

СПЕКТРЫ ИК-ФОТОПРОВОДИМОСТИ ПОЛЯРОНОВ В КРИСТАЛЛАХ КСІ И КВг

Е.В.Коровкин, Т.А.Лебедкина

Институт физики твердого тела Российской академии наук,
142432, Черноголовка, Московская обл., Россия
(Поступило в Редакцию 15 июля 1994 г.
В окончательной редакции 10 мая 1995 г.)

С использованием ранее разработанного метода [1] в работе измерены спектральные характеристики фотопроводимости (ФП) поляронных состояний в кристаллах КСІ и КВг при температуре 9 К. Исследовались номинально чистые (содержание примесей меньше $10^{-3}\%$) образцы, облученные гамма-излучением до дозы 10^7 рад. Для уменьшения трудоемкости и повышения отношения сигнал-шум установка была автоматизирована и компьютеризована, что позволило выявить фоновую структуру спектров.

Спектр ФП поляронов в КСІ представлен на рис. 1. Периодичность наблюдаемых осцилляций позволила определить с точностью не хуже 1% величину энергии LO -фонона (216 см^{-3}). Из спектров оптического поглощения (ОП) этих состояний [2] для этой величины получен результат 200 см^{-1} . Аналогичная картина получена и для поляронных состояний в NaCl [3].

Мы полагаем, что возможная причина такого расхождения заключается в следующем. Известно, что процесс фотоионизации, т.е. выброс электрона в зону проводимости, сопровождается излучением и частичным поглощением фононов, необходимых для выполнения закона сохранения импульса. Выброс электрона с последующим его захватом на только что покинутую яму, естественно, не требует дополнительного импульса и участия фононов, но такие процессы будут вносить вклад только в ОП, сопровождающее фотоионизацию, а не в ФП, так как в фототок вносят вклад только те электроны, результирующий пробег которых от выброса до захвата не равен нулю. Поэтому в ФП дают вклад электроны, выброс которых сопровождается поглощением или испусканием внешних по отношению к дефекту (полярону) фононов, которые могут принести или унести дополнительный импульс, т.е. обычных решеточных фононов. И следовательно, можно ожидать, что из данных по ФП мы получим величину этих обычных, решеточных, фононов.

В случае же ОП энергия поглощенного фотона используется для возбуждения собственных колебаний поляронной «капли» [4], и, следовательно, в этих измерениях мы получаем энергию LO -фонона, принадлежащего этой поляронной «капле». Согласно имеющимся теоретическим результатам, величина такого LO -фонона получается перенормированием величины обычного LO -фонона. При этом она становится несколько меньше, наблюдается «смягчение» фононных мод,

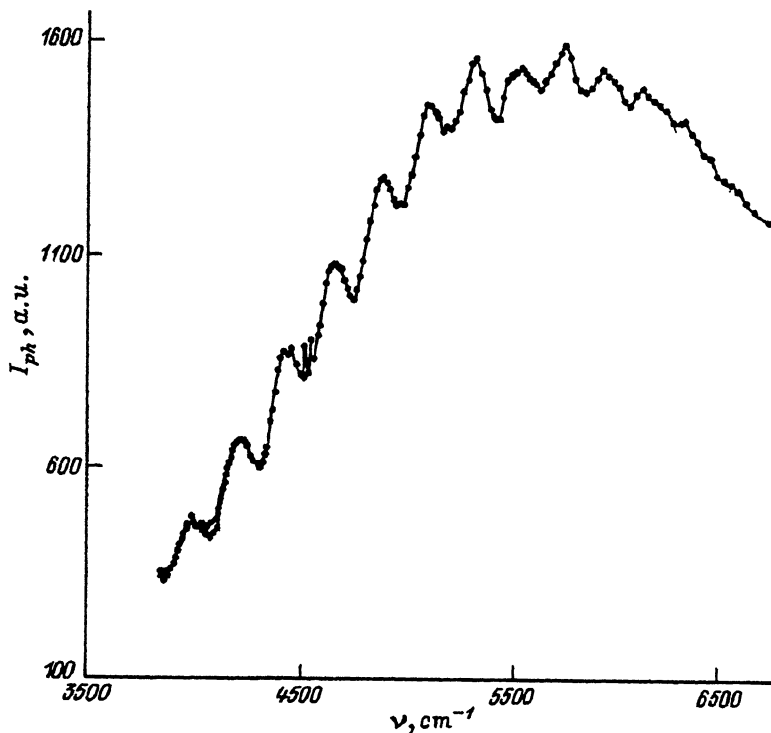


Рис. 1. Спектр ИК-фотопроводимости полярнов в KCl.

