



# ІХ УКРАЇНСЬКА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ З ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ УНКФН–9

## ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ



Національна академія наук України  
Міністерство освіти та науки України  
Наукова рада з проблеми «Фізика напівпровідників  
і діелектриків» при Відділенні фізики і астрономії  
Національної академії наук України  
Українське фізичне товариство  
Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України  
Ужгородський національний університет  
Інститут електронної фізики НАН України

*Конференція присвячена 120-річчю  
з дня народження академіка Лашкарьова В.Є. і  
100-річчю з дня народження проф. Чепура Д.В.*

**ІХ УКРАЇНСЬКА НАУКОВА  
КОНФЕРЕНЦІЯ З ФІЗИКИ  
НАПІВПРОВІДНИКІВ  
УНКФН–9**

**IX UKRAINIAN SCIENTIFIC  
CONFERENCE ON PHYSICS  
OF SEMICONDUCTORS  
(USCPS-9)**

**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ  
ABSTRACTS**

Ужгород, Україна  
22 - 26 травня 2023

Uzhhorod, Ukraine  
May 22-26, 2023

**УДК 537.311.322(063)**

**П 26**

**9-та Українська наукова конференція з фізики напівпровідників. Матеріали конференції. – Ужгород: ТОВ "Рік-У", 2023. – 396 с.**

Дана збірка містить тези доповідей 9-ї Української наукової конференції з фізики напівпровідників (УНКФН-9) за участі зарубіжних науковців. Матеріали відображають зміст доповідей конференції, у яких викладені нові результати, стан і перспективи досліджень в області фізики напівпровідників за основними напрямками: нові фізичні явища в об'ємі та на поверхні напівпровідників, фізичні явища у низькорозмірних структурах, фізика напівпровідникових приладів, проблемні питання мікро- та наноелектроніки, сучасні фізико-технічні аспекти напівпровідникової сенсорики та оптоелектроніки, надвисокошвидкісна та терагерцова електроніка, матеріалознавство, технології та діагностика напівпровідникових матеріалів.

У збірці надруковані тези пленарних, запрошених, усних та стендових секційних доповідей. Більша частина відповідних повних доповідей за рекомендацією програмного комітету і редакційної колегії конференції буде опублікована в тематичних випусках наукових журналів: "Український фізичний журнал", "Журнал фізичних досліджень", "Semiconductor Physics Quantum Electronics & Optoelectronics", "Функціональні матеріали", "Технология и конструирование в электронной аппаратуре", "Фотоелектроніка", "Сенсорна електроніка і мікросистемні технології".

**УДК 537.311.322(063)**

Видання тез доповідей здійснено з авторських оригіналів, підготовлених до друку Програмним комітетом і редакційною колегією конференції.

Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова НАН України (протокол № 8 від 3 травня 2023 р.).

**Редакційна колегія:**

Головний редактор О.Є. Беляєв

**Члени редколегії:**

В.О. Кочелап

О.В. Стронський

С.М. Левицький

Р.А. Редько

В.І. Смоланка

В.М. Міца

**ISBN 978-617-8276-25-6**

© ТОВ "Рік-У", 2023

© Інститут фізики напівпровідників  
ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, 2023

© Ужгородський національний університет, 2023

## Вплив електричного поля на енергетичний спектр напівсферичних квантових точок

Головацький В.А., Головацький І.В., Маханець О.М.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,  
вул. Коцюбинського 2, 58012 Чернівці, Україна, e-mail: ktf@chnu.edu.ua

Напівпровідникові квантові точки – наночастинки, які володіють унікальними властивостями та відкривають широкі можливості для удосконалення відомих та створення нових оптоелектронних пристроїв. У залежності від методів вирощування квантові точки можуть мати різну форму. Методами колоїдного синтезу отримують квантові точки сферичної форми, методами епітаксії та літографії – наноструктури пірамідальної, куполоподібної та інших складніших геометричних форм.

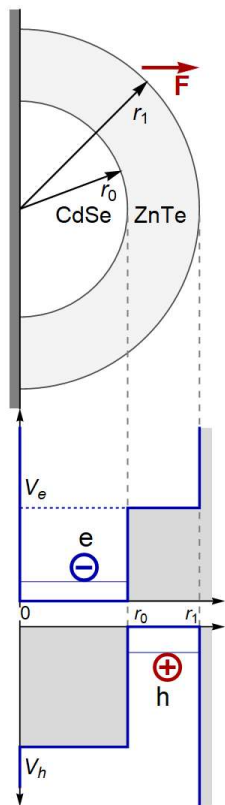
Для теоретичних досліджень оптичних властивостей наноструктур часто використовують метод ефективних мас, який в окремих випадках дозволяє отримати енергетичний спектр та хвильові функції квазічастинок в аналітичному вигляді як точні розв'язки рівняння Шредінгера. Коли точні розв'язки знайти не вдається використовують такі наближені методи, як варіаційний чи теорії збурень, які дозволяють розрахувати декілька найнижчих енергетичних рівнів. Для отримання повного енергетичного спектру використовують числові методи розв'язку диференціальних рівнянь з частинними похідними, такі як метод скінченних різниць та метод кінцевих елементів.

