

КОМБІНАЦІЙНЕ РОЗСІЯННЯ У ШИРОКОЗОННИХ НАПІВПРОВІДНИКАХ

Методом комбінаційного розсіяння досліджені фононні спектри фосфіду галію, сульфїду та селенїду цинку. Виявлені стоксові та антистоксові лїнії, зумовлені однофононними та двофононними процесами.

Phonon spectra of GaP, ZnS, ZnSe single crystals were investigated by combination scattering technique. The stoks and anti-stoks lines caused by one and two phonon processes were detected.

Важливу роль у вивченні будови кристалів вїдїграє комбінаційне розсіяння світла (КР), яке полягає в змїні спектрального складу світла при його розсіянні в речовинї. Новї лїнії, якї спостерїгаються при КР світла, зумовленї модуляцією світлової хвилї коливаннями часток у кристалї або атомів у молекулах. Дослїдження КР світла в кристалах є одним із сучасних і ефективних методів вивчення структури та динамїки кристалїчної ґратки. По спектрах КР другого порядку можна також вивчати закон дисперсії фононного спектра кристала, який визначає властивостї речовини. За змїною ширини, інтенсивностї, поляризації та появою нових лїній в спектрі КР можна досліджувати модифїкацію кристалїчної ґратки кристалу при рїзних фазових переходах [1,2].

У данїй роботї вивчення КР світла використовувалось як метод дослідження фононного спектра в широкозонних напївпровідниках, а саме: в фосфїдї галїю (GaP), сульфїдї цинку (ZnS) та селенїдї цинку (ZnSe).

Експериментальна установка для дослідження КРС включала в себе дифракційний монохроматор МДР-2, джерело світла, систему лїнз та дзеркал і реєструючий прилад. Монохроматор МДР-2 з плоскою дифракційною ґраткою (1200 штрихів на мїліметр) використовувався для спектроскопїчних досліджень в областї вїд 400 до 650 нм. Джерелом світла служив гелїй-неоновий лазер ($\lambda=6328\text{\AA}$) з потужностю пучка 20 мВт. Використання такого лазера для збудження спектрів комбінаційного розсіяння дало можливїсть застосування фотоелектричних методів реєстрації. До 60-х рокїв спектри КРС реєструвались

тїльки фотографїчним способом, який має ряд недолїків: тривалий час експозиції, крупнозернистїсть емульсії високочутливих пластин тощо.

У роботї сигнал з вихїдної щїлини монохроматора реєструвався фотоелектричним помножувачем ФЕУ-79 із застосуванням електронної схеми синхронного детектування. Порівняно з фотоматерїалами фотопомножувачї мають ряд переваг, до яких слїд вїднести високу спектральну чутливїсть, незначний темновий струм і лїнійну залежнїсть анодного струму вїд світлового потоку в широкому дїапазонї його змїни. Збуджуючий лазерний пучок, модульований механїчним пристроєм і системою дзеркал, направляєтьс на досліджуванїй зразок. Розсіяне світло фокусувалось системою лїнз на вхїднїй щїлині монохроматора. Дослїджуванї зразки – монокристалїчнї пластини фосфїду галїю, сульфїду цинку та селенїду цинку.

Дослїджуванї зразки фосфїду галїю *n*-типу провїдностї орієнтації [100] та [111]. Світло вїд джерела направлялось на торцеву поверхню кристала, а розсіяне світло спостерїгалось пїд кутом 90°.

Одержанї при двох температурах (300 і 500 К) спектри на фосфїдї галїю орієнтації [100] представленї трьома лїніями в стоксовїй областї з максимумами, що вїдрїзняються вїд енергїї збуджуючих фотонів (1,98 еВ) на 30, 49,6, 68 меВ. У антистоксовїй областї також спостерїгаються три лїнії слабшої інтенсивностї, якї змїщенї вїд енергїї збуджуючих фотонів на 30, 49,6 та 68 еВ (рис.1) [3].

