

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ ФОНОННЫХ ПОВТОРЕНИЙ
ЭКСИТОНОВ В СУЛЬФИДЕ И СЕЛЕНИДЕ КАДМИЯ

Г. М. МОВСЕСЯН, В. Е. МАЩЕНКО, П. С. КИРЕЕВ

Показано, что в спектрах электроотражения и электропоглощения наблюдаются экстремумы или особенности на кривых, которые соответствуют фононным повторениям экситонов A и B при виртуальном поглощении одного и двух фононов. Заключения на основе дифференциальной методики подтверждаются методами абсорбционной и рекомбинационно-излучательной спектроскопии.

Дифференциальная методика исследования состояний в твердых телах находит все более широкое применение благодаря высокой чувствительности. Однако интерпретация дифференциальных спектров далеко не столь проста, как это представлялось некоторое время назад [1]. Действительно, как показано в работе [2] на примере германия, спектры электроотражения (ЭО) и электропоглощения (ЭП) соответствуют третьей, а не первой производной диэлектрической проницаемости по энергии. Это существенно осложняет интерпретацию спектров ЭО и ЭП и требует подтверждения выводов на основе независимых методов исследования.

В данной работе изучены спектры ЭО и ЭП тонких пластинок сульфида кадмия, выращенных по методу Фрерикса (1—30 мкм). Установка и методика исследования кратко описаны в [3]. Для контроля использовался метод спектров рекомбинационного излучения, которые снимались в широком температурном интервале при возбуждении образца электронным пучком малой интенсивности [4]. Спектры ЭО и ЭП снимались при двух температурах 77 и 300°K.

На рис. 1 в качестве примера приведены спектры ЭО и ЭП образца CdS при использовании поляризованного света. Общий вид спектров совпадает, в основном, с описанным в [5, 6], однако наблюдаются и отличия. Так, например, со стороны меньших энергий от экситона A , $n=1$, при $E=2,515$ эв обнаруживается экстремум ЭО. Он шире линии экситона A , асимметричен. Его положение соответствует энергии $A-LO$, где LO — энергия продольного оптического фонона (положение экстремума указано для 77°K). В большинстве случаев он имеет одинаковую интенсивность при двух поляризациях света. Интенсивность экстремума $A-LO$ различна для различных образцов, в некоторых образцах он проявляется в виде перегиба на кривой ЭО, как это и видно из рис. 1а. Стрелками указано положение экситонов A , B и C с учетом результатов работ [7—9], полученных методами спектров поглощения, отражения и рекомбинационного излучения. Границы серий определены с учетом энергии связи экситонов. В спектре ЭП наблюдается минимум, совпадающий с экстремумом $A-LO$ в спектре ЭО. На кривой ЭП наблюдается хорошо выраженный экстре-

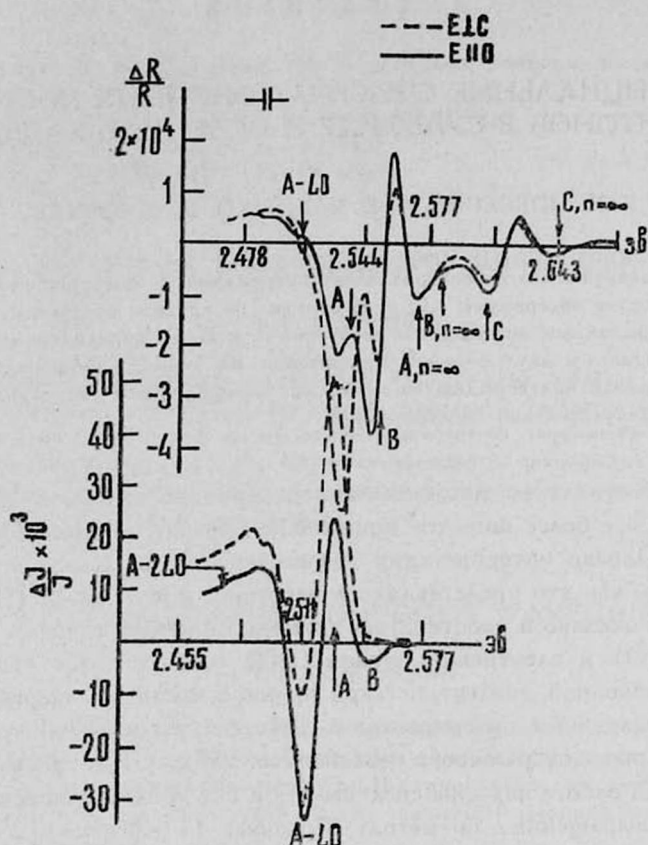


Рис. 1а. Спектры электроотражения и электропоглощения тонкой пластинки (~ 1 мкм) сульфида кадмия при 77°K ; напряженность поля -10^3 в/см, — — — $E \perp C$, — $E \parallel C$.

