ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА
Т. 5, № 3 (2004) С. 509-513

PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE
V. 5, № 3 (2004) P. 509-513

УДК 621.315.592+621.384.2

ISSN 1729-4428

В.О. Зуєв , Л.М. Гориня , Н.Ю. Лавріненко

Вплив поверхні на спектр екситонного відбивання в β-ZnP_2

Національна академія оборони України,
Повітрянофлотський проспект 28, м. Київ 03049, Україна

Для кристалів β - ZnP2 вивчено вплив безекситонного шару та поверхневого згину зон на екситонне відбивання. В області прояву А-екситонів спостерігається (при виснажених зонах) додатковий мінімум. Фізична природа його зумовлена локалізацією екситонів в приповерхневій штарківській ямі.

Ключові слова: екситон, згин зон, поверхня, відбивання.

Стаття поступила до редакції 10.03.2004; прийнята до друку 30.08.2004.

Кристали дифосфіда цинку моноклінної модифікації (β - ZnP_2) привертають велику увагу із-за дуже цікавих фізичних особливостей: велика різниця ефективних мас електронів і дірок, велика інтенсивність анізотропних екситонів, прояв просторової дисперсії, значний вплив стану поверхні на оптичні та фотоелектричні характеристики, тощо. Частина цих особливостей була врахована в [1]. В цій роботі проаналізована форма екситонного відбивання з врахуванням просторової дисперсії, що дозволило визначити параметри екситон них станів А та С – типів (таблиця). В таблиці ω_0 – поперечна частота екситона, М – трансляційна маса, ω_{LT} – поздовжньо-поперечне розщеплення, ε_0 – фонова діелектрична проникність, яка обумовлена вкладом всіх механізмів взаємодії, крім осцилятора, що розглядається , Γ – коефіцієнт затухання, f – сила осцилятора. Ці параметри використані нами для проведення розрахунків екситонного відбивання з врахуванням впливу поверхні, яке в [1] не розглядалося.

При 4,2К вивчалися кристали з полірованою, сколотою та анодно-окисленою поверхнями, які характеризувалися різним поверхневим згином зон y_s.

Для розрахунку коефіцієнта відбивання (R) використовувався метод розбивання області істотної зміни показника заломлення N на вузькі інтервали. Цей метод раніше був використаний для кристалів CdSe [2,3]. Зміна екситонного спектру поблизу поверхні враховувалася через зміни діелектричної проникності ε, яка залежить від координати Z :

$$e(щ, z) = e_0\left[1 - \frac{\Gamma}{щ - щ_0(z) + \cdot i\ \ \Gamma(z, щ)}\right], \qquad (1)$$

де ω – частота світла

Розрахунок R був здійснений за допомогою використання відомого [4] методу характеристичних матриць:

$$M = M_{0,1} \cdot M_{1,1} \cdot \ldots \cdot M_{\alpha,\alpha+1}. \qquad (2)$$

Матриця $M_{j,\,j+1}$ зв'язує амплітуди падаючої і відбитої хвиль на (j+1)-му шарі з амплітудами падаючої і відбитої хвиль на *j*– му шарі;

Таблиця

Параметри екситонних станів (n=1) в β – ZnP_2 при 4,2 К

Екситон	$\hbar\omega_{LT}$, МеВ	$\hbar\omega_0$, еВ	$\hbar\Gamma$, МеВ	M	$f\cdot10^{-3}$	ε_0
A	0,97	1,5492	0,1	5	1,2	9,2
C	1,9	1,5591	0.4	5	2,0	7,8

$$M_{j,j+1} = \frac{1}{2N_j}\begin{Vmatrix} \left(N_j + N_{j+1}\right)\ e^{i\left(N_{j+1}-N_j\right)\varphi_j} & \left(N_j - N_{j+1}\right)\ e^{-i\left(N_{j+1}+N_j\right)\varphi_j} \\ \left(N_j - N_{j+1}\right)\ e^{i\left(N_{j+1}+N_j\right)\varphi_j} & \left(N_j + N_{j+1}\right)\ e^{-i\left(N_{j+1}-N_j\right)\varphi_j} \end{Vmatrix}, \qquad (3)$$

де N – показник заломлення в j- му шарі; φ_j – фаза світла на межі j- го та (j+1)-го шарів.

На рис. 1 представлені спектри відбивання для β-ZnP_2 (область прояву С-екситонів) в припущенні, що змінюється товщина d-безекситонного шару біля поверхні. Видно, що із збільшенням d може мати місце як виникнення додаткового короткохвильового максимуму (крива 3), так і зміщення основного максимуму в бік більших енергій (пунктирна крива 4). Причиною цього є інтерференційні ефекти.

