

УВЛЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ФОНОНАМИ В Ag_2S

З.С. ГАСАНОВ, С.М. АБДУЛЛАЕВ, Ф.Ф. АЛИЕВ, С.А. АЛИЕВ

Институт Физики АН Азербайджана

370143, г. Баку, пр. Г. Джавида, 33

Исследованы температурные зависимости коэффициента теплопроводности (α) и термоздс (α_0) в р- Ag_2S в интервале 4,2-300 К. Обнаружено, что при $T < 100$ К α резко растет ($\alpha \sim T^{-3}$) с уменьшением T , при 16-18 К проходит через максимум. Коэффициент теплопроводности проходит через максимум при ~30 К. Установлено, что резкое возрастание α_0 обусловлено эффектом увлечения дырок длинноволновыми фононами. Показано, что смещение максимумов α и α_0 температурная зависимость фоновой термоздс $\alpha_0 \sim T^{-3}$ находится в согласии с теорией Херинга.

Введение

Известно, что при наличии вдоль образца теплового потока носители заряда могут увлекаться длинноволновыми фононами, создавая дополнительную термоздс увлечения α_0 . Условием реализации эффекта является сближение волновых чисел электронов и фононов $k_{\text{эл}}, k_{\text{ф}}$, выполняемое при относительно низких температурах. В кристаллах с понижением T возрастает как теплопроводность α_0 , так и термоздс увлечения α_0 . Естественный предел возрастанию α_0 создаёт границы кристалла, ограничивающие длину свободного пробега фононов l_0 . После достижения l_0 максимальной величины, соответствующей минимальному размеру образца, при дальнейшем понижении температуры α_0 резко падает, вследствие уменьшения теплоемкости фонового газа. Аналогично ведет себя и α_0 , уменьшаясь после максимума вследствие возрастания времени релаксации носителей заряда, взаимодействующих с длинноволновыми фононами. Поскольку в теплопроводности кристалла участвует весь фоновый спектр, для которого эффективная длина свободного пробега l_0 меньше, чем у фононов, участвующих в процессе увлечения $l_0 < l_0$, то положение максимума α_0 по сравнению с максимумом α_0 должно быть сдвинуто в сторону низких температур. Ввиду того, что положение максимумов зависит непосредственно от размеров исследуемого образца, то для экспериментального выяснения этого вопроса измерения α_0 и α_0 необходимо проводить на одном и том же образце. Дальному вопросу посвящено несколько работ [1-6]. Обнаружено, что в большинстве случаев, вопреки сказанному, максимумы α_0 и α_0 совпадают. Данная работа также посвящена совместному исследованию фоновой теплопроводности и термоздс (в р- Ag_2S). Интерес к Ag_2S вызван тем, что в нем концентрация дырок мала, а их эффективная масса вдвое больше, чем в кристаллах р- InSb и р- GaSb . Поэтому в р- Ag_2S можно было ожидать весьма сильного увлечения дырок фононами.

Эксперимент.

Измерения коэффициентов теплопроводности и термоздс проводились на установке, описанной в [7]. Синтез и выращивание монокристаллов Ag_2S производилось

медленным охлаждением одного торца ампулы. Образцы Ag_2S были получены в стехиометрическом соотношении, с избытком S и с избытком Ag (до 0,2 ат.-%). Избыток серы и серебра приводит к незначительному изменению электрических свойств Ag_2S . На рис. представлены температурные зависимости α и α_0 для двух образцов р- Ag_2S . Как видно, в данном случае в Ag_2S , начиная с 100 К с уменьшением T , термоздс сильно увеличивается, проходя через максимум при ~16-18 К. Коэффициент теплопроводности значительно ниже, чем в кристаллах A³B⁵, температурный ход α в области 100-300 К не резкий, максимум α расположен при более высокой температуре (~30 К).

