

Мовсисян Г.М.

ОБ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СПЕКТРОВ ОТРАЖЕНИЯ И ПОГЛОЩЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ СУЛЬФИДА И СЕЛЕНИДА КАДМИЯ

Интерпретация дифференциальных спектров связана с определенными трудностями в силу специфики самой методики. Показано, что для точного определения положений энергий резонансных экситонов только по дифференциальным спектрам, необходимо проводить большое количество измерений, которые позволяют обнаруживать стабильно разрешающие по энергии особенности данной экситонной полосы. Проведено сопоставление контуров резонансных экситонов с формой тех же линий, вычисленных на основе существующей теории и показано удовлетворительное совпадение теории с экспериментом.

Интерпретация дифференциальных спектров принципиально сопряжена с определенными трудностями, связанными со спецификой дифференциальной методики. Действительно, в отличие от традиционных интегральных методик, в дифференциальных спектрах отражения и поглощения каждой экситонной полосе соответствует по одному максимуму, минимуму и нулю, соответствующие различным значениям энергий. Именно это обстоятельство и приводит к затруднению точного (в пределах точности эксперимента) определения энергий резонансных экситонов и других особенностей, например, энергий линий фононных повторений.

Проведенные нами многочисленные измерения дифференциальных спектров отражения и поглощения позволили установить некоторые закономерности, позволяющие по ним сравнительно легко установить энергетические положения резонансных экситонов $A, B, C_{n=1}$. Сущность этих закономерностей заключается в том, что при переходе от спектра к спектру наблюдалось довольно стабильное разрешение особенностей (максимумов, минимумов и нулей), приписанных нами основным экситонным состояниям по двум причинам.

Во первых, если кристаллы совершенны, то следует ожидать хорошую воспроизводимость по энергиям резонансных экситонов от образца к образцу, независимо от методики эксперимента, во вторых, разрешение стабильных особенностей в пределах энергии соответствующих экситонных полос в

дифференциальных спектрах при переходе от образца к образцу как правило свидетельствует о стабильном разрешении основных экситонных состояний. Отметим, что измеренные нами кристаллы сульфида и селенида кадмия были весьма совершенны, так как они были выращены синтезом из газовой фазы из пересублимированных компонентов. Далее представлял интерес сравнить форму экспериментальных линий резонансных экситонов с теоретически вычисленными.

Согласно существующей теории электрооптических эффектов связь между изменениями коэффициента отражения и диэлектрической проницаемости дается соотношением [1],

$$\Delta R/R = \alpha(\epsilon_1, \epsilon_2) \Delta \epsilon_1 + \beta(\epsilon_1, \epsilon_2) \Delta \epsilon_2$$

где α и β - долевые коэффициенты, определяющие вклад действительной $\Delta \epsilon_1$ и мнимой $\Delta \epsilon_2$ частей диэлектрической проницаемости в спектры электроотражения (ЭО). Из этого соотношения видно, что и $\Delta \epsilon_1$ и $\Delta \epsilon_2$ вносят вклад в дифференциальные спектры. Однако, согласно [2-4] основной вклад в формировании спектров ЭО вносится $\Delta \epsilon_1$. С этой целью, используя дифференциальные соотношения Крамерса-Кронига, мы проводили вычисления для определения вкладов $\Delta \epsilon_1$ и $\Delta \epsilon_2$ в спектры дифференциального отражения. Значения $\Delta \epsilon_1$ и $\Delta \epsilon_2$ определялись из следующих соотношений [1].

$$\begin{aligned} \Delta \epsilon_1 &= 1/2n/n_0(n^2 - 3\chi^2 + n_0)\Delta R/R - 1/2\chi/n_0(3n^2 - \chi^2 + n_0)\Delta\theta \\ \Delta \epsilon_2 &= 1/2\chi/n_0(3n^2 - \chi^2 + n_0)\Delta R/R + 1/2n/n_0(n^2 - 3\chi^2 + n_0)\Delta\theta \end{aligned}$$