На рис. 2 при заданому значенні товщини безекситонного шару ($2\cdot10^{-8}$м) вар'юється параметр затухання Г. Видно, що зміни Г приводять до зменшення R за абсолютною величиною без істотної зміни спектральних характеристик.

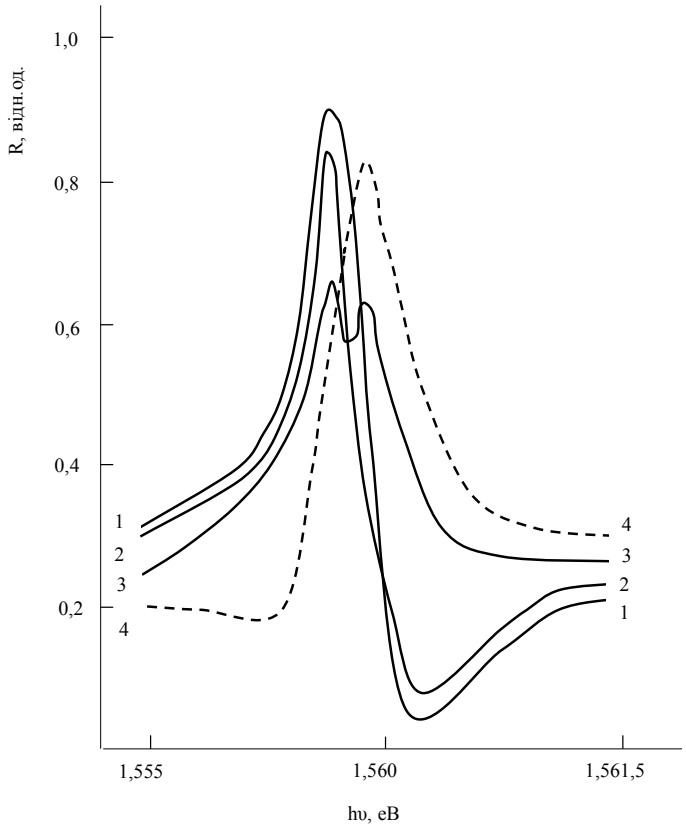

Рис. 1. Спектри відбивання β - ZnP_2 , розраховані з врахуванням товщини безекситонного шару d, м : 1 – 0; 2 – $1\cdot10^{-8}$; 3 – $2\cdot10^{-8}$; 4 – $3\cdot10^{-8}$.

На рис. 3 представлені спектри відбивання для випадку спадаючої залежності $\omega(z)$. Для порівняння приведені звичайний екситонний резонанс (1) і спектр відбивання за наявності "мертвої" зони товщиною $2\cdot10^{-8}$ м з різким краєм (криві 1 і 4 відповідно) . Залежність $\omega(z)$ приводить до появи добре відомого [2,3] спайку.

Якщо залежність $\omega(z)$ не монотонна, а з мінімумом , який лежить нижче об'ємного значення ω_0 (до цього може привести дія сил зображення при певній умові на співвідношення діелектричних проникностей середовищ , що межують), то при збільшенні глибини мінімуму відбувається зростання спайка із зменшенням головного максимуму у відбиванні (вже при глибині 3 МеВ спайк починає переважати над цим максимумом).

На рис. 4 приведені спектри відбивання , які розраховані для декілької різних значень глибини мінімуму $\Delta\omega_0$. Видно, що збільшення $\Delta\omega_0$, крім зростання спайка, приводить також до зсуву в довгохвильову область основного піку

