

КВАНТОВО-МЕХАНІЧНІ ЕФЕКТИ В НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СТРУКТУРАХ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглянуто основні квантово-механічні ефекти, що проявляються в напівпровідникових структурах нанометрових розмірів. Показано, що зі зменшенням геометричних розмірів електронних компонентів класичні уявлення про рух носіїв заряду стають недостатніми, а квантові явища суттєво впливають на електрофізичні характеристики приладів. Проаналізовано роль тунельного ефекту, квантового обмеження та дискретності енергетичних рівнів у сучасних напівпровідникових пристроях.

Ключові слова: напівпровідники, квантова механіка, тунельний ефект, наноелектроніка, квантові структури.

Abstract

In the article, the main quantum mechanical effects manifested in semiconductor structures of nanometer scale are considered. It is shown that with the reduction of the geometric dimensions of electronic components, classical models of charge carrier motion become insufficient, and quantum phenomena significantly affect the electrophysical characteristics of devices. The role of tunneling effect, quantum confinement and discrete energy levels in modern semiconductor devices is analyzed.

Keywords: semiconductors, quantum mechanics, tunneling effect, nanoelectronics, quantum structures.

Вступ

Сучасна електроніка розвивається за принципом мініатюризації напівпровідникових елементів, що призводить до прояву явищ, які неможливо пояснити класично. Зменшення розмірів до нанометрового рівня зумовлює, що домінуючу роль починають відігравати квантово-механічні ефекти, які суттєво впливають на електрофізичні властивості матеріалів та пристроїв [1].

У традиційних напівпровідниках рух носіїв заряду можна описати класичними моделями зонної теорії. Проте у наноструктурах, де розміри порівнянні з довжиною хвилі де Бройля електрона енергетичний спектр стає дискретним, і для опису процесів переносу заряду необхідно використовувати квантово-механічний підхід [2].

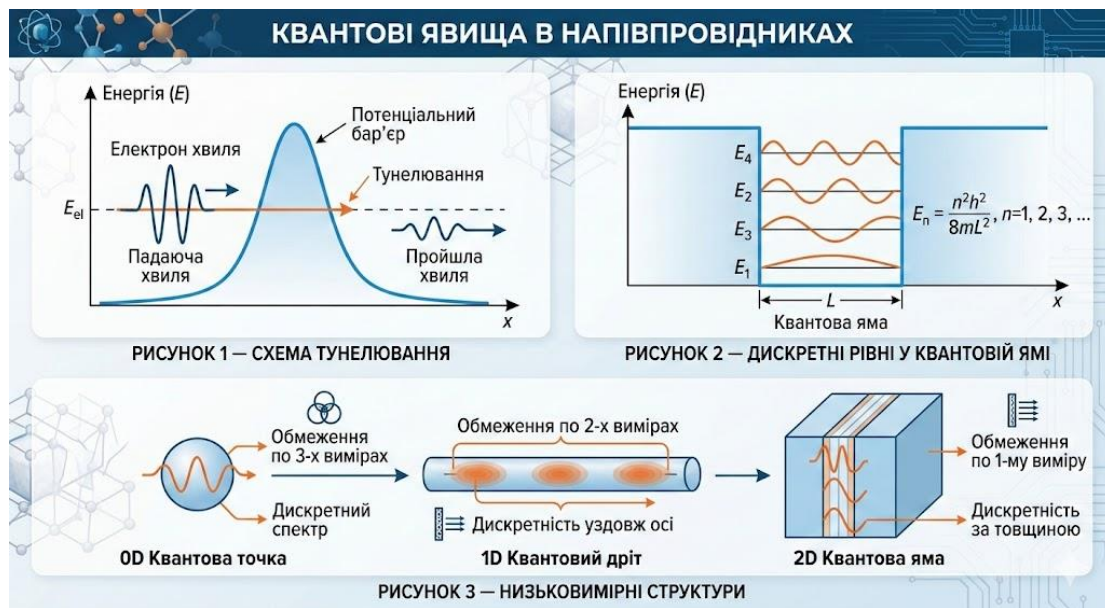
Квантові явища в напівпровідникових структурах

У наноструктурах проявляються кілька ключових квантових ефектів. Один із них — тунельний ефект, коли електрон може проходити через потенціальний бар'єр, навіть якщо його енергія менша за висоту бар'єра [2]. Це явище використовується в тунельних діодах і надшвидкодійних транзисторах. (Рисунок 1). Ще одним важливим явищем є квантове обмеження руху носіїв заряду, що формує дискретний енергетичний спектр у низьковимірних структурах, таких як квантові ями, дрти та точки. Для квантової ями енергетичні рівні електронів можна описати формулою:

$$\varepsilon_n = \frac{n^2 h^2}{8mL^2}$$

де ε_n — енергія n -го рівня, Дж;
 n — квантове число;
 m — маса електрона;
 L — ширина ями, м [3]. (Рисунок 2)

Квантові ями дозволяють контролювати електронні та оптичні властивості матеріалів, що використовується в лазерах і фотоприймачах. Квантові дроти й точки характеризуються ще більшою дискретністю енергетичних рівнів, що робить їх перспективними для наноелектроніки та квантових інформаційних технологій. (Рисунок 3)



Представлені схеми наочно демонструють перехід від класичного руху частинок до квантового, де обмеження простору (яма, дріт, точка) та подолання бар'єрів визначають нові енергетичні стани системи. Ці графічні моделі є фундаментальною базою для проектування сучасних нанотранзисторів та лазерних діодів.

Висновок

Квантово-механічні ефекти, такі як тунельний ефект і квантове обмеження, є ключовими для опису фізики напівпровідникових наноструктур. Вони визначають електрофізичні та оптичні властивості матеріалів, впливають на функціонування сучасних пристроїв і формують основи для розвитку наноелектроніки та квантових технологій [1,3].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кіттель Ч. *Вступ до фізики твердого тіла*. — Київ: Наукова думка, 2005.
2. Шлімак І. С. *Фізика напівпровідників*. — Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2010.
3. Сакурай Дж. *Сучасна квантова механіка*. — Харків: Фоліо, 2008.

Решетнік Іванна Володимирівна — студентка групи 2-ПІ, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, ivanka.reshernik@gmail.com

Науковий керівник: **Мартинюк Володимир Валерійович** — канд. техн. наук, доцент кафедри фізики, Вінницький національний технічний університет.

Reshetnik Ivanna V.— student, Faculty of Information Technology and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ivanka.reshernik@gmail.com

Supervisor: **Martyniuk Volodymyr V.** — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Physics Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.