где n_0 , n - показатели преломления прозрачного диэлектрика ($n_0 = 1,7$ [5]) и исследуемого материала ($n = 3$) [6]) соответственно; χ - показатель поглощения [7], $\Delta\theta$ - дифференциал фазы отраженного от кристалла света, определяемого соотношением [8];

$$\Delta\theta = -E_0/\pi \int_0^\infty \Delta R/R dE/E - E_0$$

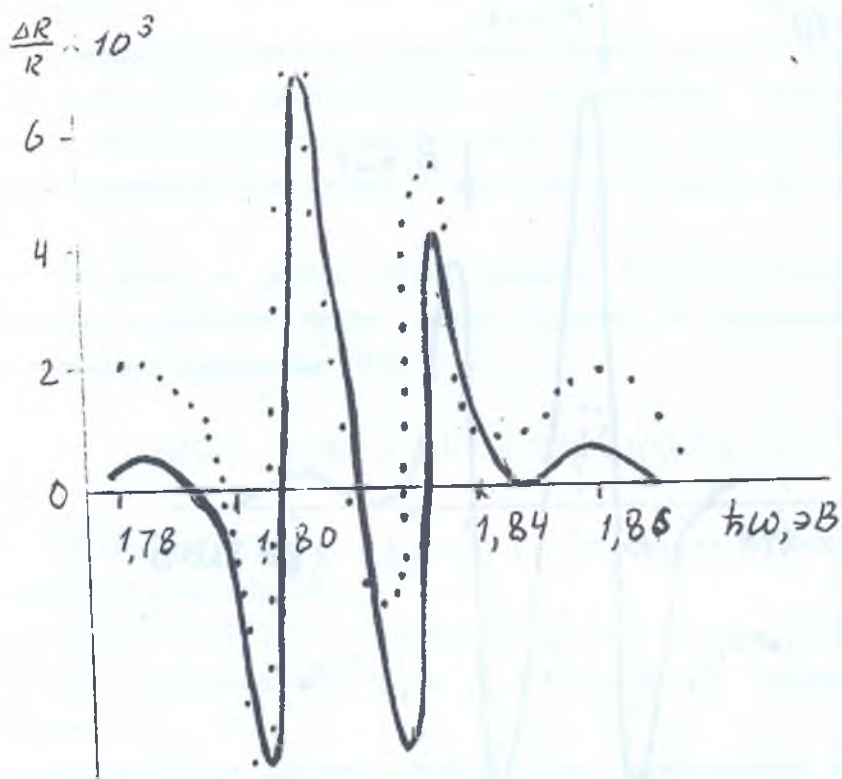


Рис.1 Сравнение экспериментального спектра (сплошной) с расчетной (точки) для $\Delta\epsilon_1$ тонкой пластинки селени да кадмия при 77К.

