

## ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ $Gd_2S_3$ И $Dy_2S_3$

С. М. Лугуев, Н. В. Лугуева, В. В. Соколов

Интерес к изучению полупроводников редкоземельных элементов (РЗЭ) возник в связи с перспективностью их применения в качестве электрооптических, пьезоэлектрических и лазерных материалов [1-4], для которых одной из важных характеристик является теплопроводность.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования теплопроводности сульфида гадолиния  $Gd_2S_3$  и сульфида диспрозия  $Dy_2S_3$  в интервале температур 80—400 К. Данные о коэффициенте теплопроводности  $\kappa$  стехиометрических составов этих соединений в литературе отсутствуют.

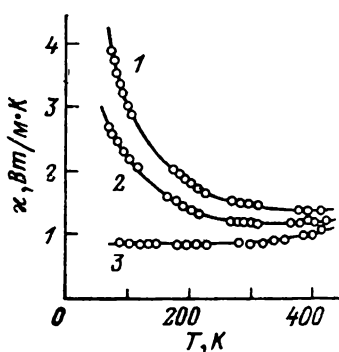


Рис. 1. Температурная зависимость коэффициента теплопроводности  $\kappa$  полупроводников сульфидов лантана (1), гадолиния (2) и диспрозия (3) в интервале температур 80—400 К.

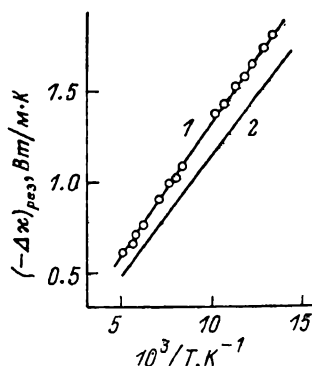


Рис. 2. Температурные зависимости  $(-\Delta\kappa)_{рез}$  для сульфида диспрозия (1) и теллурида празеодима (2), обусловленные рассеянием фононов на парамагнитных ионах Dy и Pr соответственно.

Образцы получены кристаллизацией из расплава соответственно сульфида гадолиния и сульфида диспрозия в атмосфере паров серы [5]. Рентгеноструктурный анализ показал, что они имеют структуру  $Th_3P_4$  ( $\gamma$ -модификация). Для исследования теплопроводности образцы размерами  $5 \times 5 \times 10$  мм вырезались из крупноблочных поликристаллических слитков  $Gd_2S_3$  и  $Dy_2S_3$ , прозрачных на просвет. Измерения  $\kappa$  выполнялись в вакууме  $\sim 1.33 \cdot 10^{-3}$  Па абсолютным стационарным методом на установке типа «А», рассмотренной в [6]. Погрешность измерений не превышала 5 %.

На рис. 1 приведены результаты измерения коэффициента теплопроводности  $Gd_2S_3$  и  $Dy_2S_3$ , полученные в настоящей работе. Здесь же представлены данные  $\kappa$  для аналогичного соединения  $La_2S_3$  [7]. Как видно из рисунка, характер температурной зависимости теплопроводности  $Gd_2S_3$  аналогичен температурной зависимости теплопроводности  $La_2S_3$ . Более

низкая по абсолютной величине, чем у  $\text{La}_2\text{S}_3$ , теплопроводность  $\text{Gd}_2\text{S}_3$  и  $\text{Dy}_2\text{S}_3$  в определенной мере обусловлена бóльшими атомными весами Gd и Dy. Однако расчетные значения коэффициента теплопроводности  $\text{Gd}_2\text{S}_3$  и  $\text{Dy}_2\text{S}_3$  с учетом различия в атомных весах La, Gd и Dy не в полной мере объясняют экспериментальные данные. Учет наряду с различием атомных весов La и Gd остаточных тепловых сопротивлений  $\text{La}_2\text{S}_3$  и  $\text{Gd}_2\text{S}_3$  удовлетворительно объясняет разницу в абсолютной величине  $\kappa$  этих соединений, но необычными для этого типа материалов как по абсолютной величине, так и по температурной зависимости представляются данные  $\kappa$  для  $\text{Dy}_2\text{S}_3$ . Для выяснения возможных причин этого проанализируем механизмы переноса тепла в  $\text{Gd}_2\text{S}_3$  и  $\text{Dy}_2\text{S}_3$ .