которое может достигать 30–40% [5,6]. Таким образом, если наше предположение верно, то из сравнения результатов ОП и ФП можно получить величину этого «смягчения», что дает в нашем случае 11% для поляронных состояний в NaCl и 7% в KCl.

Следует также отметить, что «уменьшение» величины LO -фона в спектрах поглощения поляронных и предположительно поляронных состояний наблюдалось и ранее (ZnO [7], MgO и BeO [8], AgBr [9]). В [10] предпринималась попытка дать объяснение этому. С учетом ряда предположений о свойствах поляронного состояния авторам удалось в рамках континуального приближения получить периодическую фоновую структуру поглощения, а с учетом существования распределения фононных частот и дисперсии фононов получить 5% «уменьшение» величины LO -фона, в то время как объясняемые экспериментальные данные давали 10%.

В используемом нами методе измерения ФП в каждой точке спектра начинается с полного опустошения созданных при предыдущем измерении ловушек. Это достигается импульсом ИК-света длительностью 3–5 с, для чего использовался свет вольфрамовой лампы с соответствующим светофильтром. И если в случае измерений на KCl и NaCl это был светофильтр ИКС-1, то для измерений на KBr этого оказалось недостаточно. Было установлено, что ИК-свет в этом случае опустошает не только исследуемые ловушки, но и имеющиеся в этом кристалле какие-то другие электронные ловушки, спектр которых лежит от спектра исследуемых нами состояний в сторону более коротких волн, что приводит к новому частичному заполнению исследуемых ловушек.

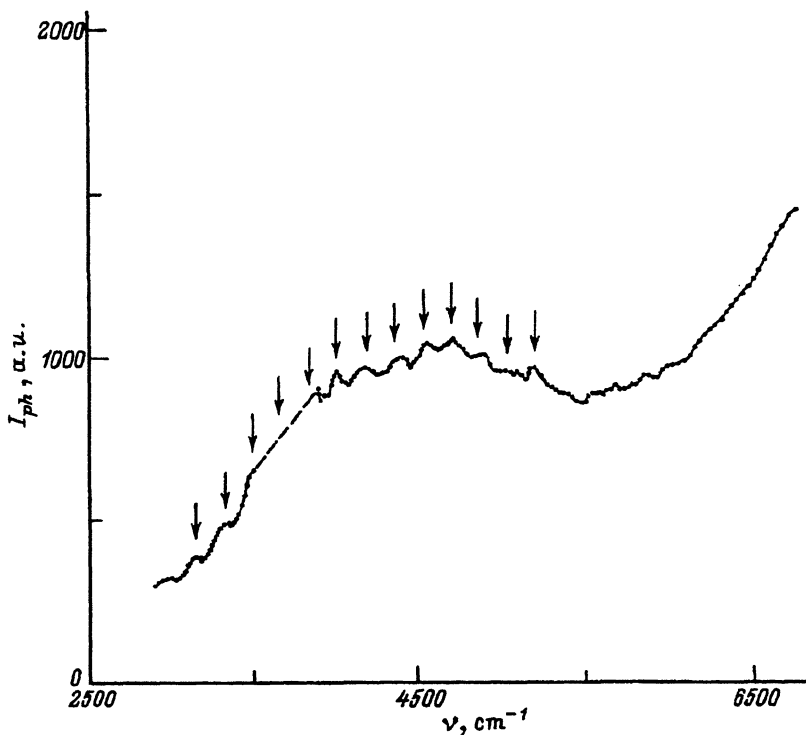


Рис. 2. Спектр ИК-фотопроводимости поляронов в КВг.

И только использование дополнительно с ИКС-1 германиевого светофильтра, не пропускающего свет короче $1.8 \mu\text{m}$, позволило решить эту задачу.

Спектр ФП поляронов в КВг получен после математической обработки (накопление и частичное интегрирование) начальных данных и представлен на рис. 2. Как видно из этого рисунка, и в этом случае удалось наблюдать периодическую фононную структуру и определить величину LO -фонона (170 cm^{-1}) (рис. 3). Стрелками на рис. 2 обозначено положение максимумов, соответствующих подгоночной прямой (рис. 3). Максимум поляронной ФП лежит при 4700 cm^{-1} . Наблюдаемый подъем в области коротких волн является, по-видимому, следствием тех самых электронных состояний (см. выше), которые мешали исчезновению поляронных состояний кристалла.