мум, соответствующий по энергии $A-2LO$. При этой же энергии находится экстремум или изгиб на кривой ЭО. Указанные особенности спектров электроотражения и электропоглощения более отчетливо проявляются при комнатной температуре, как это видно из рис. 16. Повышение температуры приводит, естественно, к смещению спектров и расширению всех экстремумов.

На рис. 2 приведена температурная зависимость линий излучения экситона A и двух фоновых повторений экситонов A и B . Если сравнить положение особенностей на спектрах ЭО и ЭП с положением линий рекомбинационного излучения, то мы увидим, что они для каждой температуры находятся при одних и тех же значениях энергии. Это дает нам основание считать, что особенности на дифференциальных спектрах обусловлены экситон-фононным взаимодействием. Другими словами, особенности на дифференциальных спектрах представляют собой одно- и двухфононные повторения экситонных пиков электроотражения и электропоглощения. Эта интерпретация позволяет качественно объяснить и другие факты, отраженные на рис. 1 и 2. Например, наличие реабсорбции в линии A при излучении

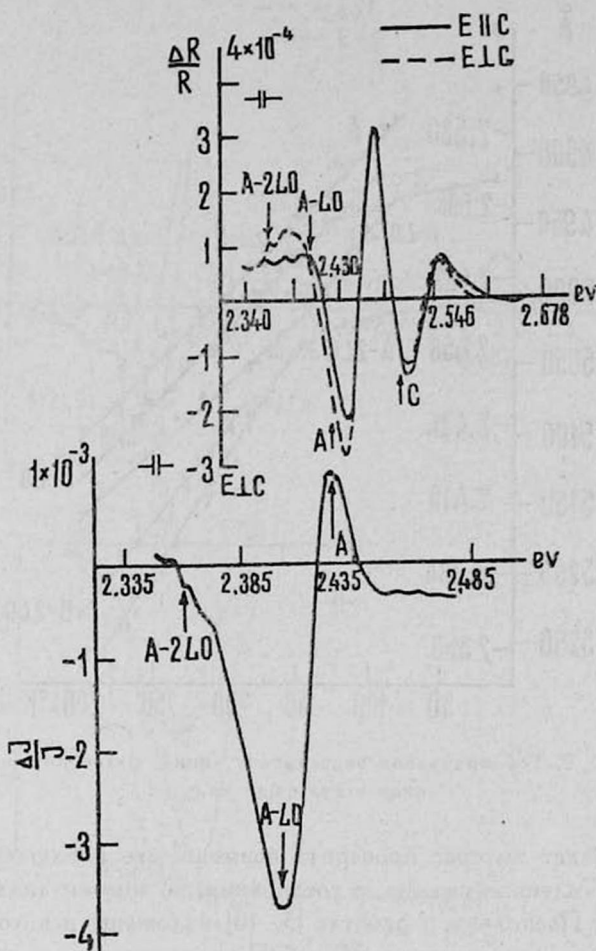


Рис. 16. Спектры электроотражения и электропоглощения тонкой пластинки (~ 1 мкм) сульфида кадмия при 300°K ; напряженность поля $- 10^3$ в/см, — — — $E \perp C$, — $E \parallel C$.

приводит к различию интервала энергии между A и $A-LO$ и $A-LO$ и $A-2LO$ соответственно. Отсутствие заметной поляризационной зависимости экстремумов $A-LO$ и $A-2LO$ при хорошо выраженной поляризационной зависимости самих линий A и B связано с участием в процессах фононов, приводящих к снятию дихроизма. При рекомбинационном излучении фононные повторения обусловлены генерацией фононов, при наблюдении ЭО и ЭП фононные повторения связаны с виртуальным поглощением фононов, поэтому повышение температуры способствует лучшему проявлению фононных повторений $A-LO$ и $A-2LO$. Таким образом, дифференциальным методом обнаружены одно- и двухфононные повторения экситонов A и B в сульфиде кадмия как в отражении, так и в поглощении, что коррелирует с данными, полученными методом рекомбинационного излучения.