Полуторные сульфиды гадолиния и диспрозия являются широкозонными полупроводниками с оптической шириной запрещенной зоны порядка 2.6—2.8 эВ [8] и удельным сопротивлением  $\sim 10^8$  Ом·м, поэтому возможными компонентами теплопроводности, от которых можно ожидать вклад в общую теплопроводность, являются теплопроводность кристаллической решетки  $\kappa_p$  и перенос тепла электромагнитным излучением  $\kappa_{\text{фот}}$ .

Тепловое сопротивление  $W=1/\kappa_p$  сульфид гадолиния в области температур 80—200 К имеет линейную температурную зависимость, характерную для переноса тепла фононами и фонон-фононного, фонон-дефектного механизмов рассеяния. При более высоких температурах наблюдается отклонение  $W(T)$  от линейного закона, что может быть объяснено появлением дополнительного механизма переноса тепла в образцах, температурная зависимость которого  $\sim T^3$ . По ее температурной зависимости и ввиду оптической прозрачности образцов можно считать, что дополнительной составляющей теплопроводности в  $\text{Gd}_2\text{S}_3$  является  $\kappa_{\text{фот}}$ .

Необычные данные  $\kappa$  сульфид диспрозия могут быть поняты, если учесть парамагнетизм ионов диспрозия [1] и возможность резонансного рассеяния фононов на расщепленном кристаллическим полем  $f$ -уровнях Dy. Резонансное рассеяние фононов на парамагнитных ионах РЗЭ при большой их концентрации рассмотрено в [9]. Следуя методике, предложенной в [9] для экспериментального определения вклада этого механизма в теплопроводность и ограничившись областью температур, где перенос тепла осуществляется лишь колебаниями кристаллической решетки, определена разница  $\Delta\kappa = \kappa_p(\text{Gd}_2\text{S}_3) - \kappa_p(\text{Dy}_2\text{S}_3)$ , значения которой приведены на рис. 2. Ввиду близости атомных весов Gd и Dy можно предположить, что  $\Delta\kappa = (-\Delta\kappa)_{\text{рез}}$ , где  $(-\Delta\kappa)_{\text{рез}}$  — отрицательная добавка к теплопроводности кристаллической решетки, обусловленная резонансным рассеянием фононов на парамагнитных ионах диспрозия, если учесть, что в  $\text{Gd}_2\text{S}_3$  такого рассеяния нет. Оказалось, что для полуторного сульфид диспрозия  $(-\Delta\kappa)_{\text{рез}} \sim T^{-1}$ , что соответствует большой концентрации парамагнитных ионов и неупорядоченному их расположению в решетке и области температур выше резонансной температуры [9]. Аналогичная температурная зависимость отрицательной добавки к теплопроводности кристаллической решетки получается и при определении ее из сопоставления данных  $\kappa_p$  для  $\text{Dy}_2\text{S}_3$  и  $\text{La}_2\text{S}_3$ . Необходимо отметить, что  $(-\Delta\kappa)_{\text{рез}}$  для  $\text{Dy}_2\text{S}_3$  по абсолютной величине несколько больше, чем у  $\text{Pr}_2\text{Te}_3$  [9] (рис. 2), что может быть обусловлено «выключением» в  $\text{Dy}_2\text{S}_3$  большей, чем в  $\text{Pr}_2\text{Te}_3$ , полосы фононного спектра из теплопереноса механизмом рассеяния фононов на парамагнитных ионах.

Таким образом, дополнительное тепловое сопротивление в  $\text{Dy}_2\text{S}_3$  обусловлено сильным рассеянием фононов на парамагнитных ионах диспрозия, являющихся основной компонентой кристаллической решетки и одновременно выступающих в роли «примесных» атомов. Необычная температурная зависимость  $\kappa(T)$  для  $\text{Dy}_2\text{S}_3$  объясняется наличием и температурной зависимостью этого механизма рассеяния фононов.

