения и отражения узкозонных полупроводниковых пленок в инфракрасной области спектра при комнатной температуре. В данной работе излагаются результаты исследования поликристаллических

FUNDAMENTAL SCIENCES

пленочных образцов n - и p - типа проводимости: положения края основного оптического поглощения сильнолегированных пленок $PbTe:Pb:Te$ в зависимости от состава исходной напыляемой шихты и определение ширины запрещенной зоны, а также сведения о характере механизма рассеяния в широкой области состава этих пленок.

Методика. Для определения оптических констант пленок в системе пленка – подложка наиболее простым методом является метод, основанный на измерение интерференционной картины по спектрам светового пучка на образце [1, 2]. При этом необходимо измерить спектральную зависимость коэффициента пропускания T_0 чистой подложки и системы пленка – подложка T для определения показателей преломления подложки n_3 и пленки $\tilde{n} = n_2 - i\kappa_2$.

В случае тонкой пленки, находящейся на прозрачной подложке, были использованы формулы, полученные в работе [2], которые связывают пропускание системы пленка – подложка с толщиной пленки и оптическими параметрами пленки и подложки. Выражение для экстремальных значений коэффициента пропускания T_s системы пленка – подложка имеет вид

$$T_s = 16n^2n_3 / P, \quad (1)$$

где $P = (n+1)^3(n_3^2 + n_2)e^{\gamma_2} - (n-1)^3(n_3^2 - n_2)e^{\gamma_2} + (-1)^m(n_2^2 - 1)(n_3^2 - n_2^2)$, m - порядковый номер интерференции, $\gamma_2 = (4\pi/\lambda)\kappa_2 d_2$ – показатель поглощения, λ - длина волны света. Обозначая через T_s^0 значение T при $\gamma_2 = 0$ (случай непоглощающей подложки) находим

$$T_{экт} = T^0 = 2n_3(n_3^2 + 1)^{-1} \quad \text{для } m = \text{четное}, \quad (2)$$

$$T_{экт}^0 = 4n_2n_3(n_2^2 + 1)^{-1}(n_3^2 + n_2^2)^{-1} \quad \text{для } m = \text{нечетное}. \quad (3)$$

Выражение (2) и (3) означает, что при четном m величина $T_{экт}$ равен коэффициенту поглощения прозрачной подложки T_0 , а при нечетном m отличается от него. Разлагая $e^{\pm\gamma_2}$ в ряд по степеням γ_2 и ограничиваясь членами второго порядка малости по γ_2 результат для нечетного m по формулу (3) можно представить в виде

$$T_s = T_s^0 \left[1 - A\gamma_2 + (A^2 - B/2)\gamma_2^2 \right], \quad (4)$$

где T_s определялся выражением (2), а коэффициенты A и B имеют вид:

$$A = \frac{(n_3^2 + n_2)(n_2 + 1)^3 + (n_3^2 - n_2)(n_2 - 1)^3}{4(n_2^2 - 1)(n_3^2 + n_2^2)^3}, \quad (5)$$

$$B = \frac{(n_3^2 + n_2)(n_2 + 1)^3 - (n_3^2 - n_2)(n_2 - 1)^3}{4(n_2^2 - 1)(n_3^2 + n_2^2)^3}. \quad (6)$$

Оптические параметры пленок $PbTe$ переменного состава α , n и ϵ на заданной длине волны определялись на ЭВМ методом последовательных приближений. Изложенный метод определения оптических параметров очень чувствительный и позволяет зафиксировать малые изменения на уровне, по крайней мере с относительной погрешностью 1%. Предварительно из прозрачности подложек определяли значения T_0 , соответствующими положению экстремумов λ (m -четное) на интерференционной полосе системы подложка-пленка и из формулы (2) вычисляли значение n_3 . Порядок интерференции m находили из соотношения

$$m = \lambda_{m+1} / (\lambda_m - \lambda_{m+1}), \quad (7)$$

где λ_m и λ_{m+1} длины волн двух соседних экстремумов. Если при расчете получается дробное значение, то для m можно брать ближайшее целое число.