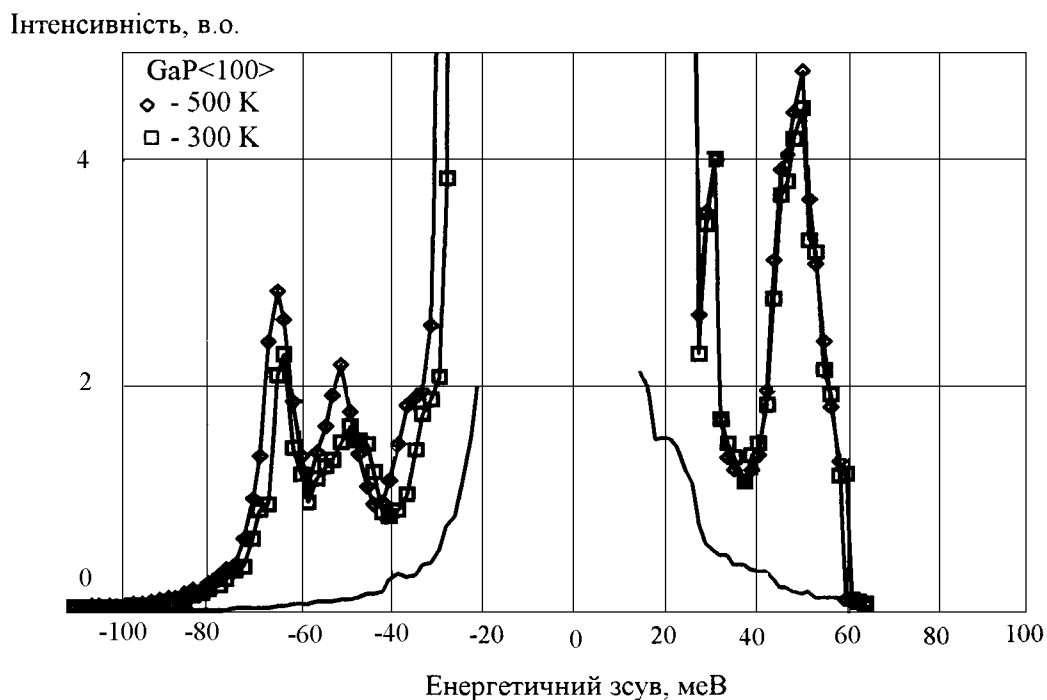


Рис. 1. Спектр комбінаційного розсіювання світла в GaP [100].

