



# Beynəlxalq Konfrans "Fizika-2005" International Conference "Fizika-2005" Международная Конференция "Fizika-2005"

7 - 9  
Iyun  
June 2005  
Июнь

səhifə  
№101 page 388-390  
стр.

Bakı, Azərbaycan

Baku, Azerbaijan

Баку, Азербайджан

## ТЕПЛОЕМКОСТЬ МОНОХАЛЬКОГЕНИДОВ ГАЛЛИЯ

АЛДЖАНОВ М.А., СУЛТАНОВ Г.Д., КЕРИМОВА Э.М.,  
НАДЖАФЗАДЕ М.Д., АБДУЛЛАЕВ А.М.

*Институт Физики НАН Азербайджана,  
AZ 1143, Баку, пр. Г.Джавида 33,  
e-mail: [ekerimova@physics.ab.az](mailto:ekerimova@physics.ab.az)*

Методом адиабатической калориметрии измерена теплоемкость GaS, GaSe и GaTe в интервале температур 2-300К. Вычислена температурная зависимость характеристической температуры Дебая ( $\theta_D$ ) уменьшается, что связано с возрастанием числа возбужденных частот. Установлено, что изученные соединения при низких температурах ведут себя как квазидвумерные системы, причем при переходе от сульфидов к теллуридам двумерность уменьшается.

Полупроводниковые соединения GaS, GaSe и GaTe кристаллизуются в слоистой структуре. Отличительной особенностью этих кристаллов является существование сильной анизотропии в межатомных взаимодействиях. Изучение влияния анизотропии на физические свойства, в частности на низкотемпературную теплоемкость полупроводников является одной из актуальных задач физики низкоммерных кристаллов. Низкотемпературная теплоемкость является важным источником информации о фоновых спектрах слоистых соединений.

Теплоемкость GaS, GaSe и GaTe измерена в интервале температур 2-300К по методу адиабатической калориметрии в [1]. В данной работе обсуждаются некоторые особенности поведения низкотемпературной теплоемкости монокристаллов галлия. По данным теплоемкости вычислена температурная зависимость характеристической температуры Дебая  $\theta_D(T)$  для GaS, GaSe и GaTe, представленная на рис.1.

Как видно из рис.1  $\theta_D(T)$  GaS в интервале 4-16К почти не изменяется. В то же время  $\theta_D$  для GaSe ниже 20К не остается постоянной. В интервале 9-3К  $\theta_D(T)$  GaTe проходит через минимум, уменьшаясь до 150К. Этот минимум, соответствующий показателю степени температурной зависимости теплоемкости, равному 3,3, по-видимому, связан, как в случае безводных солей кадмия [2], с вкладом в теплоемкость оптических ветвей. Оптические ветви, соответствующие

межслоевому взаимодействию, могут быть достаточно мягкими, и в некоторых случаях проявляют себя в температурной зависимости  $C_p$  и при низких температурах [2]. Наличие двух сортов атомов в плоскости слоев может быть причиной существования в колебательных спектрах GaTe таких ветвей.

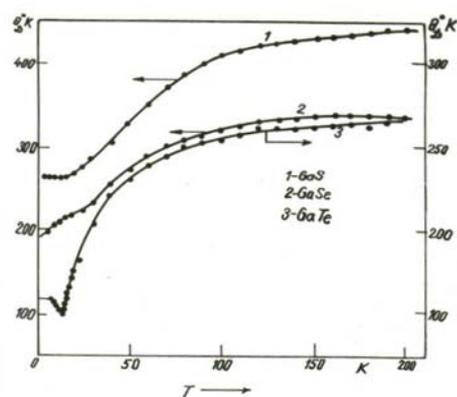


Рис. 1. Зависимость  $\theta_D(T)$  для GaS, GaSe и GaTe.

Значение  $\theta_0$  найдено из экстраполяции  $\theta_D(T)$  к  $T \rightarrow 0$ К: для GaS, GaSe и GaTe получено:  $263 \pm 1$ ,  $189 \pm 2$ ,  $158 \pm 3$ К соответственно.

Динамика решетки GaS и GaSe исследована в работах [3, 4]. С помощью неупругого рассеяния

нейтронов определен характер фоннного спектра кристаллов GaS и GaSe, который проанализирован с точки зрения аксиально-симметричной модели Борн-Кармана. При 10К вычисленные данные теплоемкости по  $\rho(\gamma)$  GaS [4] совпадают с экспериментальными данными в пределах погрешности. Интервал действия кубического (ниже 23К) и квадратичной (23–40К) законов  $C$  [4] также согласуется с полученными нами результатами.