FUNDAMENTAL SCIENCES

Расчет производился в следующем порядке. Сначала при известном значении m из (3) находим n_2 . Подставляя значение n_2 в (1) определили λ_2 в первом приближении. Значение n_3 , n_2 и λ_2 подставили в (4) и находим T^0 . Найденное значение прозрачности, соответствующее нечетному экстремуму, снова подставляем в (1), определяем значение λ_2 и т.д. Повторяя такую процедуру определения n_2 и λ_2 окончательно находим значение коэффициента поглощения пленки по формуле $K_2 = n_2 \lambda_2 / \pi m$.

Результаты эксперимента и их обсуждения. Измерения проводились при комнатной температуре на спектрометре ИКС-20. Эксперимент показывает, что общим для всех образцов является наличие характерных полос поглощения. Так, небольшое добавление Te к исходному $PbTe$ приводит к росту коэффициентов поглощения α , затем дальнейшее увеличение Te приводит к уменьшению α . С другой стороны с ростом массы ΔTe фундаментальная полоса поглощения электромагнитных волн смещается в сторону больших значений $\hbar\omega$. В случае поглощения света пленок $PbTe$ с избытком ΔPb , так же наблюдается сдвиг полосы поглощения в сторону больших $\hbar\omega$ с ростом добавки ΔPb . Сравнение результатов показывает, что при добавлении Pb коэффициент поглощения растет больше, чем при добавки Te , что, по-видимому, связано с ростом металлических свойств неоднородного материала при добавлении Pb . Обнаруженные изменения показывают на некоторые различия в структуре и составе пленок, что находится в согласии с данными измерения других свойств тонких пленок $PbTe$ [2, 3].

На рис. 1 приведены графики спектров поглощения пленки $PbTe$ с разными значениями избытка Te . Из рисунка видно, что при энергии $\hbar\omega \approx E_g$ наблюдается резкое возрастание поглощения, обусловленного межзонными оптическими переходами носителей зарядов. Если учитывать, что в спектрах поглощения как в $PbTe$, так и PbS , $PbSe$ имеется ярко выраженная область, соответствующая краям собственного поглощения [8], то из вышеприведенных экспериментальных данных частотную зависимость коэффициента поглощения, соответствующего прямым оптическим переходам, можно представить как

$$\alpha \sim (\hbar\omega - E_g)^{1/2}, \quad (8)$$

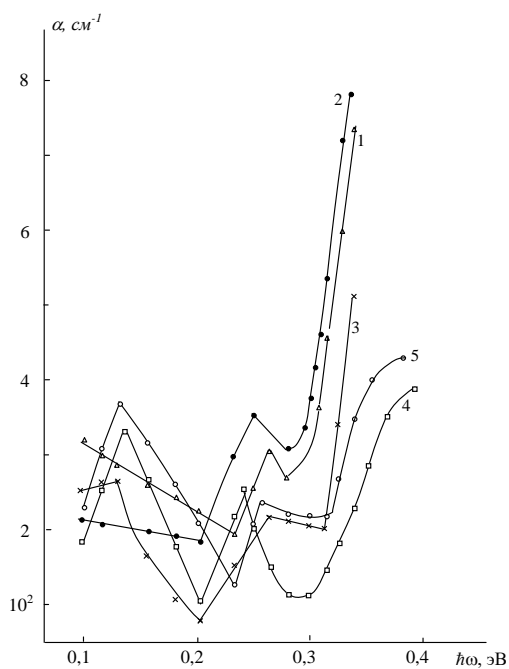


Рис. 1. Спектры поглощения пленок $PbTe$ с избытком Te . ΔTe масс. %: 1-0; 2-0,8; 3-1,8; 4-2,8; 5-3,8.

свинца 1,2 масс. % край собственного поглощения сдвигается в более коротковолновую область.

