

## ОПТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И МЕЖЗОННЫЕ ПЕРЕХОДЫ В КРИСТАЛЛАХ ТЕЛЛУРИДА ВИСМУТА

Н.З.ДЖАЛИЛОВ, С.И.МЕХТИЕВА, Н.М.АБДУЛЛАЕВ.

*Институт Физики НАН Азербайджана*

*Баку, АЗ-1143, Н.Савид пр., 33,*

*p*-tip keçiriciliyə malik olan, bismut tellurid kristallarının *C* oxuna paralel, səthə normal düşən  $1\div 6$  eV eneji intervalında süanın əksolunma əmsalı ölçülərindən onun optik parametrləri  $n, k, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \alpha, -Im\varepsilon^{-1}$  və zonalararası enerji keçidləri təyin olunmuşdur.

Из измерения коэффициента отражения света в интервале энергии  $E=1\div 6$  eV, падающего нормально на поверхность кристалла теллурида висмута *p*-типа проводимости, параллельно к оси *C*, были определены оптические параметры  $n, k, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \alpha, -Im\varepsilon^{-1}$  исследуемого кристалла и межзонные энергетические переходы

From measurement of factor of reflection of light in an interval of energy  $E=1\div 6$  eV, falling in parallel to an axis from a crystal of telluride of bismuth *p*-type as the conductivity, optical parameters  $n, k, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \alpha, -Im\varepsilon^{-1}$  and interband energy transitions are determined

### ВВЕДЕНИЕ

Теллурид висмута и твердые растворы на его основе применяются при изготовлении различных преобразователей энергии [1]. При этом, в основном используются монокристаллический или поликристаллический  $Bi_2Te_3$  и его твердые растворы. Монокристаллические образцы  $Bi_2Te_3$  легко скалываются по плоскостям спайности [0001], образуя зеркальную, стойкую к окислению поверхность, что не требует специальной химической обработки и очень важно для проведения оптических измерений.

Оптические параметры монокристалла, такие как коэффициент отражения  $R$  и поглощения  $\alpha$ , мнимая  $\varepsilon_2$  и реальная  $\varepsilon_1$  части диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$ , коэффициент поглощения  $k$  и показатель преломления ( $n$ ), потери электронов  $-Im\varepsilon^{-1}$  и другие представляют собой важное значение для полного объяснения физических свойств материала, но и для непосредственных практических применений – конструирование полупроводниковых приборов.[2,6].

Изученность зонной структуры  $Bi_2Te_3$  еще не достигла такого уровня, как германия, соединения  $A^{III}B^V$ , что связано со сложностью его кристаллической и зонной структуры [2].

Кристаллы  $Bi_2Te_3$  имеют пакетную структуру, связь между соседними пакетами имеет смешанный вандерваальсово-ковалентный характер [3]. Между пакетами осуществляется дополнительная связь за счет перехода одного *p*-электрона на *d*-уровни и перекрытия некоторых *d* уровней с валентной зоной. Все это обуславливает значительные металлические свойства и сравнительно малые величины энергии запрещенных зон в интервале  $0,15\div 0,35$  eV.

В [4] теоретически рассчитана структура зон кристалла  $Bi_2Te_3$ . Отсутствие данных о величине спин-орбитального взаимодействия ( $\Delta$ ) и сложность характера химической связи между атомами создавали при этом значительную трудность.

Задачей данной работы являлась на основе экспериментальных данных коэффициента отражения кристаллов  $Bi_2Te_3$ , определение его оптических параметров.

### МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Были исследованы спектры отражения зеркальных сколов монокристаллов  $Bi_2Te_3$  при  $T=293K$  в области  $1\div 6$  eV. Коэффициент отражения был измерен методом двулучевой спектроскопии. Кристаллы были легированы примесями Se и Tb, имели *p*-тип проводимости. Измерения были проведены параллельно оси *C* кристалла. Результаты измерения  $R$  представлены на рис.1.

По уравнениям Максвелла все оптические параметры взаимосвязаны, что видно из соотношения

$$\omega^2/v^2 = \mu/c^2 \cdot 4\pi\sigma(\omega) + \mu\varepsilon/c^2 \cdot \omega^2,$$

где  $\omega$  – частота,  $c$  – скорость света в вакууме.

Это соотношение связывает скорость распространения электромагнитной волны  $v$  в среде с магнитной восприимчивостью  $\mu$ , электропроводностью  $\sigma$  и диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$ .

Процедура определения оптических параметров полупроводников на основе экспериментальных данных по отражению изложена в [8].

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты оптических параметров исследуемых кристаллов  $Bi_2Te_3$ , вычислены на основе данных по отражению с помощью соотношений Крамерса-Кронига.

На рисунке 1 приводится график зависимости отражения  $R$  монокристаллов  $Bi_2Te_3$  *p*-типа проводимости от энергии ( $E$ ) падающего излучения в области  $1\div 6$  eV. Величина отражения коротковолнового света при  $1,5$  eV для  $Bi_2Te_3$  составляет 60% , величина длинноволнового света несколько меньше.

