

2007

# Семінар

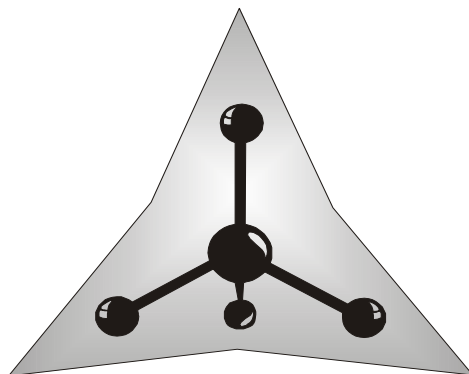
**«ФІЗИКА НАНОСТРУКТУР  
ТА СИСТЕМ  
ІЗ СИЛЬНИМИ  
ЕЛЕКТРОННИМИ  
КОРЕЛЯЦІЯМИ»**

Тези доповідей

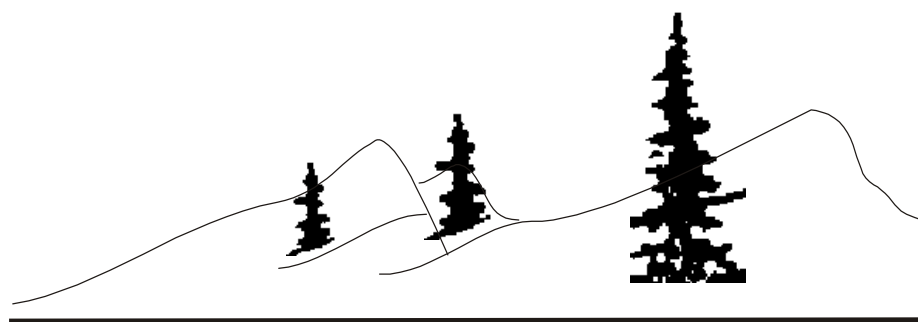


**Дрогобич, Україна**





**«ФІЗИКА НАНОСТРУКТУР  
ТА СИСТЕМ ІЗ СИЛЬНИМИ  
ЕЛЕКТРОННИМИ  
КОРЕЛЯЦІЯМИ»**



**ПРИКАРПАТТЯ**

**ДРОГОБИЧ, УКРАЇНА**

*25 травня 2007 року*

**Організатори**

**Секція фізики  
Західного наукового центру  
НАН і МОН України**

**Українське фізичне товариство**

**Дрогобицький державний  
педагогічний університет  
імені Івана Франка**

**Інформаційне забезпечення:**

**Інститут фізики конденсованих систем  
НАН України**

**Програма семінару**

**« ФІЗИКА НАНОСТРУКТУР  
ТА СИСТЕМ ІЗ СИЛЬНИМИ  
ЕЛЕКТРОННИМИ КОРЕЛЯЦІЯМИ »**

**25 травня 2007 року**

**Відкриття**

**10.00 – 10.20**

*Ректор Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, доктор філософських наук, професор Скотний Валерій Григорович*

**Вступні вітальні слова:**

- 1. Член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор Стасюк І. В.*
- 2. Член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор Блонський І.В.*

# **Доповіді**

**Голова засідання: І. В. Стасюк**

**10.30 – 11.10.**

**І.В. Блонський**

*ФЕМТОФОТОНІКА НАНОСТРУКТУР*

**11.10 – 11.30**

**А. С. Волошиновський**

*НАНОРОЗМІРНІ ЕФЕКТИ В ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ НАНООБ'ЄКТІВ*