Сравнение экспериментальных данных поглощения пленок теллурида свинца переменного состава и монокристаллических образцов $PbTe$ [3] показывают, что в последних имеются полосы, которые по поглощению в энергетической шкале сходны с подобными полосами пленок. На основании изложенного можно сказать, что существование в спектрах поглощения пленок переменного состава по сравнению с монокристаллами $PbTe$ лишних полос и их величина определяют наличие Pb или Te в составе пленок.

Для пленок $PbTe:Te$ точки, отсекаемые продолжением прямых участков $\alpha^2(\omega)$ на оси абсцисс, находится в пределах 0,29 – 0,33 эВ в зависимости от ΔTe . В пленках $PbTe$ с избытком свинца 0,2 и 2,2 масс. % прямая $\alpha^2(\omega)$ отсекает на оси абсцисс $\hbar\omega \approx 0,32$ эВ, что совпадает с оптической шириной запрещенной зоны монокристаллов теллурида свинца. При избытке

FUNDAMENTAL SCIENCES

По участкам на кривых $\alpha(\omega)$, соответствующим поглощению на свободных носителях, можно судить о механизме рассеяния носителей заряда и их концентрации. Известно, что в $PbTe$ при поглощении света свободными носителями, коэффициент поглощения подчиняется зависимости $\alpha \sim \omega^m$. При этом, если концентрация носителей заряда в $PbTe$ удовлетворяет условию $n < 5 \cdot 10^{18} \text{см}^{-3}$, то преобладающим механизмом рассеяния является рассеяние на оптических колебаниях решетки и в зависимости $\alpha \sim \omega^m$ значение m равно 3. Если выполняется условие $n > 5 \cdot 10^{18} \text{см}^{-3}$, то носители зарядов рассеиваются на акустических колебаниях решетки и поэтому $m \approx 1,5$.

В спектрах поглощения пленок $PbTe$ с избытком Pb для всех образцов получено $m = 3$, что хорошо согласуется с данными холловских измерений: концентрация дырок в этих образцах меньше $\approx 5 \cdot 10^{18} \text{см}^{-3}$. Спектры поглощения на свободных носителях зарядов для пленок $PbTe$ с избытком Pb приведены на рис. 2. Видно, что для образцов 1 и 3 значение m в зависимости $\alpha = \omega \cdot m$ близко к 3, а для образца 2-к 1,5. Следовательно, согласно рассуждениям в [4,8] концентрация носителей зарядов в этих образцах превышает значение $5 \cdot 10^{18} \text{см}^{-3}$. Это утверждение находится в полном согласии другими результатами, что края основного поглощения образцов 1, 3 совпадает с краем основного поглощения невырожденных монокристаллов, а для пленки 2 наблюдается смещение края в коротковолновую область спектра. Все это свидетельствует о том, что концентрация электронов в образце 2 выше и обусловлено избытком металлических компонентов.

Выводы и заключение. Происхождение максимумов на рис.1, расположенных вблизи $\hbar\omega \approx (0,24 \pm 0,02) \text{эВ}$ в спектрах поглощения пленок $PbTe$, как с избытком свинца, так и с избытком теллура, по-видимому, можно объяснить присутствием в пленках кислорода и ролью приповерхностных областей объемных зарядов вблизи границы кристаллических зерен. Кроме отмеченных полос, в спектрах образцов p -типа проводимости с избытком теллура (1,8÷3,8) масс. % имеются дополнительные полосы с максимумом энергии $\hbar\omega \approx (0,13 \pm 0,01) \text{эВ}$. Они обусловлены, по-видимому, наличием свободного теллура либо поглощения света на свободных носителях, так как в спектрах поглощения теллура в области энергии $\hbar\omega \approx 0,12 \text{эВ}$ наблюдается полоса поглощения, связанная сложной валентной зоной $PbTe$, а значить внутри зонными поглощениями света. Появление свободного теллура также связано с тем, что в пленках $PbTe-Te$ нерастворенные сверхстехиометрические атомы Te выделяется в виде второй фазы по границам кристаллитов.

