

Матеріали XIX наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 2016

Секція: ФІЗИКА

Керівники: проф. Л. Дідух, доц. Л. Скоренький

Вчений секретар: доц. О. Крамар

УДК 538.915; 538.935

І.В. Бойко – кандидат фіз.-мат. наук, доцент

Тернопільський національний технічний університет імені Івана, Україна

ТЕОРІЯ ДВОФОТОННОЇ ЛАЗЕРНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ У ПЛОСКИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ РЕЗОНАНСНО-ТУНЕЛЬНИХ СТРУКТУРАХ У ПОЗДОВЖНЬОМУ ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ

I.V. Boyko – Ph.D, Assoc. Prof.

THEORY OF TWO-PHOTON LASER GENERATION IN PLANAR SEMICONDUCTOR RESONANCE TUNNELING STRUCTURES IN LOGITUDINAL ELECTRIC FIELD

Сучасні нанотехнології, в яких мають застосування квантові каскадні лазери (ККЛ) та квантові каскадні детектори (ККД) [1-3], пов'язаний із теоретичним дослідженням транспортних властивостей плоских напівпровідникових багат шарових резонансно-тунельних структур (РТС) та фізичних процесів, що у них відбуваються.

Для забезпечення умов оптимальної роботи ККЛ і ККД важливим є вибір геометричного дизайну РТС, що є активними елементами наноприладів. Зокрема використання постійного поздовжнього електричного поля в ККЛ, визначає його робочу частоту, але і забезпечує ефективну узгоджену роботу каскадів наноприладів.

У пропонованій роботі, з використанням моделі ефективних мас електрона та прямокутних потенціальних ям і бар'єрів, на основі малосигнального наближення, побудована квантово-механічна теорія активної динамічної провідності трибар'єрної активної зони ККЛ в якій відбувається одно- та двофотонна лазерна генерація.

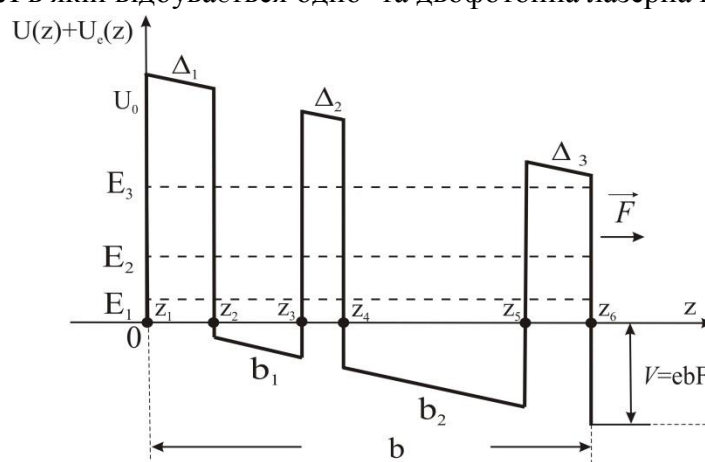


Рис. 1. Геометрична та енергетична схеми трибар'єрної активної зони ККЛ

Розв'язується повне рівняння Шредінгера:

$$i\hbar \frac{\partial \Psi(z,t)}{\partial t} = [H_0(z) + H(z,t)]\Psi(z,t), \quad (3)$$

де

$$H_0(z) = \frac{\hbar^2}{2} \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{m(z)} \frac{\partial}{\partial z} + U(z) \quad (4)$$

– гамільтоніан стаціонарної задачі для електрона,

$$H(z,t) = -e \left[\epsilon_1 (e^{i\omega_1 t} + e^{-i\omega_1 t}) + \epsilon_2 (e^{i\omega_2 t} + e^{-i\omega_2 t}) \right] \left[z\theta(z) + (z_5 - z)\theta(z - z_5) \right] \quad (5)$$

– гамільтоніан, що який у дипольному наближенні описує взаємодію електронів з слабким змінним двочастотним електромагнітним полем, що характеризується частотами ω_1 і ω_2 та амплітудами напруженості його електричних складових ϵ_1 і ϵ_2 .

З використанням хвильових функцій $\Psi(z,t)$ виконується розрахунок густини електронних струмів, які виникають у РТС у результаті квантових переходів між електронними станами з випромінюванням енергії у одно фотонних та двофотонних переходах.

Здійснивши аналітичний розрахунок енергії взаємодії електрона з електромагнітним полем, як суму енергій електронних хвиль, що виходять з обох сторін нано-РТС, у квазікласичному наближенні знаходиться дійсна частина активної провідності σ через густини потоків електронних хвиль, що виходять з обох сторін нано-РТС [4]:

Дійсна частина динамічної провідності σ РТС, може бути подана у вигляді суми двох парціальних складових:

$$\sigma^{(H)}(\Omega_1, \Omega_2) = \sigma^{(1)}(\Omega_1) + \sigma^{(2)}(\Omega_1, \Omega_2), \quad (29)$$

де

$$\sigma^{(1)}(\Omega_1) = \sigma^{(1)+}(\Omega_1) + \sigma^{(1)-}(\Omega_1), \quad (30)$$

– провідність, розрахована у першому порядку теорії збурень, яка формується однофотонними електронними переходами),

$$\sigma^{(2)}(\Omega_1, \Omega_2) = \sigma^{(2)+}(\Omega_1, \Omega_2) + \sigma^{(2)-}(\Omega_1, \Omega_2), \quad (31)$$

– провідність, розрахована у другому порядку теорії збурень, яка формується двофотонними електронними переходами).

Безпосереднім розрахунком для експериментально реалізованої РТС встановлено її геометричні конфігурації, для яких реалізуються умови ефективної двофотонної двочастотної лазерної генерації, що дає підсилення інтенсивності випромінювання ККЛ до 38%.

Література

- [1] D. Bachmann, M. Rösch, C. Deutsch, M. Krall, G. Scalari, M. Beck, J. Faist, K. Unterrainer and J. Darmo. Spectral gain profile of a multi-stack terahertz quantum cascade laser // Appl. Phys. Lett., 105(18), pp. 181118-1- 181118-4 (2014).
- [2] J.M. Wolf, A. Bismuto, M. Beck, and J. Faist. Distributed-feedback quantum cascade laser emitting at 3.2 μm // Optics Express, 22(2), pp. 2111-2118 (2014).
- [3] D. Hofstetter, F.R. Giorgetta, E. Baumann, Q. Yang, C. Manz and K. Kohler. Midinfrared quantum cascade detector with a spectrally broad response // Appl. Phys. Lett., 93(22), pp. 221106 -1-221106-3 (2008).
- [4] M.V. Tkach, Ju. O. Seti, I. V. Boyko, O.M. Voitsekhivska. Optimization of quantum cascade laser operation by geometric design of cascade active band in open and closed models Condensed Matter Physics, 16(3), pp. 33701-1-33701-10 (2013).