Используя функции распределения частот в [3] вычислена решеточная теплоемкость GaSe. Ниже  $\approx 16$ К показатель степени температурной зависимости решеточной теплоемкости равен  $2,8 \pm 0,1$ , что хорошо согласуется с нашими данными. В интервале 20–30К получена квадратичная зависимость, которая по мнению авторов [3] означает, что в этом температурном интервале GaSe ведет себя как чистый двумерный кристалл. Используя значения  $C_V(T)$ , вычислена температура Дебая. При  $T \rightarrow 0$ К для GaSe  $\theta_0 = 187$ К, что совпадает с полученным нами значением  $\theta_0$ .

Ниже 4,6 и 7,5К наряду с кубическим членом в теплоемкости GaS, GaSe и GaTe появляется дополнительный член, который выделен нами как  $\Delta C = C_{\text{экс}} - C_{\text{реш}}$ ,  $C_{\text{экс}}$  – экспериментальные значения теплоемкости,  $C_{\text{реш}}$  – решеточная часть теплоемкости.  $C_{\text{реш}}$  GaS в интервале 2–4К вычислена по кубическому закону с  $\theta_D = 263$ К. Решеточная теплоемкость GaSe и GaTe выделена экстраполяцией кубической зависимости к более низким температурам. Полученная таким путем решеточная теплоемкость GaSe хорошо согласуется с результатами [3] в интервале 2–10К. Это подтверждает правильность выделения решеточной теплоемкости GaSe. Характер зависимости  $\Delta C(T)$  несколько напоминает аномалию Шоттки. Однако, по-видимому, появление дополнительного члена теплоемкости связано с вкладом дефектов [4], сильно влияющих на ход теплоемкости при низких температурах. Отметим, что не исключены и вклады поверхностных эффектов, которые особенно проявляются в анизотропных кристаллах при низких температурах [5].

Исследования теплоемкости полупроводниковых соединений типа  $A^{III}B^{VI}$ -монокристаллов галлия показали, что при переходе от сульфида к теллуриду дебаевская температура уменьшается, что связано с возрастанием числа возбужденных частот. С повышением температуры для изученных соединений наблюдается увеличение дебаевской температуры. Это показывает, что дисперсия волн в решетке приводит к уменьшению числа возбужденных частот с увеличением температуры, по сравнению с дебаевским приближением.

На рис.2 показана зависимость дебаевской температуры от молекулярного веса ( $M$ ), ширины запрещенной зоны ( $E_g$ ), температуры плавления ( $T_{\text{пл}}$ ) для монокристаллов галлия. Из рис.2 следует, что зависимость  $\theta_0$  от  $M$ ,  $T_{\text{пл}}$  и  $E_g$  не носит линейный характер. Температура Дебая увеличивается с

уменьшением молекулярного веса, увеличением ширины запрещенной зоны и температуры плавления.

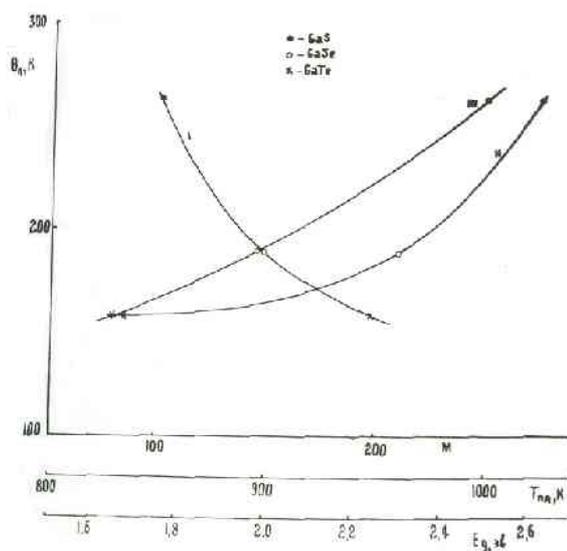


Рис.2. Зависимость  $\theta_0$  от  $M$ ,  $T_{\text{пл}}$  и  $E_g$  для GaS, GaSe и GaTe.

