



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*

Методом адиабатической калориметрии измерена теплоемкость GaS, GaSe и GaTe в интервале температур 2-300К. Вычислена температурная зависимость характеристической температуры Дебая (θ_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 низкомерных 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 θ_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.

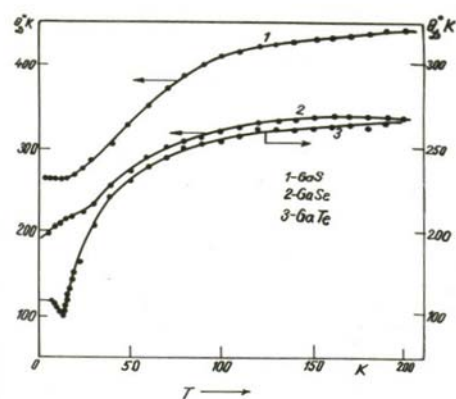


Рис. 1. Зависимость $\theta_D(T)$ для GaS, GaSe и GaTe.

Значение θ_0 найдено из экстраполяции $\theta_D(T)$ к $T \rightarrow 0$ К: для GaS, GaSe и GaTe получено: 263 ± 1 , 189 ± 2 , 158 ± 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 ≈ 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 θ_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 θ_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.

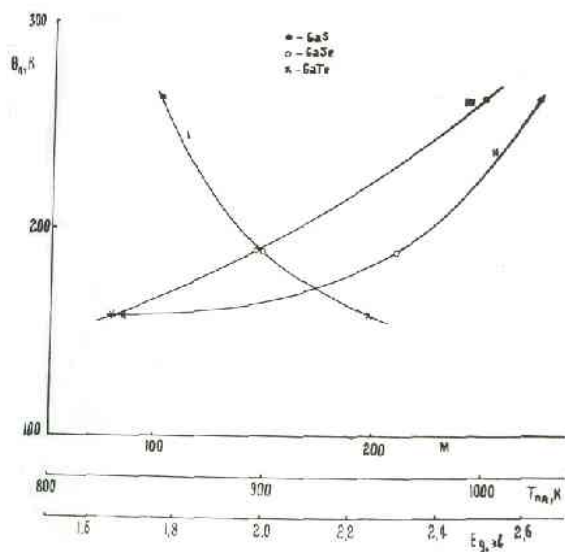


Рис.2. Зависимость θ_0 от M , $T_{\text{пл}}$ и E_g для GaS, GaSe и GaTe.

Таким образом, не имеет место простая эмпирическая корреляция между θ_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 θ_0 изменяется, согласно [5, 7] по формуле:

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

где Ω – 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 θ_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 (θ_D^∞) (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 θ_0/θ_D^∞ 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 θ_0 и $M_0^{-1/2}$, и θ_D^∞ 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 θ_0 при переходе от GaS к GaSe, в основном, вызвано изменением массы одного из компонентов.

Табл.1

Соединения	θ_0	θ_D^∞	θ_0/θ_D^∞	$(M_\infty/M_0)^{1/2}$	$(\theta_0/\theta_D^\infty)(M_\infty/M_0)^{-1/2}$
GaS	263	454	0,579	0,464	1,248
GaSe	189	346	0,546	0,499	1,094

Ниже 10⁰ К, 20⁰К и 9⁰К 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).