

Теплопроводность слоистых полупроводников GaS и GaSe

© Н.А. Абдуллаев, М.А. Алджанов, Э.М. Керимова

Институт физики Академии наук Азербайджана,

370143 Баку, Азербайджан

E-mail: farhad@azintex.com

(Поступила в Редакцию 26 апреля 2001 г.)

Представлены результаты экспериментальных исследований теплопроводности слоистых полупроводников GaS и GaSe параллельно и перпендикулярно слоям в интервале температур 5–300 К. Проанализированы характерные особенности теплопроводности этих слоистых кристаллов.

Существенное отличие слабого межслоевого взаимодействия от сильного внутрислоевого приводит к ряду интересных особенностей в фоновых спектрах слоистых кристаллов (СК). Отражение особенностей фоновых спектров СК на температурное поведение теплоемкости и теплового расширения подробно исследовалось и теоретически, и экспериментально. Однако данные о теплопроводности СК в области низких температур в литературе освещались недостаточно, а порой просто отсутствуют.

В настоящей работе впервые приводятся данные исследований теплопроводности слоистого кристалла GaSe в интервале температур 5–300 К (см. рисунок, *a*). Для сравнительного анализа приведены также (см. рисунок, *b*) данные о теплопроводности изоструктурного слоистого GaS [1]. Необходимо отметить, что теплопроводность GaS и GaSe выше 100 К изучалась в [2]. Наши данные для комнатных температур удовлетворительно согласуются с результатами [2]. В работах [3] было показано, что при низких температурах в температурном поведении теплоемкости $C_p(T)$ в СК GaS и GaSe можно выделить области температур с доминирующей ролью волн изгиба. Исследование теплового расширения в СК GaS и GaSe выявило наличие интервалов температур, при которых величина коэффициента теплового расширения в плоскости слоев $\alpha_{\parallel}(T)$ отрицательна вследствие проявления специфического для СК "мембранного эффекта" [4]. Таким образом, изучение влияния особенностей фонового спектра СК на их теплопроводность представляет несомненный научный интерес.

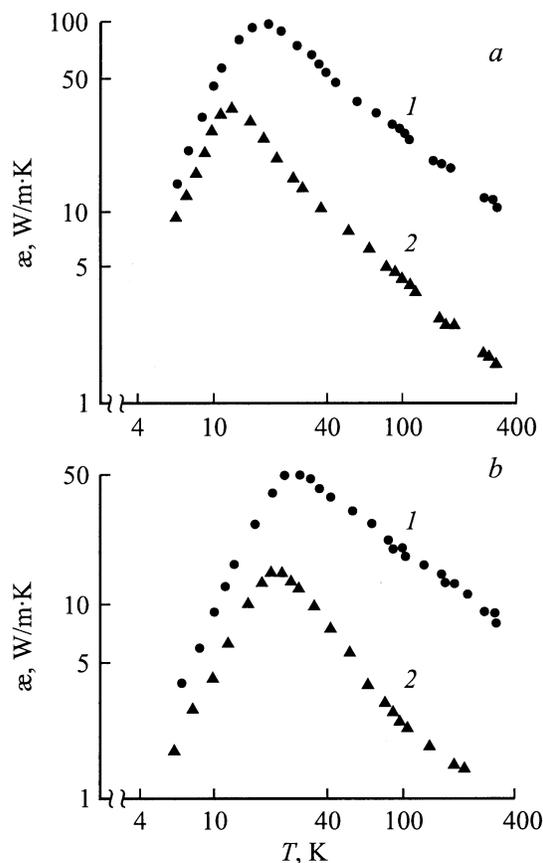
Теплопроводность κ измерялась стационарным методом [5]. Максимальная погрешность измерений не превышала 5%. Следует отметить, что температурный ход коэффициента теплопроводности в направлении, перпендикулярном плоскости слоев κ_{\perp} , для различных образцов несколько отличается, что по-видимому, связано с трудностями ориентирования образцов в направлении [001]. Данные κ_{\perp} получены путем усреднения измерений двух образцов. Из рисунков хорошо заметно, что кривые теплопроводности обладают специфической колоколообразной формой, характерной для фоновой теплопроводности в кристаллах. Анализ экспериментальных данных, представленных на рисунке, позволяет

отметить следующие характерные особенности теплопроводности СК GaS и GaSe.

1) Теплопроводность анизотропна (при комнатной температуре $\kappa_{\parallel}/\kappa_{\perp} \sim 10$). Анизотропия теплопроводности уменьшается по мере уменьшения температуры.

