

Спектри обмежених та інтерфейсних фононів у багатошарових плоских наносистемах

Грищук А.М., Грищук В.В.

Житомирський державний університет ім. Івана Франка, *teor-caf@meta.ua*.

Сучасні дослідження у фізиці твердого тіла спрямовані у напрямку вивчення все менших за просторовими розмірами систем, підійшли до нанорозмірних об'єктів, та дослідженню мезоявищ у наногетеросистемах (квантових точках, плівках, дротах, ямах та їх комбінаціях). Фононний спектр у низьковимірних системах, головним чином, вивчається на базі двох моделей. Так звана напівмікроскопічна модель Хуана – Цу дає результати, які найкраще узгоджуються з експериментом, але вона математично складна, для практичного не застосовуються у теорії електрон – фононної взаємодії. Для розрахунку фононних спектрів і для дослідження електрон – фононної взаємодії найбільш придатною є модель діелектричного континууму оскільки її результати краще збігаються з результатами моделі Хуана – Цу [1,2].

Останніми роками експериментатори і теоретики проявляють великий інтерес до вивчення квантових плівок [3], особливо науковців цікавлять каскадні лазери, створені на їхній основі [4]. У дослідженні фізичних властивостей, таких як носії заряду, їх релаксація,

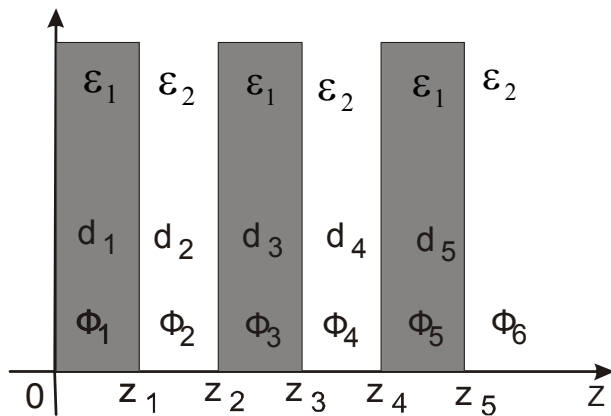


Рис.1 Геометрична схема багатошарової наносистеми $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$

лінійні і нелінійні оптичні властивості квантових плівок, важливим фактором, який повинен враховуватись є електрон – фононна взаємодія. Тому для того щоб, мати змогу керувати таким каскадним лазером, необхідно точно описати оптичні фононні моди і отримати гамільтоніан електрон–фононної взаємодії в таких наносистемах.

У даній роботі вивчаються енергії та закони дисперсії всіх типів вільних коливань, що існують у багатошарових наногетеросистемах, які складаються з п'яти шарів плоских плівок утворених з $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$. Товщини квантових плівок d_i ($i=1,2,3,4,5$) та діелектричні проникливості кожної i -тої частини

ноносистеми вважаються відомими.

$$d_i = z_i - z_{i-1} \quad (1)$$

$$\varepsilon_i(\omega) = \varepsilon_{i\infty} \frac{\omega^2 - \omega_{Li}^2}{\omega^2 - \omega_{Ti}^2}, \quad i = 0,1,2,\dots \quad (2)$$

де $\varepsilon_{i\infty}$ - високочастотна діелектрична проникність, ω_{Li} та ω_{Ti} - частоти поздовжніх і поперечних оптичних фононів відповідних масивних кристалів. Фононний спектр для такої системи знаходиться з електростатичних рівнянь Максвелла для середовищ [5]:

$$\vec{\nabla} \times \vec{D} = 0, \quad (3)$$

$$\vec{D} = \varepsilon_i(\omega) \vec{E} = \vec{E} + 4\pi \vec{P} \quad (i=0,1,2), \quad (4)$$

$$\vec{E} = -\vec{\nabla} \Phi, \quad (5)$$

де $\vec{D}, \vec{E}, \vec{P}, \Phi$ – електричне зміщення, напруженість електричного поля, поляризація і електростатичний потенціал. Підставивши вираз (3) у (4) у (5) отримуємо наступне рівняння:

$$\varepsilon_i(\omega) \nabla^2 \Phi_i(\vec{r}) = 0 \quad (6)$$

Зрозуміло, що існують два можливих розв'язки цього рівняння, з яких визначаються спектри обмежених та інтерфейсних фононів, які розглядаються в даній роботі.

При дослідженні використовувалось наближення діелектричного континууму, а розрахунки виконувались за допомогою методу трансферної матриці (transfer matrix method) [6].

Виконані обчислення показали, що величини енергії обмежених фононів збігаються з енергіями відповідних фононів об'ємних кристалів. Спектр інтерфейсних фононів залежить від геометричних параметрів наносистем, але енергії цих фононних мод завжди знаходяться між енергіями LO та TO фононів об'ємних кристалів. Залежність енергії фононних мод від квазіхвильового числа свідчить, що вони суттєво змінюються при малих значень квазіхвильового числа. Збільшенням розмірів квантових ям призводить до виродження зон енергії фононів у вітки.

[1]. M.V. Tkach, Quasiparticles in nanoheterosystems, Quantum dots and wires. Ruta, Chernivtsi, 2003.

[2]. M.V. Tkach, V. Holovatsky, O. Votsekhivska, M. Mykhalyova, R. Fartushunsky, Phys Stat.Sol. 225, 331, 2001.

[3]. Cao J C 2003 Phys. Rev. Lett. 91, 237401.

[4]. Faist J et al 1994 Science 264, 533

[5]. Wai-Sang Li, Chuan-Yu Chen, Physica B, 1997, 375.

[6]. Yu S G et all 1997 J.Appl.Phys. 82, 3363