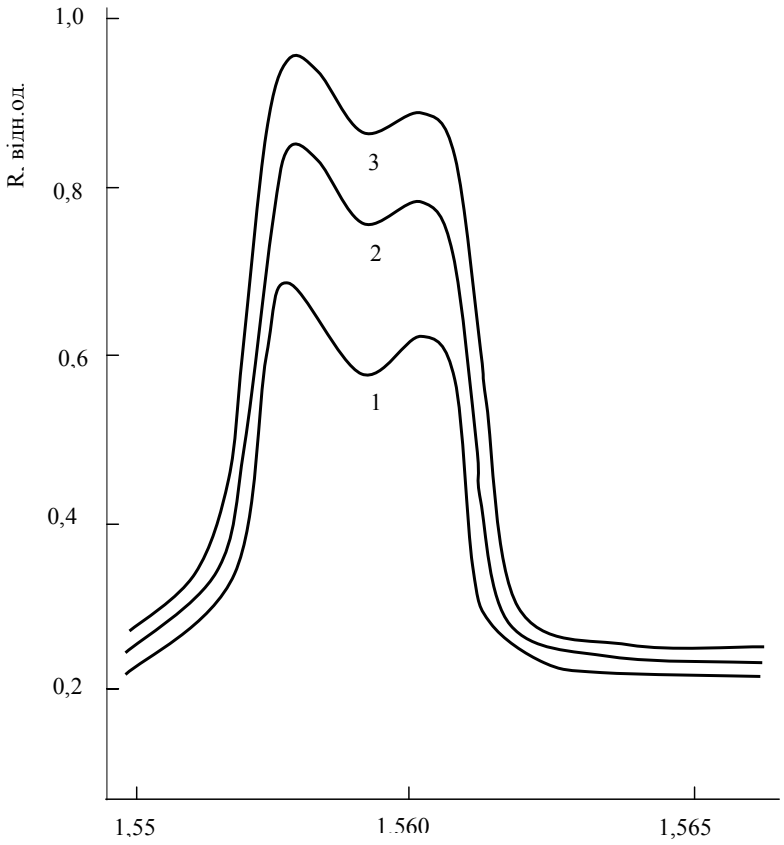

Рис. 2. Теоретично розраховані спектри відбивання β - ZnP_2 при $d = 2 \cdot 10^{-10}$м і при різних значеннях параметра затухання Г, МеВ : 1 – 0,1; 2 – 0,05; 3 – 0,02.

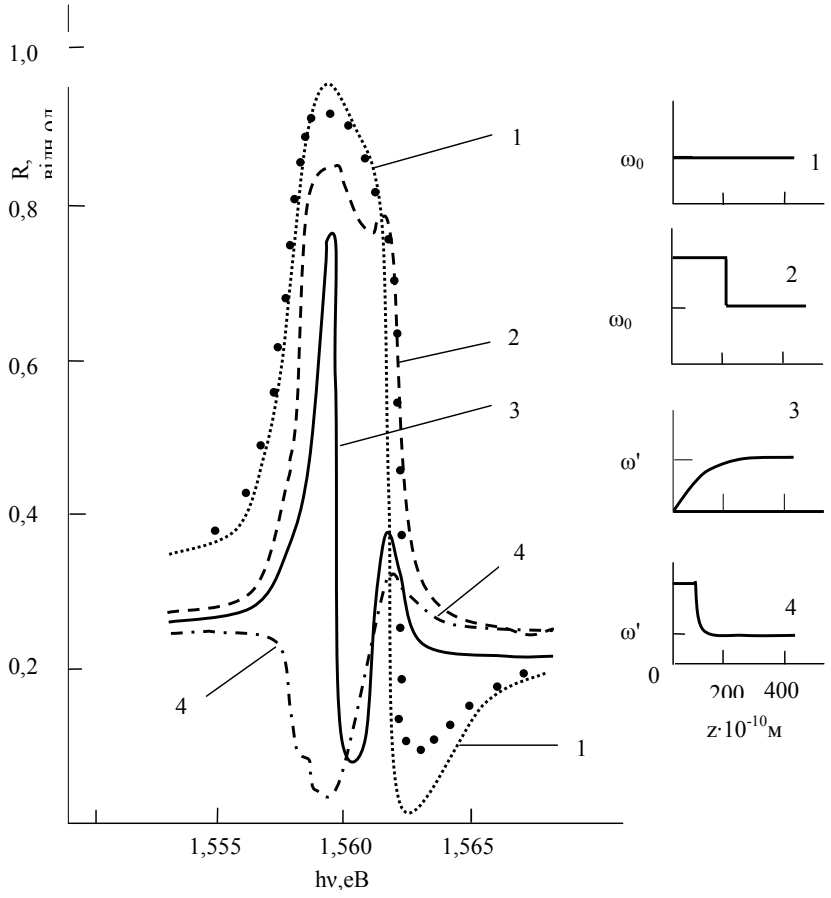

Рис. 3. Спектри відбивання β-ZnP_2 , розраховані для випадків: 1 – $\omega(z) = \omega_0$, $d = 0$; 2 – $\omega(z) = \omega_0$, $d = 2 \cdot 10^{-8}$м ; 3 – $\omega(z) = \omega'_0(1\text{-}0{,}1e^{-z/100})$; 4 – $\omega(z) = \omega'_0(1+0{,}1e^{-z/50})$; • – експериментальні дані.