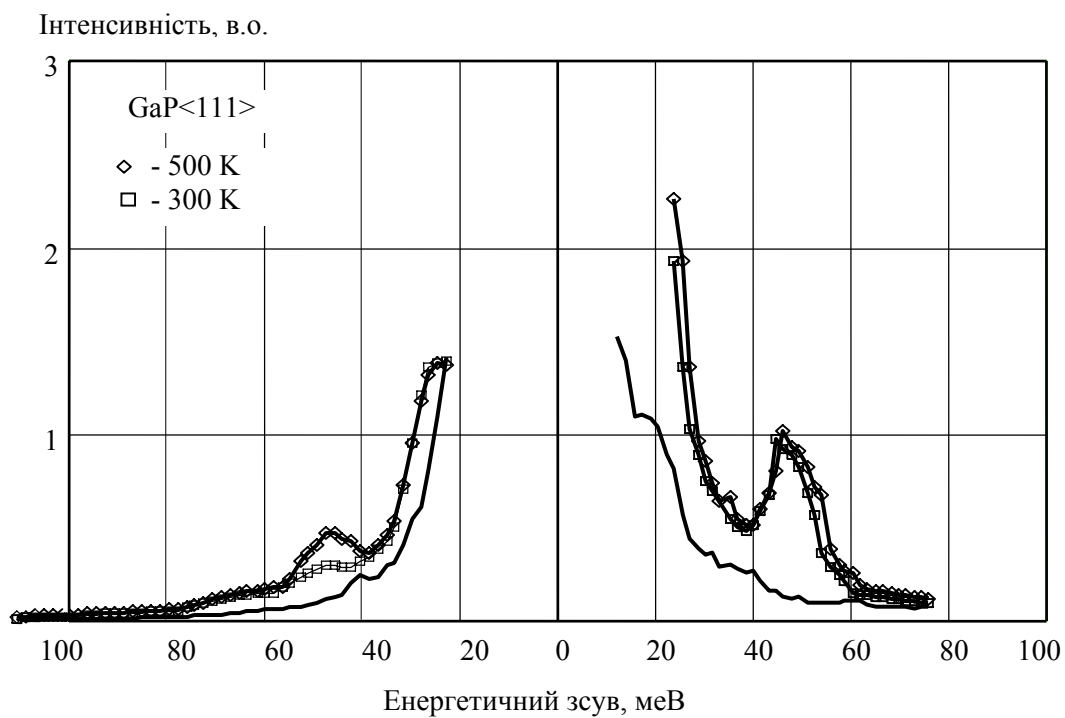


Рис. 2. Спектр комбінаційного розсіювання світла в GaP [111].

Зіставлення одержаного спектра з енергіями оптичних фононів в GaP показує, що лінія, зміщена на 50 меВ відповідає випромінюванню оптичного фонона в точці Г зони Бріллюена. Енергетичний зсув лінії на 30 меВ може бути зумовлений випромінюванням оптичного фонона на краю зони Бріллюена LO , енергія якого 48,7 меВ з одночасним поглинанням акустичного фонона TA , енергія якого 15,5 меВ. Поява ж в спектрі лінії, зсунутої на 68 меВ, відповідає одночасному випромінюванню оптичного та акустичного фононів. На зразках фосфіду галію орієнтації [111] в стоксовій та антистоксовій області спостерігаються лінії, енергетичний зсув яких дорівнює 25 і 49,6 меВ (рис.2). Як видно із рис.1,2, інтенсивність ліній в стоксовій області не залежить від температури, а інтенсивність антистоксових супутників зростає із підвищенням температури, що узгоджується з теоретичними міркуваннями. Приймаючи ймовірність поглинання фононів N_g , а ймовірність випромінювання N_g+1 і враховуючи, що фонони підпорядковуються статистиці Бозе-Ейнштейна,

$$N_g = \frac{1}{\exp\left[\frac{\hbar\omega_g}{kT}\right] - 1}, \quad (1)$$

отримаємо відношення інтенсивностей ліній у стоксовій (S) і антистоксовій (A) областях.

$$\frac{S}{A} = \frac{N_g + 1}{N_g} = \exp\left[\frac{\hbar\omega_g}{kT}\right]. \quad (2)$$

При $T=300$ К розраховане значення інтенсивностей для фонона з енергією 49,6 меВ дорівнює 7,2, а експериментально визначене із рис.2 $S/A=6$. Незначна розбіжність експериментальних результатів із теоретично розрахованими може бути зумовлена тим, що при кімнатній температурі температура кристала може бути вищою внаслідок нагрівання при опроміненні.