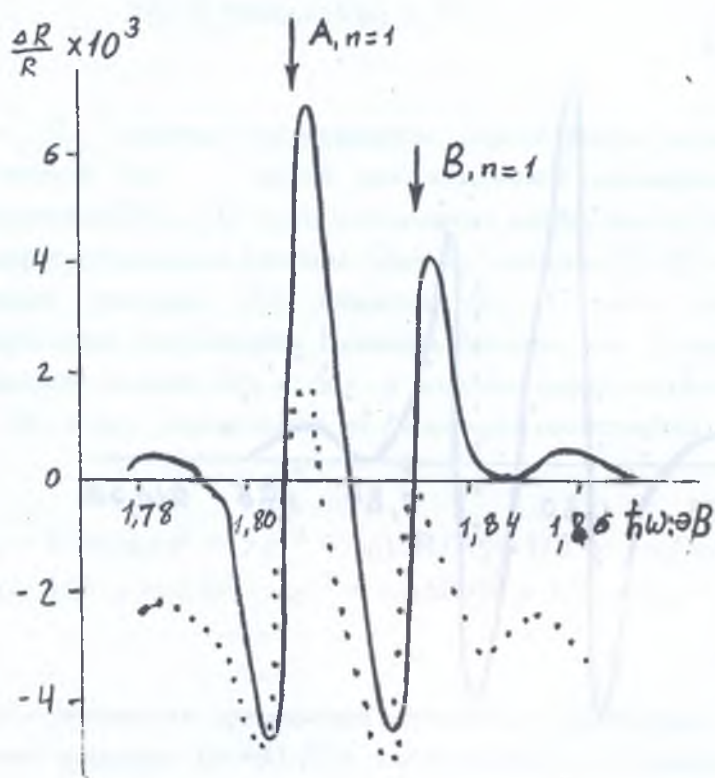


Рис.2. Сравнение экспериментального спектра (сплошной) с расчетной (точки) для $\Delta\epsilon_2$ тонкой пластики селенида кадмия при 77К.

E_0 , E - энергии образования экситона и падающего на образец фотона соответственно. Интеграл вычислялся на ЭВМ. Пределы интегрирования соответствовали максимальному и минимальному значениям энергий спектра с интервалом $\delta E = 0,001 \text{ эВ}$. Вычисленное значение оказалось равным $0,585 \cdot 10^{-4}$. На рисунках 1 и 2 приведены экспериментальные (сплошные) и расчетные (точки) кривые для ΔE_1 и ΔE_2 одной из тонких пластинок селенида кадмия при 77К. Видно, что ΔE_1 лучше совпадает с $\Delta R/R$, чем ΔE_2 , что находится в согласии с теорией Блосси. Некоторое расхождение спектра ΔE_1 и измеренного спектра $\Delta R/R$ в области энергии резонансного экситона $B_{n=1}$, возможно, вызвано тем, что ΔE_1 вычислялось без учета резонанса в этой области энергии.

Далее, представлял интерес сопоставить форму линий экситонов с участием продольных оптических фононов (LO) с теоретически вычисленными. К сожалению, в литературе отсутствует строгая теория, позволяющая определить форму линий фононных повторений и тем самым отличить их от бесфононных линий.

Тем не менее, в работе [9] на примере Cu_2O проводили некоторые количественные сравнения форм линий прямых и непрямых экситонных состояний, используя выражение [10];

$$\theta(W) = [(W^2 + 1)^{1/2} + W]^{1/2} / (W^2 + 1)^{1/2}$$

Здесь $W = (E - E_0)/\hbar\theta$, где E_0 и E -энергия образования экситона и падающего на образец фотона соответственно.

$\hbar\theta = (\hbar^2 e^2 F^2 / 2\mu^*)^{1/3}$ - электрооптическая энергия [2-4], F и μ^* - напряженность электрического поля и приведенная эффективная масса соответственно.

Результаты такого расчета контуров для однофононных линий A-LO в электропоглощении (ЭП) тонких пластинок сульфида и селенида кадмия показаны на рисунках 3 и 4. Сравнение экспериментальных контуров спектров с теоретически вычисленными показывает удовлетворительное совпадение вплоть до $W = 4-5$. При отрицательных значениях W расчетные кривые на рис. 3 и 4 получились несколько уже экспериментальных. Однако, при $W > 0$, расчетная кривая, начиная от $W = 5$ и более, располагается выше экспериментальной, т.е. хорошее совпадение наблюдается в основном в центральной части.