На рисунке 2 приводятся зависимости оптических параметров  $k$  и  $n$  монокристаллов  $Bi_2Te_3$  *p*-типа проводимости от энергии ( $E$ ) падающего излучения, в области  $1\div 6$  eV. Эта кривая также показывает на прямые переходы как слабая точка сгибания в интервале  $0,3\div 0,4$  eV [7].

На рисунке 3 приводятся зависимости мнимой  $\varepsilon_2$  и реальной  $\varepsilon_1$  части диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$ , монокристаллов  $Bi_2Te_3$ , *p*-типа проводимости от энергии ( $E$ ) падающего излучения, в области  $1\div 6$  eV.

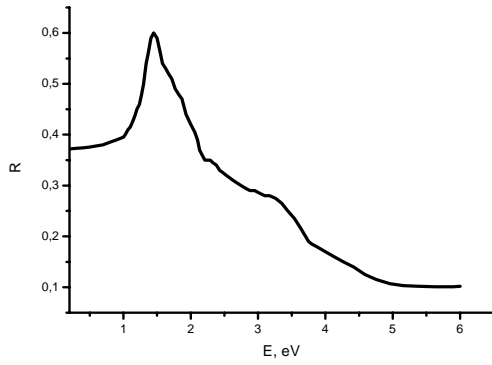


Рис 1. Отражение  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , в области  $1 \div 6 \text{ eV}$  параллельно оси С.

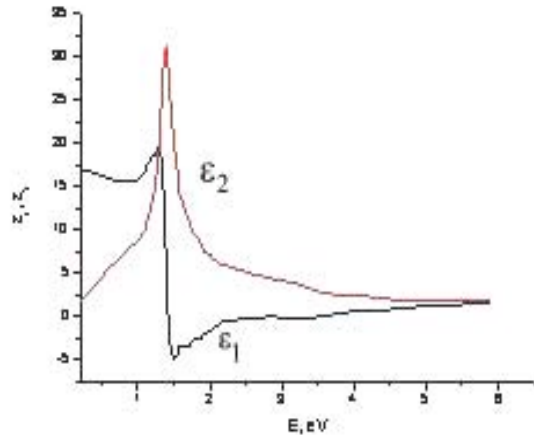


Рис 3. Зависимости  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$   $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  параллельно оси С от энергии фотона.

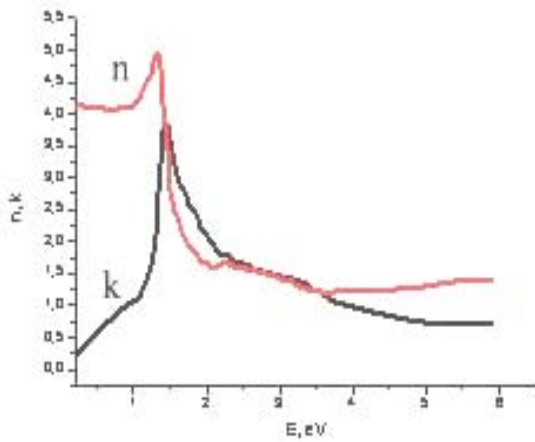


Рис 2. Зависимости  $k$  и  $n$   $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  параллельно оси С от энергии фотона.

На рисунке 4 приводится график зависимости поглощения  $\alpha$  монокристаллов  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , р-типа проводимости от энергии ( $E$ ) падающего излучения, в области  $1 \div 6 \text{ eV}$ . Эти результаты показывают, что вероятность самого низкого межзонного перехода в  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  в области фундаментального края поглощения  $0 \div 1 \text{ eV}$  составляет  $3 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ , а высокого межзонного перехода в области  $1 \div 1.5 \text{ eV}$  составляет  $50 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$  [7].

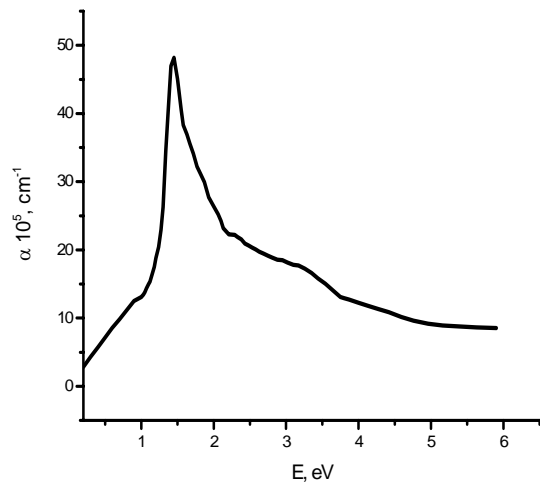


Рис 4. Зависимость поглощения  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  параллельно оси С от энергии фотона.