**11.30 – 12.00**

**К а в а, ч а й**

**12.00 – 12.20**

**І.В. Стасюк, Т.С. Мисакович, О.В. Величко**

*ОПИС ДІЕЛЕКТРИЧНИХ АНОМАЛІЙ*

*ПРИ ІНТЕРКАЛЯЦІЇ НАПІВПРОВІДНИКІВ МЕТАЛАМИ*

**12.20 – 12.40**

**Б. А. Лукіянець**

*ШАРУВАТІ КРИСТАЛИ ЯК НАНООБ'ЄКТИ*

**12.40 – 13.00**

**В. І. Бойчук, І. В. Білінський, І. О. Шаклеїна**  
*ЕЛЕКТРОННІ ТА ДІРКОВІ СТАНИ У ЛАНЦЮЖКУ  
СФЕРИЧНИХ КВАНТОВИХ ТОЧОК*

**13.00 – 13.20**

**Р. М. Пелешак, О. В. Кузик**  
*ФОРМУВАННЯ  $n-n^+$  ПЕРЕХОДІВ У ШИРОКОЗОННИХ  
НАПІВПРОВІДНИКАХ ІЗ СИНЕРГЕТИЧНИМИ НАНОКЛАСТЕРАМИ*

**13.20 – 14.30**

Обід

## **Доповіді**

**Голова засідання: Б. А. Лукіянець**

**14.30 – 14.50**

**Д. М. Фреїк**  
*ТЕХНОЛОГІЇ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ*

**14.50 – 15.10**

**І.М. Мриглов, В.М. Цмоць, В.В. Соколов**  
*МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ ФЕРОМАГНІТНИХ НАНОЧАСТИНОК У  
НЕМАГНІТНІЙ МАТРИЦІ*

**15.30 – 15.50**

**М. В. Ткач, О. М. Маханець, А. М. Грищук, Ю. О. Сеті**

*ЕЛЕКТРОНИ, ЕКСИТОНИ І ФОТОНИ У СКЛАДНИХ КОМБІНОВАНИХ  
НАНОГЕТЕРОСИСТЕМАХ*

**15.50 – 16.10**

**І. І. Григорчак**

*ІНТЕРКАЛЯЦІЯ В НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЯХ ЕНЕРГОНАКОПИЧЕННЯ  
ТА ФОРМУВАННЯ НАНОСТРУКТУР З МАТРИЧНОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ*

**16.10 – 16.30**

**З. Ю. Готра, В. В. Черпак**

*ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ  
БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ СЕНСОРІВ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН НА  
ОСНОВІ РІДКОКРИСТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ*

**16.30 – 17.00**

**Кава, чай**

**17.00 – 17.20**

**В. А. Головацький, В. І. Гуцул**

*АКСІАЛЬНІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ ГЕТЕРОСТРУКТУРИ ВЗДОВЖ  
ЕЛІПТИЧНОГО КВАНТОВОГО ДРОТУ*



**17.20 – 17.40**

**Ю.І. Дубленич**

*СПІВІСНУВАННЯ ДВОХ УПОРЯДКОВАНИХ ФАЗ У МОДЕЛЯХ  
ГРАТКОВОГО ГАЗУ ДЛЯ ІНТЕРКАЛЬОВАНИХ СПОЛУК З  
ВІДШТОВХУВАЛЬНОЮ ЕФЕКТИВНОЮ ВЗАЄМОДІЄЮ  
ІНТЕРКАЛЬОВАНИХ ЧАСТИНОК*

**17.40 – 18.00**

**О. Крамар, Л. Дідух, Ю. Скоренький**

*РОЛЬ ФОРМИ ГУСТИНИ ЕЛЕКТРОННИХ СТАНІВ У СТАБІЛІЗАЦІЇ  
ФЕРОМАГНЕТИЗМУ ВУЗЬКОЗОННОГО МАТЕРІАЛУ*

**18.00 – 18.20**

**А. М. Грищук, О. М. Маханець, О. М. Войцехівська,**

**Р. Б. Фартушинський**

*СПЕКТР ЕЛЕКТРОНА, ДІРКИ ТА ЕКСИТОНА У КВАНТОВИХ ДРОТАХ З  
ШЕСТИКУТНИМ ПЕРЕРІЗОМ*

**18.30**

**ОБГОВОРЕННЯ ДОПОВІДЕЙ.**

**ЗАКРИТТЯ СЕМІНАРУ.**

## ФЕМТОФОТОНІКА НАНОСТРУКТУР

І.В. Блонський

*Інститут фізики НАНУ, 03028, м. Київ, Проспект науки, 46,  
[blon@iop.kiev.ua](mailto:blon@iop.kiev.ua)*