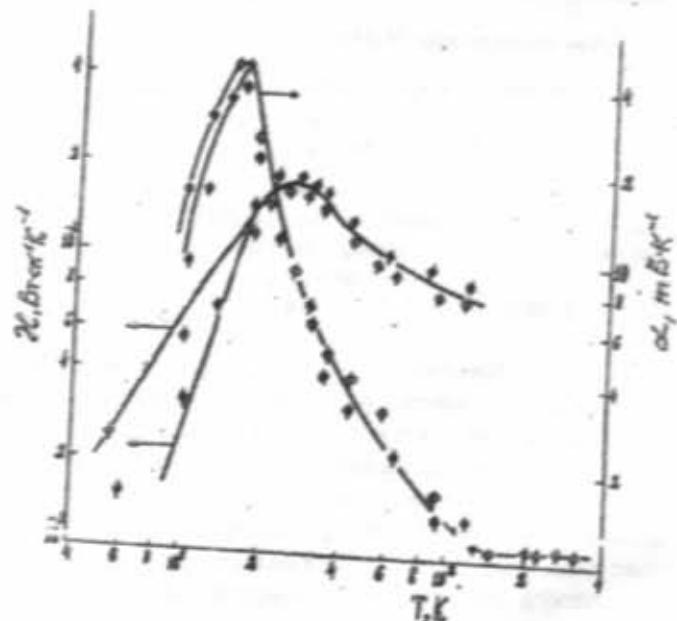


Рис. Температурные зависимости теплопроводности (α) и термоздс (α_0) в Ag_2S - с избытком 0,1 ат.-%S и ϕ - 0,1 ат.-%Ag.

Обсуждение результатов.

Из кривых $\alpha(T)$ следует, что в кристаллах р- Ag_2S , действительно, имеет место сильное увлечение дырок фононами. Начиная с $T=100$ К, α_0 намного превышает диффузионную. Поэтому данные α при $T < 100$ К можно принять за счет эффекта увлечения α_0 . Поскольку электропроводность σ в Ag_2S мала, то кривую $\alpha(T)$ также

можно принять за фононную долю α_0 . Из этих данных следует, что в p-Ag₂S максимумы α_0 расположены при значительно низких T (~16-18 K), нежели максимумы α_e (~30 K), т.е. в данном случае реализуется предсказание теории. Данные α_0 следует интерпретировать в рамках теории Каллауэя [8], которая позволяет учесть все возможные механизмы рассеяния.

Однако, в кристаллах Ag₂S отсутствуют некоторые данные для количественного расчета. Несмотря на это, даже качественное сопоставление данных $\alpha_0(T)$ с этой теорией позволяет заключить, что в Ag₂S имеется достаточно большое количество структурных дефектов, приводящих к сильному интенсивному рассеянию фононов. По этой же причине занесено значение ω и степень k в зависимости $\omega \sim T^{-k}$ (в области до максимума 100-30 K). По аналогии с другими халькогенидами серебра [10,11] можно полагать, что и в Ag₂S имеет место влияние нормальных процессов на ω . Здесь примечательным является то, что в образце с избытком Ag, после максимума с понижением T , ω убывает почти по закону $\omega \sim T^{-3}$. Хотя это следует из общей теории теплопроводности, однако, на эксперименте редко реализуется.

Анализ температурной зависимости $\alpha_0(T)$ следует проводить по теории Херринга [12], согласно которой величина α_0 определяется формулой:

$$\alpha_0 = \frac{k_0 m^* V_0 \tau_0}{e 3k_0 T \tau_s}$$

где m^* - эффективная масса носителей заряда, V_0 - групповая скорость длинноволновых фононов, взаимодействующих с носителями заряда (скорость звука), τ_s - время

релаксации носителей заряда, обусловленное только этим процессом взаимодействия, τ_0 - полное время релаксации длинноволновых фононов, определяемое их взаимодействием со всем фононным спектром кристалла, с носителями заряда, дефектами и границами кристалла.

Из формулы следует, что наиболее благоприятные условия для наблюдения эффекта увлечения создаются в кристаллах с большой τ_0 (т.е. высокая теплопроводность), конечно при не слишком малой эффективной массе носителей заряда. Температурный ход α_0 определяется температурным ходом τ_0/τ_s . Так как зависимость τ_s обуславливается симметрией кристалла [12], общая зависимость $\alpha_0(T)$ в области возрастания α_0 не имеет универсального вида. Для определения $\alpha_0(T)$ нужно принять, что $\tau_0 \sim T^{-3/2} U$ ($U = e\tau_s/m^*$) как это должно быть при рассеянии носителей заряда на акустических колебаниях решетки. Остальные величины, входящие в формулу слабо зависят от T . Согласно этим рассуждениям для кубических кристаллов α_0 должна зависеть от T как $\alpha_0 \sim T^{-3/5}$, а для кристаллов тригональной системы $\alpha_0 \sim T^{-3}$. С понижением T рассеяние носителей заряда на ионизированных примесях усиливается, что приводит к ослаблению эффекта увлечения и это сказывается на $\alpha_0(T)$. Когда длина свободного пробега фононов достигает минимальных размеров образца ($\tau_0 = \text{const}$), температурный ход $\alpha_0(T)$ начинает определяться изменением величины $1/T\tau_s$ от температуры и при $\tau_0 \sim T^{-3/2}$; $\alpha_0 \sim T^{2/5}$.