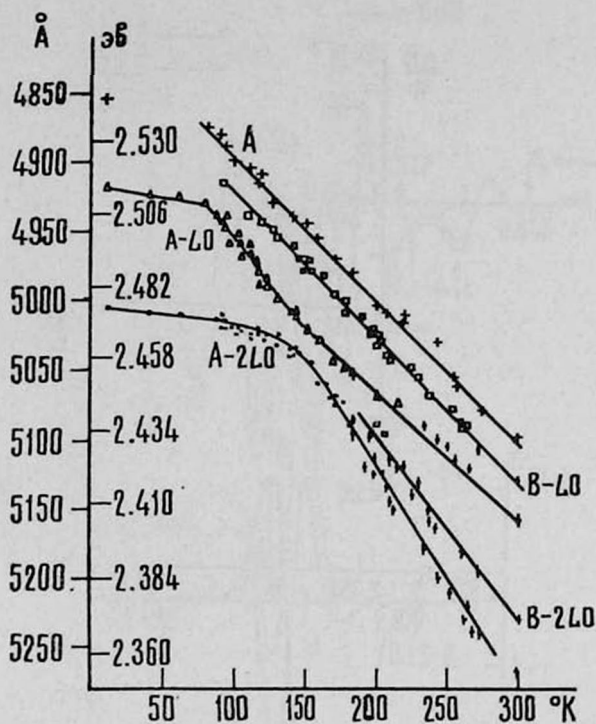


Рис. 2. Температурная зависимость линий излучения экситонов в сульфиде кадмия.

Представляет интерес проверить возможность наблюдения фононных повторений в селениде кадмия, в соединении, во многом аналогичном сульфиду кадмия. Поскольку в работах [3, 10] изложены некоторые результаты по исследованию спектров ЭО и ЭП селенида кадмия, то мы ограничимся кратким сравнением спектров сульфида и селенида кадмия. На рис. 3 приведены спектры ЭО и ЭП тонкой пластины селенида кадмия при 300°K. Как и в случае сульфида кадмия, на рисунке стрелками указано положение экситонов *A*, *B* и *C* и их возможные фононные повторения как с виртуальным поглощением, так и испусканием фононов. Из рис. 3 видно, что фононные повторения экситонов *A* и *B* с поглощением одного и двух фононов отчетливо наблюдаются в виде экстремумов или перегибов на экспериментальных кривых. Таким образом, и в случае селенида кадмия дифференциальным методом удастся отчетливо наблюдать фононные повторения экситонных линий. Более того, на рис. 3 видны особенности, совпадающие с фононными повторениями экситонов при генерации фононов.

В работах [11—14] методами абсорбционной спектроскопии было показано, что длинноволновый край фундаментальной полосы поглощения в соединениях типа $A^{II}B^{VI}$ формируется при участии нескольких фононов. Полученные в данной работе результаты находятся в хорошем согласии с выводами, изложенными в работах [11—14].