2) В области температурного роста температурные зависимости теплопроводности κ_{\parallel} и κ_{\perp} следуют степенным зависимостям: $\kappa_{\parallel} \sim T^{2.4 \pm 0.1}$ и $\kappa_{\perp} \sim T^{2.1 \pm 0.1}$ в GaS, $\kappa_{\parallel} \sim T^{2.5 \pm 0.1}$ и $\kappa_{\perp} \sim T^{2.2 \pm 0.1}$ в GaSe.

3) Температурное положение максимума теплопроводности в направлении сильной связи смещено в область



Температурные зависимости коэффициентов теплопроводности слоистых монокристаллов. *a* — GaSe: 1 — в плоскости слоев κ_{\parallel} , 2 — перпендикулярно слоям κ_{\perp} ; *b* — GaS: 1 — в плоскости слоев κ_{\parallel} , 2 — перпендикулярно слоям κ_{\perp} .

более высоких температур. Положение максимумов в зависимостях $\kappa_{\parallel}(T)$ и $\kappa_{\perp}(T)$ в GaS 24 и 20 К, а в GaSe — 19 и 13 К соответственно.

4) В области за максимумом κ следует экспоненциальному закону в широком интервале температур: $\kappa = a(T/\Theta_i)^n \exp(\Theta_i/bT)$, где Θ_i — характеристическая температура, a , b , n — постоянные [6].

Анизотропия теплопроводности в GaS и GaSe не поддается интерпретации на основе особенностей акустического спектра, а может быть объяснена лишь с учетом особенностей процессов рассеяния носителей на дефектах, характерных для СК. Особенностью практически всех СК является существование дефектов стыковки слоев, наличие которых приводит к сильному рассеянию фононов при их движении перпендикулярно слоям, практически не сказываясь на их движении в плоскости слоев.

Температурный рост теплопроводности в СК GaS и GaSe согласно закону T^{2+X} обусловлен соответствующим ростом теплоемкости этих кристаллов [3].

Различное температурное положение пиков теплопроводности в зависимостях $\kappa_{\parallel}(T)$ и $\kappa_{\perp}(T)$ вызвано, по видимому, различным "временем" включения процессов переброса, в свою очередь обусловленного анизотропией сил связи в этих кристаллах.

В области экспоненциального спада теплопроводности нами был проведен тщательный графический анализ $\kappa_{\parallel}(T)$ GaS и GaSe, и с учетом данных [3] выявлено, что величина Θ/b в случае GaS примерно равна 110, а для GaSe — 65. Экспериментальные данные [3] свидетельствуют, что температура Дебая для GaS $\Theta_D \sim 260$ К, а для GaSe $\Theta_D \sim 190$ К. Поэтому можно утверждать, что величина постоянной b и в GaS и в GaSe превышает значение 2. Учитывая результаты расчетов авторов [7] о возможности процессов переброса с участием трех фононов, принадлежащих одной лишь "изгибной" ветви спектра акустических колебаний, согласно которым должно быть $b \sim 1$, можно констатировать малоэффективность подобных процессов в СК GaS и GaSe.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что все перечисленные особенности теплопроводности, отмеченные нами в GaS и GaSe, присущи и наиболее типичны представителям слоистых кристаллов — графиту [8] и нитриду бора [9].

Список литературы

- [1] М.А. Алджанов, М.Д. Наджафзаде, З.Ю. Сеидов. ФТТ **41**, 24 (1999).
- [2] G.D. Guseinov, A.I. Rasulov, E.M. Kerimova, M.Z. Ismailov. Phys. Lett. **22**, 562 (1966).
- [3] К.К. Мамедов, М.А. Алджанов, И.Г. Керимов, М.И. Мехтиев. ФТТ **19**, 1471 (1977); **20**, 42 (1978).
- [4] Г.Л. Беленький, Р.А. Сулейманов, Н.А. Абдуллаев, В.Я. Штейншрайбер. ФТТ **26**, 3560 (1984).
- [5] М.А. Алджанов, К.К. Мамедов, А.Б. Абдуллаев, С.А. Алиев. ФТТ **27**, 284 (1985).

- [6] Дж. Займан. Электроны и фононы. Ин. лит-ра, М. (1962). С. 273.
- [7] Э.Е. Андерс, И.В. Волчок, Б.Я. Сухаревский. ФТН **4**, 1202 (1978).
- [8] Б.М. Могилевский, А.Ф. Чудновский. Теплопроводность полупроводников. Наука, М. (1972). С. 374; С.А. Klein, M.G. Holland. Phys. Rev. **136**, A575 (1964).
- [9] A. Simpson, A.D. Stuckes. J. Phys. C: Solid Stat. Phys. **4**, 1710 (1971).