В заключение лишний раз отметим, что спектральные полосы поглощения, соответствующие образцам $PbTe:Pb:Te$ различного сверхстехиометрического состава, существенно отличаются по интенсивностям, спектр их прозрачности сильно зависит от концентрации носителей тока. При этом большим коэффициентом поглощения обладают образцы n -типа $PbTe:Pb$ и с ростом количества добавки свинца растет интенсивность полосы поглощения, а в образцах p -типа $PbTe:Te$ спектр коэффициента поглощения имеет немонотонную тенденцию к уменьшению с ростом добавки теллура.

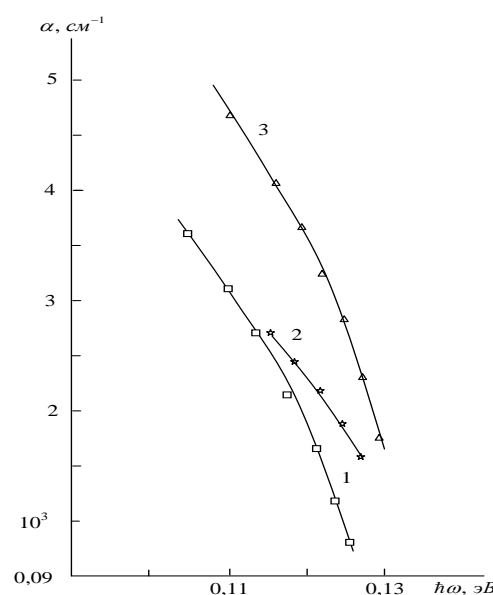


Рис. 2. Зависимость $\alpha(\hbar\omega)$ пленок $PbTe$ с избытком Pb . ΔPb масс.% 1-0,2; 2-1,2; 3-2,2.

FUNDAMENTAL SCIENCES

Литература

- [1].Палатник Л.С., Папилов И.И. Эпитакциальные пленки. - М.: Наука, 1971, с. 411-431.
- [2].Палатник Л.С., Сорокин В.К. Основы пленочного полупроводникового материаловедения. -М.: Энергия, 1973, 296 с.
- [3].Абдуллаев Э.А., Юлдашев Н.Х. Эффект пьезосопротивления в халькогенидах свинца и висмута. - Ташкент, «Фан», 1989, 182 с.
- [4].Сулаймонов Х.М., Юлдашев Н.Х. Тензометрические свойства поликристаллических пленок n-PbS в зависимости от уровня легирования. // Узбекский физический журнал, 2018. Т.19, №2. СС.84-88.
- [5].Мамадиева Д.Т., Нурматов О.Р., Рахмонов Т.И., Сулаймонов Х.М., Юлдашев Н.Х. Влияние механической деформации на фотовольтаические свойства полупроводниковых поликристаллических пленочных структур CdTe:Sn // НТЖ 2019, том. 23. №3. СС. 9-14.
- [6].Багаев В.С., Клевков Ю.В., Колосов С.А., Кривобок В.С., Шепель А.А. Эффект компенсации в нелегированном поликристаллическом CdTe, синтезированном в неравновесных условиях // Физика твердого тела - Санкт-Петербург. 2011, том 53, вып. 8, с. 1479-1487.
- [7].Исмаилов Х.Х., Жанабергенов Ж., Мирсагатов Ш.А., Каражанов С.Ж. Динамика перезарядки дефектов в крупноблочных пленках // Физика и техника полупроводников - Санкт-Петербург. 2006. №2(40), с. 185-187.
- [8].Семилетов С.А., Воронина И.П. Структура и электрические свойства монокристалльных пленок *PbTe* // ФТТ,1964, т.6, в.6. СС.1898-1900.

Web сайтлар

- [1]. e-mail: uzferfizika@mail.ru