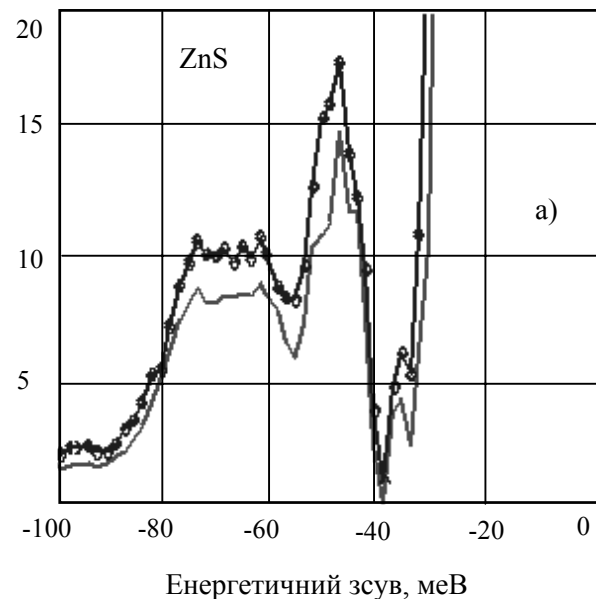
В отриманих експериментально спектрах КРС на сульфіді цинку виявлені лінії в стоксовій та антистоксовій областях, максимуми яких зсунуті на 47 меВ відносно енергії збудження $\hbar\omega_0=1,96$ еВ (рис.3). Інтенсивність антистоксових супутників менша від інтенсивності стоксових (рис.3б). Виявлена також температурна залежність антистоксових супутників.

Відношення інтенсивностей стоксових (S) та антистоксових (A) супутників розраховано згідно з формулою (2) для енергії фонона 47 меВ при $T=300$ К, що дорівнює 6,5, добре узгоджується

з отриманим експериментально значенням $S/A=6$. Цей факт пояснює появу супутника, зміщеного на 47 меВ, взаємодією світла з оптичними фононами в точці Г зони Бріллюена.

Крім того, в спектрі КРС сульфід цинку виявлена "полічка", зсунута відносно основної лінії на 63-78 меВ, яку не можна пояснити взаємодією з оптичними фононами. Цей енергетичний зсув може бути пояснений рекомбінацією фононів, що наведено у таблиці 1 і в праці [4].

Інтенсивність, в.о.



Інтенсивність, в.о.

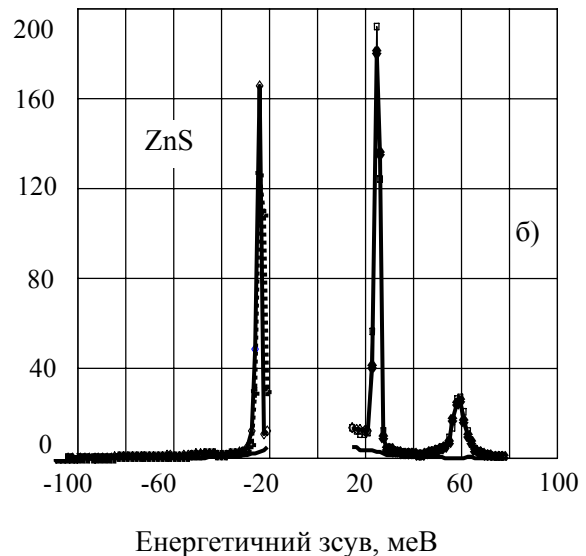


Рис.3. Спектр комбінаційного розсіяння світла в сульфіді цинку в стоксовій і антистоксовій областях (а), в антистоксовій області (б).

Інтенсивність, в.о.