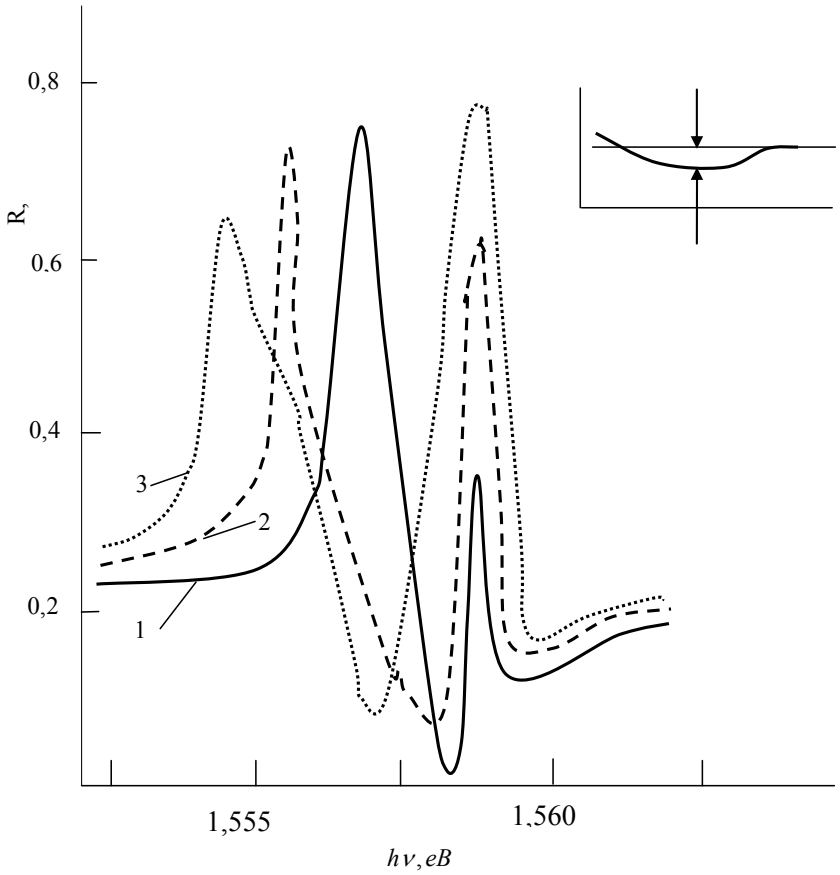

Рис. 4. Спектри відбивання в залежності ω(z) при наявності мінімуму Δ:
1 – 0,5 МеВ; 2 – 2 МеВ; 3 – 3 МеВ.

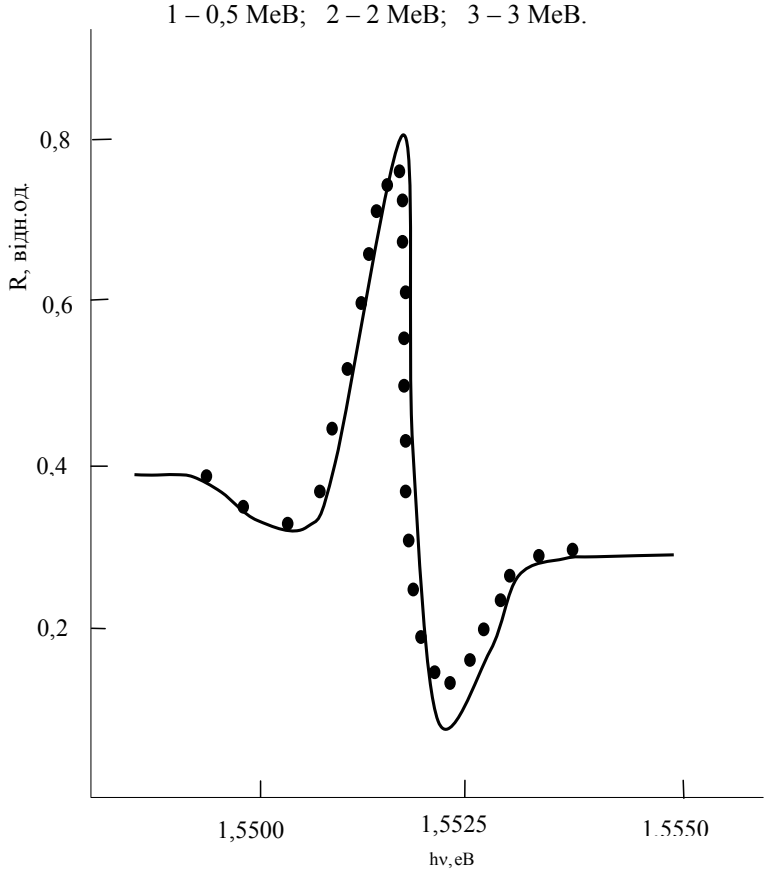

Рис. 5. Спектр відбивання β - ZnP_2 , розрахований при $\omega(z) = \omega_0'(1\text{-}0{,}1e^{-z/100})$;
• – експериментальні дані.