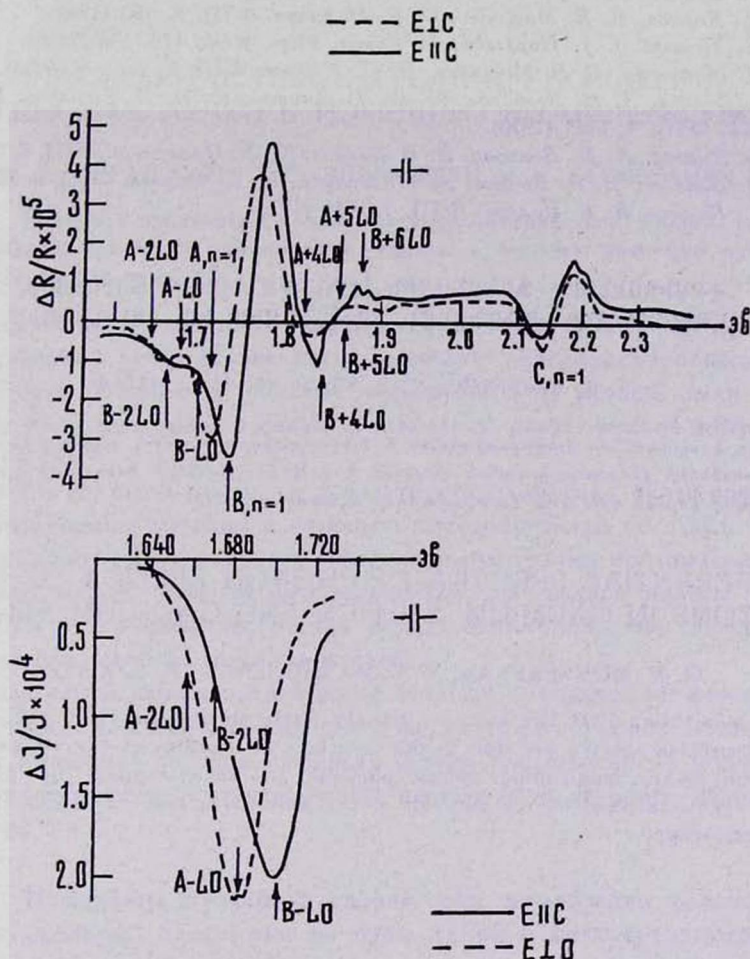


Рис. 3. Спектры электроотражения и электропоглождения тонкой пластинки селенида кадмия при 300°K; напряженность поля — $1,2 \cdot 10^4$ в/см, — — — $E \perp C$, — $E \parallel C$.

Приносим глубокую благодарность Б. М. Булаху, А. Г. Гусаченко и А. А. Картушину за предоставленные нам кристаллы.

Московский институт
стали и сплавов

Поступила 15.VIII.1973

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Кардона. Модуляционная спектроскопия, Изд. Мир, М., 1972.
2. D. E. Aspnes. Phys. Rev. Lett., 28, 168 (1972).
3. Г. М. Мовсесян, В. Е. Мащенко, П. С. Киреев. ФТП, 8, 800 (1974).
4. В. Е. Мащенко. Кандидатская диссертация, Москва, 1967.
5. H. Lange, E. Gutsche. Phys. Stat. Sol., 32, 203 (1969).
6. В. А. Тягай, В. Н. Бондаренко, О. В. Снитко. ФТТ, 12, 1615 (1970).

7. Е. Ф. Гросс и др. Труды IX МКФП, Изд. Наука, М., 1968, стр. 419.
8. М. А. Канев, В. Е. Машченко, О. Р. Ниязова. ФТП, 3, 760 (1969).
9. D. G. Thomas, J. J. Hopfield, M. Power. Phys. Rev., 119, 570 (1960).
10. Г. М. Мовсесян, В. Е. Машченко, П. С. Киреев. ФТП, 8, вып. 6 (1974).
11. В. В. Волков, В. М. Безбородова, В. П. Дмитриев, А. В. Ванюков, П. С. Киреев. ФТП, 4, 1443 (1970).
12. П. С. Киреев, А. В. Волкова, В. В. Волков, Ю. В. Платонов. ФТП, 6, 135 (1972).
13. А. В. Волкова, В. В. Волков, А. Н. Мецгер, П. С. Киреев. ФТП, 6, 2085 (1972).
14. П. С. Киреев, В. В. Волков. ФТП, 7, 1449 (1973).

ԷԲՍԻՏՈՆՆԵՐԻ ՖՈՆՈՆԱՅԻՆ ԿՐԿՆՈՒՄՆԵՐԻ ԴԻՖԵՐԵՆՑԻԱԼ
ՍՊԵԿՏՐՆԵՐԸ ԿԱԴՄԻՍԻՍԻ ՍՈՒԼՖԻԴՈՒՄ ԵՎ ՍԵԼԵՆԻԴՈՒՄ

Գ. Մ. ՄՈՎՍԵՍՅԱՆ, Վ. Ե. ՄԱՇՉԵՆԿՈ, Պ. Ս. ԿԻՐԵԵՎ

Ցույց է տրված, որ էլեկտրական և էլեկտրաօդարձման սպեկտրներում մեկ և երկու ֆոնոնների վիրտուալ կանման ղեկավարում A և B էքսիտոնների ֆոնոնային կրկնումներին վերաբերող կորերի վրա կան էքստրեմումներ և հատուկ կետեր:

DIFFERENTIAL SPECTRA OF PHONON REPLICAS OF FREE EXCITONS IN CADMIUM SULFIDE AND CADMIUM SELENIDE

G. M. MOVSESSYAN, V. E. MASHCHENKO, P. S. KIREEV

It was shown that the extrema and the particularities in electoreflection and electroabsorption spectra are due to the creation of excitons at the virtual absorption of one or two longitudinal optical phonons. The data obtained by differential methods are confirmed by the methods of the absorption and radiation recombination spectroscopy.