Таким образом, полученные данные по $\alpha_0(T)$ как до максимума, так и после него находятся в качественном согласии с теорией Херринга.

-
- | | |
|--|--|
| [1] И.Н. Тимченко, С.С. Шалым. ФТТ, 4, 1962. | [8] J. Callaway. Phys. Rev., v. 113, 4, p. 1046, (1959). |
| [2] С.А. Алиев, А.Я. Нашельский, С.С. Шалым. ФТТ, в. 7, № 5, 1965, с. 1590. | [9] J. Callaway, H.C. Balyez. Phys. Rev., 120, 4, p. 1149 (1960). |
| [3] С.А. Алиев, С.С. Шалым. ФТТ, в. 7, № 12, 1965, с. 3690. | [10] С.А. Алиев, Ф.Ф. Алиев, З.С. Гасанов. Изв. АН СССР, сер. неорг. материалы, 26, с. 1767, 1990. |
| [4] С.А. Алиев, Л.Л. Коренблит, С.С. Шалым. ФТТ, в. 8, № 3, 1966, с. 705. | [11] С.А. Алиев, Ф.Ф. Алиев, С.Г. Абдинова, З.С. Гасанов, Д.М. Рагимова. Изв. ВУЗов, сер. физика, № 6, 1990, с. 41-45. |
| [5] С.А. Алиев. ФТП, в. 7, № 1, 1973, с. 168. | [12] C. Herring. Phys. Rev. 95, 954 (1954); Holdleiteza Phosphoze 5, 184 (1958). |
| [6] С.А. Алиев. Некоторые вопросы экспериментальной и теоретической физики, Изд. "Элм", Баку, 1977. | |
| [7] С.А. Алиев, Д.Г. Араслы, З.Ф. Агаев, Э.И. Зулфигаров, Ш.С. Исмаилов. Изв. АН Азерб. ССР, сер. ф.-м. и тех. Наук, № 6, 1982, с. 67. | |

Z.S. Həsənov, S.M. Abdullayev, F.F. Əliyev, S.A. Əliyev

Ag₂S BİRLƏŞMƏSİNDE ELEKTRONLARIN FONONLARLA CƏLB OLUNMASI

p-Ag₂S kristalında 4,2+300 K temperatur intervalında istilikkeçimiz (ω) ve termoe.h.q.(α) əmsallarının temperatur asılılığı tədqiq edilmişdir. Müşahidə olunmuşdur ki, $T < 100$ K-de ω ve α əmsalları maksimumdan keçirərlər. Termoe.h.q.-nın maksimumdan keçməsi deşiklərin uzundalıqla fononlar tərəfindən cəlb olunması effekti ilə əlaqədar olduğu tə'yin olunmuşdur. Hər iki əmsalın maksimumlarının sürüşməsi Herring nəzəriyyəsi ilə izah olunmuşdur.

ELECTRONS PASSIONS BY PHONONS IN Ag₂S

The temperature dependences of thermal conductivity (α) and thermal power (α') of p-Ag₂S have been investigated in 4.2-300 K temperature interval. It is observed, that at $T < 100$ K α abruptly increases ($\alpha \sim T^{-3}$) with decreasing of T , at -16 - 18 K pass through maximum. The thermal conductivity coefficient pass through one at ~ 30 K. It is established, that the abruptly increasing of α is caused by drag effect of holes by long wave phonons. It is shown, that the displacement of maximums α and α' and the temperature dependence of phonous thermal power ($\alpha_0 \sim T^{-3}$) are in agree with Herring's theory.

Дата поступления: 28.10.96

Редактор: М.И. Алиев