Сравнивая максимумы спектров ФП и ОП [2] в исследованных кристаллах, можно отметить следующее.

Если в NaCl [3] положение этих максимумов хорошо следует зависимостям $\lambda(\text{ОП}) = 2H$ и $\lambda(\text{ФП}) = 3H$, где H — энергия активации процесса термического опустошения ловушек, т.е. $\lambda(\text{ФП})/\lambda(\text{ОП}) = 1.5$, то для KCl и KBr это соотношение несколько выше: 2.0 и 1.9 соответственно.

Спектральное разрешение не оставалось постоянным по спектру и для максимума спектральной характеристики составляло около 100 cm^{-1} для KCl и около 60 cm^{-1} для KBr , что не намного меньше периода фононных осцилляций. Улучшение разрешения в два раза вблизи

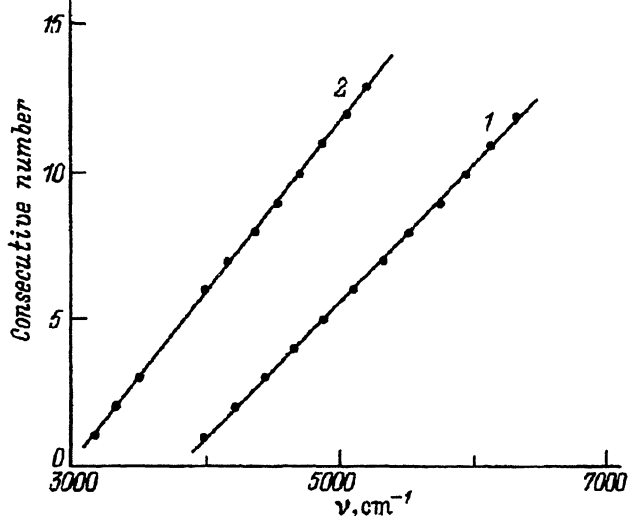


Рис. 3. Периодичность фоновой структуры в спектрах фотопроводимости поляронов.
1 — KCl, 2 — KBr.

максимума спектра в KCl приводило к увеличению в полтора раза амплитуды осцилляций. Таким образом, полученные спектры позволяют определить положение и форму всего пика ФП, а также наличие и положение отдельных пиков фоновой структуры, но не их амплитуду и форму.

Невозможность улучшить спектральное разрешение связана с малой величиной сигнала ФП от поляронных состояний. Так, например, удавалось получить на порядок больший сигнал ФП от F -центров даже при значительно меньшей интенсивности возбуждающего их света.

Ясно, что с фотоионизацией поляронных состояний, вызывающей исследуемую ИК-фотопроводимость, должно быть связано и определенное ОП. Однако дополнительного пика поглощения, соответствующего максимуму ФП, на спектре ОП не было обнаружено. Это означает, что канал поглощения, связанный с процессом фотоионизации, мал по сравнению с каналом поглощения, связанным с процессом возбуждения собственных колебаний поляронной «капли», величина поглощения в котором легко достигала (NaCl, [3]) величины 1 cm^{-1} .

Список литературы

- [1] Коровкин Е.В., Лебедкина Т.А. ФТТ **29**, 9, 2807 (1987).
- [2] Коровкин Е.В., Лебедкина Т.А. ФТТ **35**, 3, 642 (1993).
- [3] Коровкин Е.В., Лебедкина Т.А. ФТТ **33**, 10, 2822 (1991).
- [4] Loos J., Straka J. Czech. J. Phys. **B39**, 316 (1989).
- [5] Alexandrov A.S., Capellman H. Phys. Rev. **B43**, 2042 (1991).
- [6] Alexandrov A.S., Kabanov V.V., Ray D.K. Phys. Rev. **B29**, 9915 (1994).
- [7] Liang W.Y., Yoffe A.D. Phys. Rev. Lett. **20**, 59 (1968).
- [8] Walker W.C., Roesslet D.M., Loh E. Phys. Rev. Lett. **20**, 847 (1968).
- [9] Brandt R.C., Brown F.C. In: Localized Excitations in Solids / Ed. R.F.Wallis. N.Y. (1968).
- [10] Devreese J., Evrard R., Kartheuser E. Solid State Commun. **7**, 767 (1969).