- [1] Физические свойства халькогенидов редкоземельных элементов. / Под ред. В. П. Жузе. Л.: Наука, 1973. 303 с.
- [2] Жузе В. П., Камарзин А. А., Соколов В. В., Маловицкий Ю. Н., Бульченко В. П., Смирнов И. А., Шельх А. И. Письма в ЖТФ, 1980, т. 6, № 23, с. 1431—1432.
- [3] Жузе В. П., Камарзин А. А., Соколов В. В., Волконская Т. А., Смирнов И. А., Шельх А. И. Письма в ЖТФ, 1981, т. 7, № 23, с. 1435—1436.
- [4] Глушков М. В., Мамедов А. А., Прохоров А. М., Пухлий Ж. А., Щербаков И. А. Письма в ЖЭТФ, 1980, т. 31, № 2, с. 114—117.
- [5] Kamazhin A. A., Mironov K. E., Sokolov V. V., Malovitsky Yu. N. Vasil'yeva I. G. J. Cryst. Growth, 1981, vol. 52, N 2, p. 619—622.
- [6] Девяткова Е. Д., Петров А. В., Смирнов И. А., Мойжес Б. Я. ФТТ, 1960, т. 2, № 4, с. 738—746.
- [7] Лузуев С. М., Лузуева Н. В., Соколов В. В., Маловицкий Ю. Н. Изв. АН СССР, сер. Неорган. матер. науки, 1985, т. 21, № 5, с. 878—880.
- [8] Жузе В. П., Камарзин А. А., Карин М. Г., Сидорин К. К., Шельх А. И. ФТТ, 1979, т. 21, № 11, с. 3410—3415.
- [9] Лузуев С. М., Оскотский В. С., Сергеева В. М., Смирнов И. А. ФТТ, 1975, т. 17, № 9, с. 2697—2701.

Институт физики  
Дагестанского филиала АН СССР  
Махачкала

Поступило в Редакцию  
28 июля 1987 г.

УДК 538.975

Физика твердого тела, том 30, в. 3, 1988  
Solid State Physics, vol. 30, № 3, 1988

## СВЕРХТОНКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МОНОКРИСТАЛЛЕ $\text{TlFeS}_2$

Г. Д. Султанов, В. Д. Чечерский, Р. М. Мирзабабаев,  
С. Г. Ибрагимов, Г. Д. Гусейнов

Полупроводниковый кристалл  $\text{TeFeS}_2$  имеет цепочечную структуру, для которой характерно одномерное магнитное упорядочение [1]. Цель настоящей работы заключается в определении направлений сверхтонких

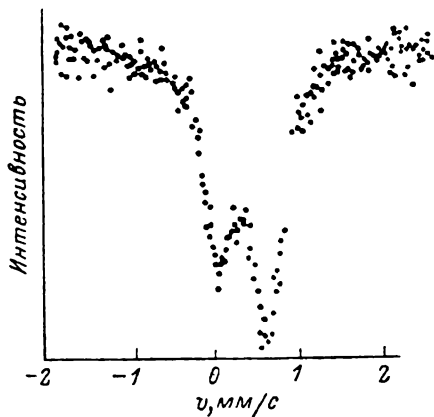


Рис. 1. Мёссбауэровский спектр монокристалла  $\text{TlFeS}_2$  при  $T=300$  К.

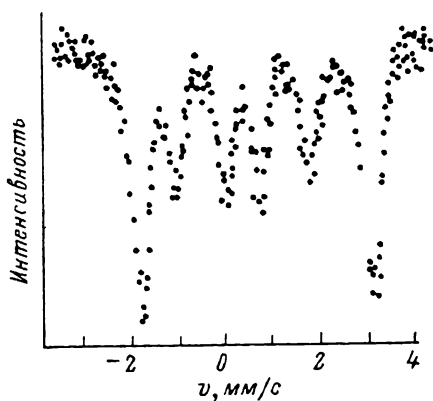


Рис. 2. Мёссбауэровский спектр монокристалла  $\text{TlFeS}_2$  при  $T=80$  К.

магнитных и неоднородных электрических полей на ядрах  $\text{Fe}^{57}$  в кристалле  $\text{TlFeS}_2$ .

Измерения проводились с помощью эффекта Мёссбауэра на монокристаллическом образце толщиной  $\sim 0.1$  мм. Направление пучка  $\gamma$ -квантов совпадало с осью [001] кристалла и было перпендикулярно це-