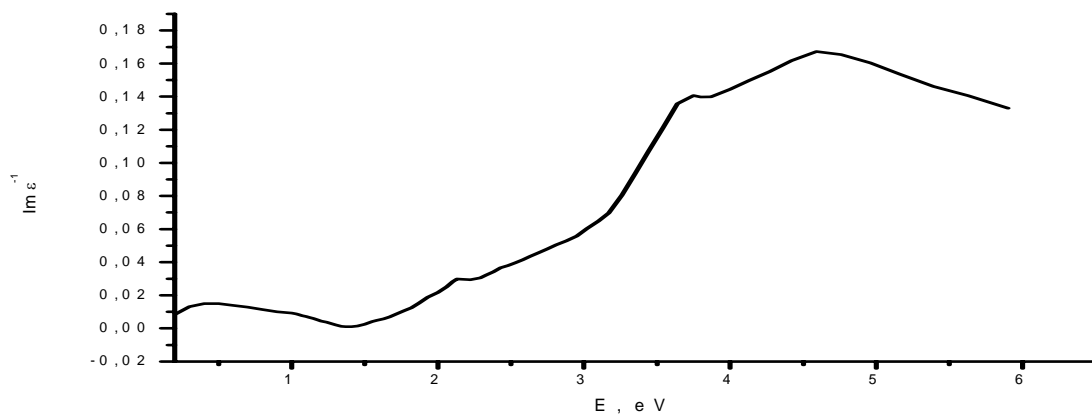


Рис 5. Зависимости потерь энергии электронов  $-\text{Im} \epsilon^{-1}$  для  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , // С.

## ОПТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И МЕЖЗОННЫЕ ПЕРЕХОДЫ В КРИСТАЛЛАХ ТЕЛЛУРИДА ВИСМУТА

На рисунке 5 приводится график зависимости функции потерь электронов (плазмонов)  $-\text{Im}^{-1}$  для монокристаллов  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $p$ -типа проводимости от энергии падающего излучения в области  $1\div 6 \text{ eV}$ .

Пики или ступеньки функций  $R$  и  $\varepsilon_2$ , как правило, отождествляются с межзонными или экситонными переходами в определенных областях зоны Бриллюэна [2,6].

В [6] по измерениям  $R$  в области  $1\div 6 \text{ эВ}$  для  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  были получены следующие межзонные переходы: 1,63, 1,87, 2,06, 2,58, 2,95. Наши данные по межзонным переходам в кристаллах  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  в области энергии  $1\div 6 \text{ эВ}$  приведены в таблице:

Таблица

Межзонные переходы в кристаллах $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ в области энергии $1\div 6 \text{ эВ}$										
0,20	0,69	0,89	1,00	1,04	1,10	1,17	1,19	1,23	1,26	1,30
1,32	1,36	1,40	1,49	1,54	1,58	1,72	1,76	1,87	2,00	-

Значения межзонных переходов для данного материала зависят и от кристаллографических направлений. В данном случае были определены переходы параллельно оси  $C$  кристаллов  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . Для определения фазы отраженного света из измерений коэффициента отражения требуется учитывать и влияние на нее по всей области  $R$ . Нами использованы в частности данные работы [7] и метод экстраполяции  $R$  на неизмеренную область его спектра.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по экспериментальным значениям коэффициента отражения  $R$  света в интервале энергии  $1\div 6 \text{ эВ}$  падающего излучения нормально к поверхности, параллельно к оси  $C$  кристаллов теллурида висмута  $p$ -типа проводимости, легированных  $\text{Se}$  и  $\text{Tb}$ , определены функции их оптических параметров  $n$ ,  $k$ ,  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\alpha$ ,  $-\text{Im}\varepsilon^{-1}$  и межзонные переходы.

- 
- |   |   |
|---|---|
| <p>[1]. В.Л.Гуревич. Кинетика фононных систем. «Наука», (1980) 14.</p> <p>[2]. Б.М.Гольцман, В.А.Кудинов, И.А.Смирнов. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе <math>\text{Bi}_2\text{Te}_3</math>. «Наука», (1972) 216.</p> <p>[3]. E.Mooser, W.C.Pearson, Phys. Chem. Solids 7, G 5, 1958.</p> <p>[4]. P.M.Lee, L.Pincherle. Pros. Phys. Soc. 81, 1963, 461.</p> <p>[5]. Т.Мосс. Оптические свойства полупроводников, ИЛ, М, 1961.</p> | <p>[6]. В.В.Соболев, Спектры энергетических зон полупроводниковых материалов типа <math>A^V B^VI</math>, Неорганические материалы, т.11, №1, 1966, 55.</p> <p>[7]. D.I.Greenaway and G.Harbecke. Band Structure of Bismuth Telluride, Selenide and their respective alloys. J. Phys. Chem.Solids, Pergamon Press, vol 26, 1965, pp. 1591.</p> <p>[8]. Оптические свойства полупроводников (под ред. Бира), ИЛ, М, 1970.</p> |
|---|---|

Daxil olunub: 01.07.2007