

## Об аномалиях в экситонных спектрах отражения света кристаллами при низких температурах

П. С. Кособуцкий

Университет «Львовская политехника»,  
Украина, 290646, г. Львов-13, ул. С. Бандеры, 12  
E-mail: petkosob@polynet.lviv.ua

Статья поступила в редакцию 21 октября 1997 г., после переработки 9 января 1998 г.

Предложено объяснение аномалий экситонного отражения света кристаллами при низких температурах. Показано, что с увеличением затухания в системе экситонов амплитуда минимума отражения возрастает.

Запропоновано пояснення аномалій екситонних спектрів відбиття світла при низьких температурах. Показано, що із збільшенням згасання в системі екситонів амплітуда мінімуму відбиття зростає.

PACS:71.35.Cc

Известно, что при низких температурах в экситонных спектрах отражения прямозонных полупроводниковых кристаллов могут наблюдаться различные аномалии, которые достаточно хорошо описаны в литературе (см., например, [1]). Об интересном эффекте сообщалось ранее в работах [2–4]: начиная с температур жидкого гелия ( $T = 4,2$  К) с ростом температуры амплитуда минимума контура резонансного отражения увеличивается, т.е. возникает так называемое «просветление» резонансного минимума. Если в работе [2] это явление объяснялось квазилокализацией экситонов в приповерхностном слое кристалла, то в [3] путем компьютерного моделирования спектров было показано, что вышеописанный характер температурной зависимости спектра отражения  $R(\omega)$  может быть обусловлен влиянием бездисперсионного слоя, прилегающего к поверхности кристалла.

В настоящей работе проведен теоретический анализ условий отражения света трехслойной системой раздела вакуум — нерезонансный слой — объем кристалла в области резонансного возбуждения экситонов. Показано, что, независимо от характера дисперсии резонансной диэлектрической проницаемости, с ростом величины затухания в системе экситонов, т.е. с ростом температуры, глубина минимума контура

отражения увеличивается. Это обусловлено не характером дисперсии диэлектрической проницаемости, а фазовыми отношениями на границе слоев с учетом того, что минимум контура отражения формируется на частоте фазовой компенсации.

Рассмотрим нормальное отражение света трехслойной системой вакуум — безэкситонный слой — кристалл. Согласно [5], комплексная амплитуда отражения равна

$$\tilde{r} = \frac{\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2 \exp(-i\delta)}{1 + \tilde{r}_1 \tilde{r}_2 \exp(-i\delta)}, \quad (1)$$

где индексы «1» и «2» соответствуют первой и второй границам раздела;  $\delta = 4\pi nd/\lambda$  — сдвиг фазы волны в безэкситонном слое толщиной  $d$  с показателем преломления  $n$ .

Согласно формуле (1), энергетический коэффициент отражения света равен

$$R = (\text{Re } \tilde{r})^2 (1 + \text{tg}^2 \varphi), \quad (2)$$

где  $\varphi$  — общая фаза отраженного света ( $\text{tg } \varphi = \text{Im } \tilde{r} / \text{Re } \tilde{r}$ );  $\text{Re } \tilde{r}$  и  $\text{Im } \tilde{r}$  — действительная и мнимая части  $\tilde{r}$ . На частоте фазовой компенсации  $\omega_m$  справедливо равенство [6]

$$\delta + \varphi_2 = 2\pi \quad (3)$$

и формируется минимум контура отражения, так как выполняются условия

$$\operatorname{Re} \tilde{r} \neq 0, \operatorname{Im} \tilde{r} = 0, \quad (4)$$

где  $\varphi_2$  — сдвиг фазы волны, отраженной от границы раздела слой—кристалл. Следовательно, волны, отраженные от противоположных границ слоя, на частоте минимума колеблются в противофазе, и амплитуда  $\operatorname{Re} \tilde{r}$  равна

$$\operatorname{Re} \tilde{r} \Big|_{\omega = \omega_m} = \frac{(\rho_1 - \rho_2)}{(1 - \rho_1 \rho_2)}. \quad (5)$$

С ростом температуры вследствие усиления взаимодействия экситонов с фононами затухание  $\gamma$  увеличивается, т.е. амплитуда  $\rho_2$  уменьшается и, следовательно,  $\rho_2 \rightarrow \rho_1$  и  $R_{\min} \rightarrow 0$ .

Если годограф  $\tilde{r}$  пересекает начало координатных осей  $\operatorname{Re} \tilde{r}$  и  $\operatorname{Im} \tilde{r}$ , то  $R_{\min} = 0$  и кристалл на данной частоте становится прозрачным. Фазовые спектры при этом также претерпевают существенные изменения. Если одновременно  $\operatorname{Re} \tilde{r} = 0$  и  $\operatorname{Im} \tilde{r} = 0$ , то в спектрах фазы возникает известное превращение формы контура типа «N» ↔ «S» [7].

1. В. А. Киселев, Б. В. Новиков, А. Е. Чередниченко, *Экситонная спектроскопия приповерхностной области полупроводников*, Изд-во ЛГУ, Ленинград (1987).
2. I. Ruckman, V. May, and J. Voigt, *Phys. Status. Solidi* **B102**, 97 (1980).
3. А. Б. Певцов, С. А. Пермогоров, А. В. Селькин, *Письма в ЖЭТФ*, **39**, 261 (1984).
4. U. Arimoto, M. Tachiki, and K. Nakamura, *J. Phys. Soc. Jpn.* **60**, 4356 (1991).
5. М. Борн, Э. Вольф, *Основы оптики*, Наука, Москва (1970).
6. П. С. Кособуцкий, *УФЖ* **28**, 1090 (1983).
7. С. Б. Московский, Л. Е. Соловьев, М. О. Чайка, *ФТТ* **23**, 3618 (1981).

### On anomalies of optical excitonic reflection spectra of crystals at low temperatures

P. S. Kosoboutski

The interpretation of the anomalies of excitonic reflection spectra of crystals at low temperatures is given. It is shown, that with an increase in exciton decay the magnitude of reflection minimum increases.