Ще один метод, який дозволяє отримати розв'язки рівняння Шредінгера є метод розкладу хвильової функції в ортогональному базисі. Найбільш зручно використовувати у якості ортогонального базису власні функції основної частини гамільтоніану. У такому випадку можна обмежитись невеликою кількістю доданків у розкладі хвильової функції. Цим методом досліджено вплив зовнішніх полів на енергетичний спектр квазічастинок у багат шарових сферичних наносистемах. Отримані енергії квазічастинок з великою точністю збігаються з результатами числового моделювання в системі COMSOL-Multiphysics [1].

У даній роботі методом розкладу хвильової функції досліджено вплив зовнішнього однорідного електричного поля на енергетичний спектр та хвильові функції електронів та дірок в напівсферичній квантовій точці (НСКТ), що складається з ядра (CdSe) та оболонки (ZnTe), розміщених на плоскій непроникній для квазічастинок підкладці (рис.1).

$$\psi_{jm}^{e,h}(\vec{r}) = \sum_{n,l} c_{nlm}^{jm} \Phi_{nlm}^{e,h}(\vec{r}). \quad (1)$$

Для цього побудовано ортогональний базис на основі точних розв'язків рівняння Шредінгера для електрона  $\Phi_{nlm}^e(\vec{r})$ , локалізованого в ядрі CdSe, та дірки  $\Phi_{nlm}^h(\vec{r})$ , локалізованої в шарі ZnTe.



Функції  $\Phi_{nlm}^{e,h}(\vec{r})$  є точними хвильовими функціями для квазічастинок у відповідній сферичній квантовій точці, які задовольняють граничну умову рівності нулю на межі квантова точка – підкладка.

В роботі отримано залежності енергетичного спектру електронів та дірок від напруженості електричного поля, перпендикулярного до підкладки. На їх основі розраховано енергії та сили осцилятора міжзонних квантових переходів.

Показано, що на відміну від сферичних квантових точок у НСКТ вплив електричного поля на енергії та сили осциляторів міжзонних квантових переходів залежить від напрямку напруженості електричного поля. Це видно з рис.2, де наведено залежність енергії найнижчих квантових переходів між станами електрона ( $j_e m_e$ ) та дірки ( $j_h m_h$ ) від напруженості електричного поля.

Крім цього на вставках рис.2. показано вигляд хвильових функцій електрона та дірки  $\psi_{jm}^{e,h}(\vec{r})$  при різних значеннях напруженості електричного поля.

Рис. 1. Геометрична та потенціальна схема НСКТ.

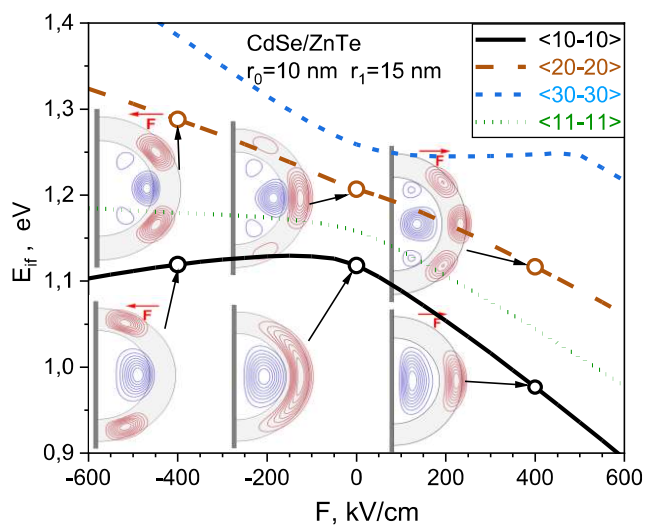


Рис. 2. Залежність енергій міжзонних квантових переходів в НСКТ від напруженості електричного поля.

З рис.2. видно, що електричне поле значно більше впливає на розподіл густини ймовірності розміщення дірки ніж електрона. У розкладі (1) беруть участь базисні

функції, які описують стани з енергією близькою до енергії результуючого збуреного стану. Це проявляється на силах осциляторів квантових переходів, які визначаються інтегралами від перекриття хвильових функцій квазічастинок.

1. Chubrei, M. V., Holovatsky, V. A., & Duque, C. A. *Philosophical Magazine*, 2021, 101(24), P.2614–2633.