На рис. 3 зображені наші експериментальні дані. Стан поверхні суттєво не впливає на форму спектру. При порівнянні наших експериментальних даних (в області прояву С-екситонів) з розрахунком видно, що стан поверхні виявляв слабку дію на екситонне відбивання (криві типу 3 , рис. 3 не проявлялися). Таким чином, можна зробити висновок, що форма спектру відповідає моделі класичного об'ємного осцилятора з врахуванням просторової дисперсії [1]. Відсутність на експериментальних кривих спайків і зсуву у довгохвильову область вказує на слабку залежність $\omega_0(z)$.

Аналогічний аналіз був проведений для області А-екситонів. Анодно-окислена і сколота поверхні характеризувалися відносно малим згином зон ($|y_s| < 10$). При цьому, як і у випадку С-екситонів , реалізувалася модель класичного об'ємного осцилятора з врахуванням просторової дисперсії [1].

Полірована поверхня характеризувалася відносно великим згином зон ($|y_s| < 12$). При цьому спостерігався додатковий максимум відбивання, який відповідав розрахунку для випадку, коли ω_0 зростає при збільшенні Z (рис. 5).

З наших даних випливає, що А- екситони чутливіші до впливу поверхні порівняно з С-екситонами. Однією з причин помічених відмінностей А- екситонів є їх від'ємна ефективна маса.

Таким чином, збільшення згину зон приводить до суттєвої зміни частоти екситонів на поверхні. Фізична природа цього ефекту згідно [5,6] може бути зумовлена зв'язаними станами екситонів в штарківських приповерхневих потенціальних ямах.

Висновок

Проведено теоретичне і експериментальне дослідження впливу поверхні на екситонне відбивання кристалів β - ZnP_2. Експериментально суттєвий вплив встановлено в області прояву А-екситонів для полірованої поверхні з великими та збіднюючими згинами зон. Фізична природа цього ефекту зумовлена локалізацією екситонів в штарківських приповерхневих потенціальних ямах.

Зуєв В.О. **–** доктор фізико-математичних наук, професор;
Гориня Л.М. **–** кандидат фізико-математичних наук, доцент;
Лавріненко Н.Ю. **–** кандидат фізико-математичних наук, доцент.

[1] Н.Н. Сырбу. Влияние нарушения стехиометрии на экситонные, электронные и колебательные состояния в дифосфидах цинка //ФТП, **26(**6), с.1069-1088 (1992).
[2] М.С. Бродин, А.В. Крицкий, Э.Н. Мясников и др. Влияние состояния поверхности на спектры отражения и люминесценции кристаллов CdSe //УФЖ, **18**(5), с. 828-833 (1973).
[3] Н.А. Давыдова, Э.Н. Мясников, М.И. Страшникова. Особенности спектральных свойств монокристаллов CdSe , обусловленных их поверхностью // ФТТ, **16**(4), с.1173-1176 (1974.)
[4] М. Борн, Э. Вольф. *Основы оптики.* Наука, М. 719 с. (1973).
[5] В.А. Киселев. Экситонное отражение света при произвольном поверхностном потенциале // ФТТ, **20**(17), сс.2173-2176 (1978).
[6] В.А. Киселев, Б.В. Новиков, А.Е. Чередниченко. *Экситонная спектроскопия приповерхностной области полупроводника*. Изд. ЛГУ, Л. 160 с. (1987).

V.O. Zuev, L.M Gorynya, N.Y. Lavrinenko

The Influence of the Surface on the Exciton Reflectance of β - ZnP_2 Crystals

Ukrainian National Defence Academy,
28 Povytroflotsky prospect, Kyiv 03049

Experimental end theoretical investigation of exciton reflectance spectra of β - ZnP_2 crystals has been carried out under different surface conditions. The space dispersion effect were observed for C- excitons. The A- exciton surface localization was observed under large band bending of the polished surface.