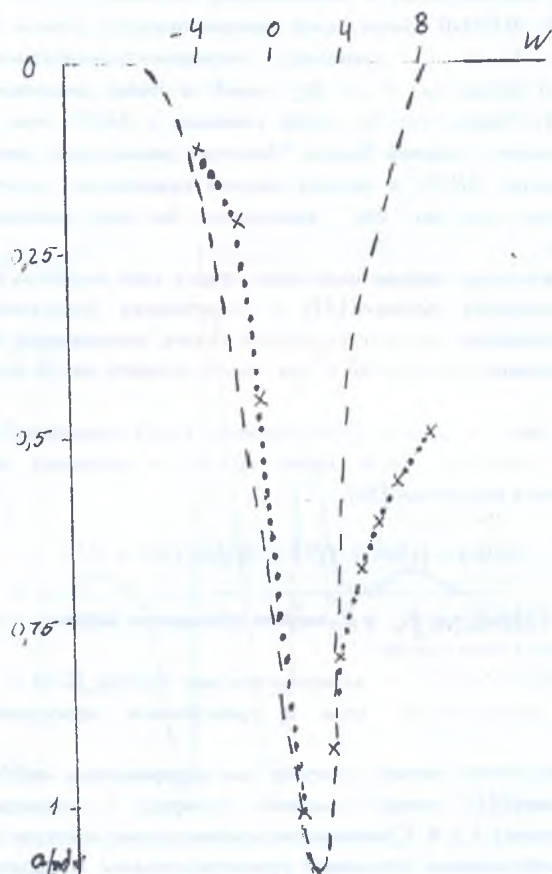


Рис.3. Количественное сравнение экспериментального (пунктирная) и расчетного (точки) контуров линий не прямых экситонных состояний селенида кадмия при 77K.

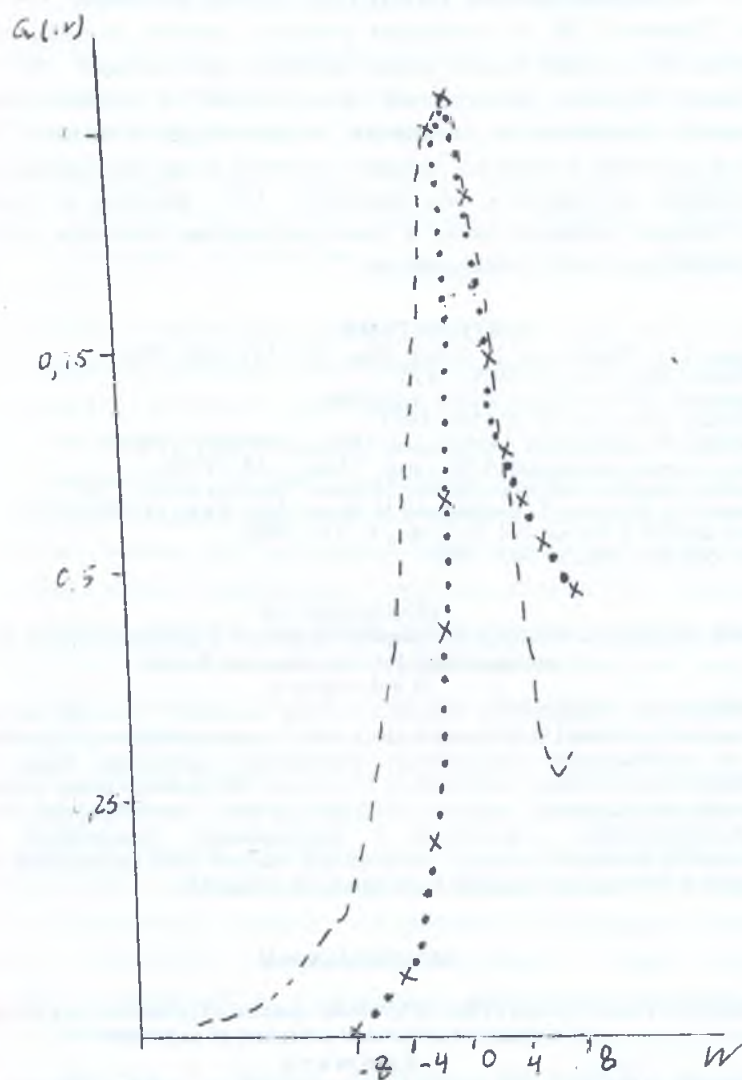


Рис.4. Количественное сравнение экспериментального (пунктирная) и расчетного (точки) контуров линий не прямых экситонных состояний сульфида кадмия при 77К.