В оглядовій доповіді будуть висвітлені такі основні питання:

1. Принципи досягнення лазерних імпульсів фемтосекундної ( $n \cdot 10^{-15}$  с) тривалості і особливі властивості цього випромінювання.
2. Методичні можливості Центру колективного користування НАН України «Лазерний фемтосекундний комплекс».
3. Створені авторським колективом Центру прецизійні часороздільні методики, функціонуючі по принципу «pump-probe», для дослідження наведеного поглинання (відбивання) світла, затриманої в часі люмінесценції та наведених змін показника заломлення і фотоструктурних перетворень речовини.
4. Приклади задач, які демонструють особливості взаємодії надкоротких зверхпотужних світлових імпульсів з наноматеріалами, які стали базою розвитку нового наукового напрямку — фемтофотоніки наноструктур.

## НАНОРОЗМІРНІ ЕФЕКТИ В ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ НАНООБ'ЄКТІВ

Волошиновський А.С.

*Львівський національний університет імені Івана Франка, фізичний  
факультет,  
Кирила і Мефодія, 8, Львів, 79005*

Нанорозмірні ефекти дозволяють модифікувати оптичні властивості матеріалів. Один з проявів ефектів – квантоворозмірний ефект, який приводить до квантування енергетичних рівнів електронних збуджень і, таким чином, дозволяє модифікувати енергетичні параметри нанооб'єктів. Для люмінесцентних наноматеріалів особливо цікавим є виникнення стану когерентних екситонів, що супроводжується появою надвипромінювання. Поряд із згаданими ефектами суттєвим є вплив поверхні наночастинки на люмінесцентні параметри.

Особливо яскраво нанорозмірні ефекти проявляються в екситонній люмінесценції напівпровідників, у випадку коли розміри екситона є співмірні із розміром наночастинки. Для наночастинок  $\text{CsPbCl}_3$ , вкраплених у  $\text{CsCl}$ , спостерігається високоенергетичний зсув максимуму свічення вільних екситонів. В наночастинках  $\text{CsPbCl}_3$  розміром 3 нм виникають стани когерентних екситонів, які випромінюють із часами загасання люмінесценції  $\tau=50$  пс, що значно менше від часів загасання характерних для об'ємних зразків ( $\tau=500$  пс для об'ємних кристалів  $\text{CsPbCl}_3$ ). Для вкраплених наночастинок безвипромінювальні втрати на поверхні наночастинок є несуттєві. Навпаки, в області екситонних піків відбивання спостерігається підвищення виходу люмінесценції, тоді як для об'ємних кристалів ефективність збудження люмінесценції в цій області є низькою.

Подібні прояви квантово-розмірного ефекту та станів когерентних екситонів виявлено в цілому ряді свинцевовмісних наночастинок  $\text{APbX}_3$  ( $\text{A}=\text{Cs}, \text{Rb}$ ;  $\text{X}=\text{Cl}, \text{Br}$ ), вкраплених в діелектричні матриці  $\text{AX}$  ( $\text{A}=\text{Cs}, \text{Rb}, \text{K}$ ;  $\text{X}=\text{Cl}, \text{Br}$ ).

У випадку активаторної люмінесценції, вкраплених активованих наночастинок, розміри наночастинок впливають на часи загасання рекомбінаційної люмінесценції. Так, для мікрофази  $\text{K}_2\text{LaCl}_5\text{-Ce}$ , вкрапленої в  $\text{KCl}$ , скорочується вклад довготривалих компонент загасання люмінесценції в сцинтиляційний імпульс. Це може бути обумовлено зменшенням кількості дефектів у мікрофазі у порівнянні із її об'ємним аналогом, а також скороченням довжини вільних пробігів носіїв заряду.