Таким образом, не имеет место простая эмпирическая корреляция между  $\theta_0$  и  $M$ ,  $T_{\text{пл}}$  и  $E_g$  для изученных соединений. По-видимому, это является следствием отличия кристаллической структуры GaTe от GaS и GaSe. Структура GaTe накладывает свой отпечаток и на температурную зависимость дебаевской температуры. На  $\theta_D(T)$  для в интервале 9–13К обнаружен минимум, который связывается с вкладом в теплоемкость мягких оптических ветвей.

Как отмечено выше, теплоемкость решетки монокристаллов галлия при переходе от GaS к GaTe сильно увеличивается и, следовательно, понижается температура Дебая. При низких температурах  $\theta_0$  изменяется, согласно [5, 7] по формуле:

$$\theta_0 = \bar{C}_1^{-1/2} \Omega^{1/6} M_0^{-1/2} \quad (1)$$

где  $\Omega$  – атомный объем,  $M_0$  – молярная масса,  $k$  – константа,  $\bar{C}_1$  – средняя константа упругости. Поскольку кристаллическая структура GaS и GaSe обладает гексагональной структурой с близкими параметрами решетки то  $\Omega^{1/6}$  не сильно отличается для этих соединений. Тогда из (1) следует, что  $\theta_0^2$  обратно пропорциональна массе  $M_0 = M_1 + M_2$ , где  $M_1$  – г-атомная масса галлия,  $M_2$  – г-атомная масса серы или селена. Квадрат предельной температуры Дебая при высоких температурах ( $\theta_D^\infty$ ) (табл.1) обратно пропорционален приведенной массе [7]:

$$\theta_D^\infty \propto \frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2} = \frac{1}{M_\infty} \quad (2)$$

Отношения  $\theta_0/\theta_D^\infty$  и  $(M_\infty/M_0)^{1/2}$  для GaS и GaSe даны в табл.1.

В последней колонке этой таблицы приведено произведение  $(\theta_0/\theta_D^\infty)(M_\infty/M_0)^{-1/2}$ , равное 1,248 и 1,094 для GaS и GaSe соответственно. Эти два числа, отражающие константы пропорциональности между  $\theta_0$  и  $M_0^{-1/2}$ , и  $\theta_D^\infty$  и  $M_\infty^{-1/2}$ , зависят от межатомных сил в кристалле. Из табл.1 видно, что для GaS и GaSe, они

примерно равны. Это позволяет сделать вывод о том, что средняя константа упругости примерно одинакова для обоих полупроводников. Таким образом, изменение  $\theta_0$  при переходе от GaS к GaSe, в основном, вызвано изменением массы одного из компонентов.

Табл.1

Соединения	$\theta_0$	$\theta_D^\infty$	$\theta_0/\theta_D^\infty$	$(M_\infty/M_0)^{1/2}$	$(\theta_0/\theta_D^\infty)(M_\infty/M_0)^{-1/2}$
GaS	263	454	0,579	0,464	1,248
GaSe	189	346	0,546	0,499	1,094

Ниже  $10^0$  К,  $20^0$ К и  $9^0$ К выполняется кубический закон теплоемкости для GaS, GaSe и GaTe, соответственно. С увеличением температуры для всех этих соединений кубический закон переходит в квадратичный, затем в широком интервале температуры наблюдается линейный закон, интервал действия которого уменьшается от GaS к GaTe. Наблюдение специфических законов теплоемкости

$C_p \approx T^2$ ;  $T^1$  обусловлены анизотропией межатомных связей внутри и межслоями GaS, GaSe и GaTe, т.е. эти соединения ведут себя при низких температурах, как квазидвумерные системы. А интервал действия обнаруженных предельных законов показывает, что двумерность уменьшается при переходе от сульфида к теллуриду.

[1]. К.К. Мамедов, М.А.Алджанов, М.И. Мехтиев, И.Г. Керимов. ФТТ, **20**, 1, 42 (1978).  
 [2]. Е.С. Ицкевич, П.Г. Стрелков. ЖЭТФ, **32**, 3, 467 (1957)  
 [3]. S. Jandl, J. Brebner, B. Powell. Phys.Rev.B, **13**, 2, 686 (1976).  
 [4]. В.М. Powell, S. Janedl, J.L. Brebner, F. Levy. J Phys. C. **10**, 16, 3039 (1977)

[5]. А. Марадудин. М., Мир, 432 с (1968).  
 [6]. И.М. Господарев, Е.С.Сыркин. ФНТ, **4**, 5, 672 (1978).  
 [7]. G.Shoemaker, F.Rayne, P.Ure. Phys. Rev., **185**, 3, 1056 (1969).