

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ И СРЕДНЯЯ ДЛИНА СВОБОДНОГО ПРОБЕГА ФОНОНОВ В МОНОКРИСТАЛЛЕ КАЛЬЦИЙ-ГАЛЛИЙ-ГЕРМАНИЕЕВОГО ГРАНАТА

Н. Н. Сирота, П. А. Попов, И. А. Иванов

В литературе отсутствуют данные по низкотемпературной теплопроводности кальций-галлий-германиевого граната $\text{Ca}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (КГГГ), являющегося перспективным материалом микроэлектроники и лазерной техники.

В настоящей работе методом стационарного теплового потока исследована температурная зависимость теплопроводности $\kappa(T)$ кристалла КГГГ, выращенного методом Чохральского из предварительно прокаленных оксидов квалификации ОСЧ, в интервале температур 5—300 К.

Монокристаллический образец имел размеры $5 \times 5 \times 40$ мм, расстояние между датчиками температур составляло 20 мм. Ориентация длинной оси образца совпадала с направлением роста $\langle 100 \rangle$. Плотность дислокаций, определенная по ямкам травления, не превышала 30 см^{-2} . Параметр элементарной ячейки из рентгенографических измерений равен 12.250 \AA .

Аппаратура и принятая методика измерений аналогичны описанным в [1,2]. Разброс экспериментальных точек относительно сглаживающей кривой ограничен 3%. Погрешность измерения теплопроводности не превышала 5%.

Температурная зависимость теплопроводности $\kappa(T)$ кристалла КГГГ приведена на рис. 1. При сравнительно высокой температуре $T \approx 40 \text{ К}$ наблюдается четкий максимум теплопроводности, составляющий $70 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$. В области температур 5—20 К зависимость $\kappa(T)$ близка к линейной $\kappa(T) = 2.2T$. При температурах 77 и 300 К теплопроводность составила 42 и $8.8 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ соответственно.

Полученные ранее данные по упругим свойствам [3] и температурной зависимости теплоемкости КГГГ [4] позволяют рассчитать среднюю длину свободного пробега фононов $l(T)$ в этом кристалле, используя кинетическое выражение $\kappa = Cvl/3$, где C — решеточная теплоемкость единицы объема, v — средняя скорость распространения фононов (ультразвук). Заметим, что на экспериментальной кривой $C_p(T)$ в области температур ниже 15 К наблюдается подъем, природа которого в [4] не обсуждалась. Эта аномалия проявляется в наличии максимума на кривой $l(T)$. Для выделения решеточной составляющей теплоемкости C в интервале 5—15 К нами было использовано дебаевское приближение $C \sim T^3$. Соответствующий участок кривой $l(T)$ на рис. 2 представлен штриховой линией.

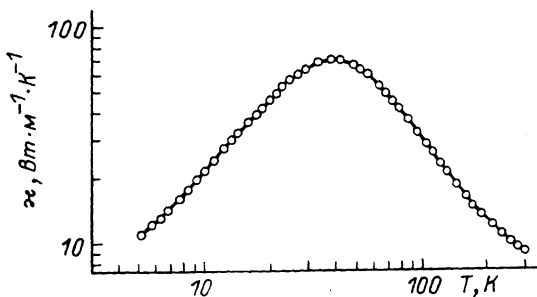


Рис. 1. Температурная зависимость теплопроводности монокристалла КГГГ в интервале 5—300 К.

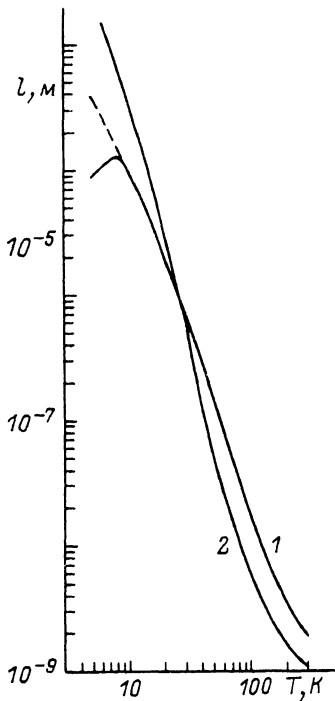


Рис. 2. Температурные зависимости средней длины свободного пробега фононов в гранатах КГГ (1) и КГГГ [2].

Как следует из полученных данных, средняя длина свободного пробега фононов $l(T)$ при повышении температуры от 5 до 300 К изменяется от $3.5 \cdot 10^{-5}$ до $1.9 \cdot 10^{-9}$ м. Таким образом, при самых низких температурах величина l составляет менее 1% от диаметра кристалла, а при комнатной температуре еще велика по сравнению с межзонными расстояниями. Поэтому размерные эффекты на температурном ходе кривой $l(T)$ существенно не сказываются и основными механизмами, определяющими зависимость $l(T)$, являются, по-видимому, фонон-фононное и фонон-дефектное рассеяния.

Заметим, что среднее время жизни фононов $\tau = l/v$ в изученном интервале температур изменяется от $6.8 \cdot 10^{-9}$ (5 К) до $3.7 \cdot 10^{-13}$ с (300 К), не достигая, таким образом, минимальных возможных значений $\tau_{\min} \approx h/k\theta \approx 8 \cdot 10^{-14}$ с.

Для сравнения на рис. 2 приведена кривая $l(T)$ для другого, близкого по составу, граната — кальций-ниобий-галлиевого (КНГГ) [5,6]. Видно, что температурная зависимость $l(T)$ для КГГГ гораздо менее сильная, чем в случае КНГГ. Причинами этого могут быть разупорядоченность структуры КНГГ и различия в величинах характеристических дебаевских температур ($\theta_{\text{КНГГ}} \approx 1.1\theta_{\text{КГГ}}$ [4,7]), проявляющиеся в различной эффективности фонон-фононного взаимодействия.

Авторы благодарят Б. В. Милля за предоставление образца для измерений.

Список литературы

- [1] Попов П. А., Антонов А. В., Иванов И. А., Сидоров А. А. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 10. С. 287—290.
- [2] Сирота Н. Н., Попов П. А., Сидоров А. А., Иванов И. А., Антонов А. В. // Весці АН БССР, Сер. фіз.-мат. навук. 1990. № 4. С. 51—55.
- [3] Китаева В. Ф., Федорович В. Ю., Антюхов А. М., Жариков Е. В., Кутуков В. И., Носенко А. Е. // КСФ. 1986. № 10. С. 20—21.
- [4] Антюхов А. М., Моисеев Н. В., Антюхов О. А., Пампуха А. К., Егоров Г. В. // ФТТ. 1984. Т. 26. № 11. С. 3485—3487.
- [5] Попов П. А., Белокрылов Ю. В., Иванов И. А., Антонов А. В. // ФТТ. 1990. Т. 32. № 8. С. 2492—2493.
- [6] Сирота Н. Н., Попов П. А., Иванов И. А. // ДАН СССР. 1991. Т. 317. № 5. С. 1119—1123.
- [7] Антюхов А. М., Моисеев Н. В., Иванов И. А., Антонов А. В. // Тез. докл. XI Всес. конф. по калориметрии и химической термодинамике. Новосибирск, 1986. Ч. II. С. 97—98.

Московский гидромелиоративный институт
Брянский государственный педагогический институт
им. академика И. Г. Петровского

Поступило в Редакцию
30 августа 1991 г.