Недостаточно удовлетворительное соответствие расчетных экспериментальных кривых на рис. 3 и 4, по нашему мнению, связано со вкладом в экспериментальный спектр ЭП других состояний, например, $2LO$ фононов. Параметр $h\theta$, от величины которого зависит полуширина, является подгогочным. В селениде кадмия расчет проведен для значений $h\theta = 4.10^{-3} \text{ эВ}$.

Таким образом, проведенный качественный и количественный анализ подтверждает правильность сделанных интерпретаций спектров ЭО и ЭП кристаллов сульфида и селенида кадмия о наличии в них экситонных состояний с одновременным поглощением или эмиссией LO фононов и теории Блосси, согласно которой основной вклад в электроотражение вносится действительной частью диэлектрической проницаемости.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. Cardona, K. L. Shaklee and F. Pollak. Phys. Rev., 154. 696, 1967.
2. D. F. Dlossey. Phys. Rev., 2, 3976, 1970.
3. G. Dresselhays. J. Phys. Chem. Solids, 1, 14, 1956.
4. D. F. Blosssey. Phys. Rev. B, 3, 1382, 1971.
5. С. Г. Джиева. Кандидатская диссертация, Москва, ФИАН, (1969)
6. Физика и химия соединений $A^{\text{II}}B^{\text{VI}}$, изд. "Мир", М. (1970)
7. П. С. Киреев. Физика полупроводников, Москва, "Высшая школа", 1975
8. A. Bolzarotti, E. Colavita, S. Gentile and R. Rosei. Appl. Opt., 14, 2412, 1975.
9. S. Brams and M. Cardona. Sol. St. Com., 6, 733, 1968.
10. B. Bats. Sol. St. Com., 5, 985, 1967.

ՄՈՎՍԵՍՅԱՆ Հ. Մ.

Կադմիումի սուլֆիդի և սելենիդի բյուրեղների կլանման և անդրադարձման դիֆերենցիալ սպեկտրների մեկնաբանության մասին

Ա մ փ ո ս ո մ

Դիֆերենցիալ սպեկտրների մեկնաբանությունը կապված է որոշակի դժվարությունների հետ, որը պայմանավորված է նրա մեթոդիկայի առանձնահատկություններով: Աշխատանքում ցույց է տրվում, որ ռեզոնանսային էլսիտոնների էներգիաների արժեքները միայն դիֆերենցիալ սպեկտրներից որոշելու համար, անհրաժեշտ է կատարել մեծ քանակությամբ չափումներ, որոնք թույլ են տալիս հայտնաբերել տվյալ էքսիտոնային շերտում, ըստ էներգիայի, ստաբիլ լուծվող առանձնահատկություններ: Կատարված է ռեզոնանսային էլսիտոնների կոնտուրների համեմատությունը գոյություն ունեցող տեսությունից հաշված նույն կոնտուրների հետ և ցույց է տրված փորձի ու տեսության բավարար համապատասխանությունը:

MOVSESIAN H. M.

About the interpretation of the differential spectra of reflection and obseption of crystals of sylfur and selenium of cadmium

Summary

The interpretation of the differential spectra is connected with the definite difficulties on account of specific character of methods. It is shown that for the precise determination of positions of energies of the resonance exitons only according to the differencial spektra it is necessary to carry out a large number of measurings which permit to discover stable permissive peculiarities according to energy of the given exiton stripe. It has been conducted the comparison of the outlines of the resonance exitons with the form of the same lines, calculating on the basis of the existent theory and it has been shown the satisfactory coincidence of the theory with the experiment.