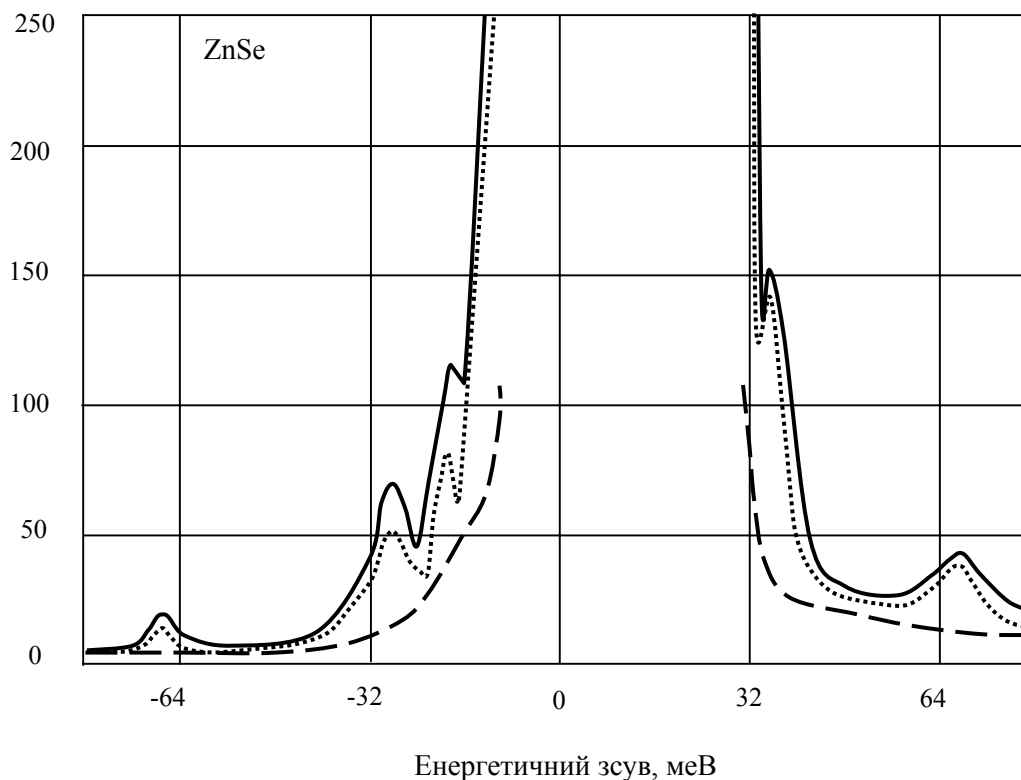


Рис. 4. Комбінаційне розсіювання світла в селеніді цинку.

Таблиця 1. Рекombінація фононів.

Комбінація фононів	Енергія, 10^{-2} еВ	Енергія фононів, еВ
TO_1+2TA_2	6,26	LO $4,67 \cdot 10^{-2}$
TO_2+LA	6,4	TO_1 $4,29 \cdot 10^{-2}$
$TO_1+TA_1+TA_2$	6,52	TO_2 $4,00 \cdot 10^{-2}$
TO_1+LA	6,72	LA $2,44 \cdot 10^{-2}$
$LO+LA$	7,13	TA_2 $1,24 \cdot 10^{-2}$
$LO+TO_2-TA_1$	7,44	TA_2 $9,83 \cdot 10^{-3}$
$TO_1+LA+TA_2$	7,72	
$2TO_2$	7,88	

Спектри комбінаційного розсіювання світла ZnSe показані на рис.4. В спектрах виявлені лінії, максимуми яких зміщені на 18,4, 29,6 та 66,8 меВ. Лінія 29,6 меВ зумовлена взаємодією світла із оптичним фононом LO , енергія якого дорівнює 29,8 меВ. Лінія 18,4 меВ може бути пояснена двофононним процесом поглинанням оптичного фонона з енергією 29,8 меВ і випромінюванням акустичного TA з енергією 11,7 меВ. Лінія зміщена на 66,8 меВ може бути зумовлена комбінацією фононів $2LO+TA$, з енергією 67,6 меВ [4].

Отже, дослідження КРС дає важливу інформацію про фононний спектр, фонон-фононну взаємодію в досліджуваних напівпровідниках.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сушинский М.М. КРС в кристаллах. - М.: Мир, 1982.
2. Сушинский М.М. КРС и строение вещества. - М.: Наука, 1981.
3. Косяченко Л.А., Кабанова І.С., Солончук І.В., Гуц В.В., Дутка Ю.М. Гарячі фонони в діодній структурі на фосфіді галію // Науковий вісник ЧДУ. Вип. 30: Фізика. - Чернівці: ЧДУ. - 1998. - С.191-199.
4. Оптические свойства полупроводников (полупроводниковые соединения типа A^2B^5) / Под ред. Р. Уиллардсона и А. Бира. - М.: Мир, 1970.