На противагу до вкраплених наночастинок для активаторної люмінесценції вільних наночастинок суттєвим є вплив поверхні наночастинок. Для наночастинок  $\text{LaPO}_4\text{-Ce}$  розміром 20 нм це позначається на зменшенні виходу люмінесценції та скороченні часів загасання активаторної та рекомбінаційної люмінесценції.

# ОПИС ДІЕЛЕКТРИЧНИХ АНОМАЛІЙ ПРИ ІНТЕРКАЛЯЦІЇ НАПІВПРОВІДНИКІВ МЕТАЛАМИ

І.В. Стасюк, Т.С. Мисакович, О.В. Величко

*Інститут фізики конденсованих систем НАН України,  
вул. Свенціцького, 1, 79011 Львів, Україна*

В рамках ґраткових моделей псевдоспінового та псевдоспін-електронного типу запропоновано теоретичний опис широкого класу діелектричних явищ, що пов'язані з інтеркаляцією напівпровідникових кристалів металами.

Експериментально встановлено [1,2], що при інтеркаляції кристалів селеніду галію та індію нікелем в них виникає електретна поляризація. Це явище стає помітним лише при малих концентраціях інтеркалянта. Зокрема, для обох кристалів у близьких областях концентрації спостерігаються піки на температурних залежностях діелектричної проникливості. Найбільш імовірною першопричиною даного ефекту є упорядкування локальних квазідиполів, спричинене перерозподілом атомів інтеркалянта між октаедричними та тетраедричними позиціями. Для теоретичного опису такої системи створено мікроскопічну чотиристанову ґраткову модель. В її рамках вдалося відтворити пікоподібну поведінку поляризації при зміні хімічного потенціалу інтеркалянта та особливості температурної поведінки поперечної діелектричної сприйнятливості.

При описі інтеркаляції іонів літію в напівпровідники типу  $TiO_2$  використано псевдоспін-електронну модель з двома орбітальними станами на вузлі. Взаємодія електронів з іонами приводить до зсуву електронних зон при інтеркаляції а також до формування ефективної взаємодії між інтеркальованими іонами. В наближенні середнього поля виявлено можливість фазових переходів у системі, пов'язаних зі стрибкоподібною зміною концентрації інтеркальованих іонів та аномальним зростанням електростатичної ємності системи.

1. Mintyanskii I.V., Grygorchak I.I., Kovalyuk Z.D., Gavrylyuk S.V., *Sov Phys Solid State*, **28** 1263 (1986).
2. Grygorchak I., Voitovych S., Stasyuk I., Velychko O., Menchyshyn O., *Condens. Matter Phys.*, **10** 51 (2007).

## ШАРУВАТІ КРИСТАЛИ ЯК НАНООБ'ЄКТИ

Лукіянець Б.А.

*Національний університет “Львівська політехніка”*

*Україна, Львів, вул.Бандери,12*

*e-mail lukbog@ua.fm*

Робота складається з двох частин. У першій з них аналізується критерій нанооб'єкта, зокрема, акцентується на такій його стороні як енергетичні характеристики і нанооб'єкта, і оточуючого його середовища. Аналізуються мікроскопічні моделі опису нанооб'єкта, раніше апробовані у різних задачах фізики твердого тіла, і їх особливості у даному випадку.

Друга частина містить квантово-механічні задачі поведінки електрона в потенціалах, що моделюють нанооб'єкти, а саме, розв'язки одномірного стаціонарного рівняння Шредінгера в таких двох випадках:

i) проведено порівняння найнижчих енергетичних рівнів електрона у випадку потенціальних полів

$$U(x) = \begin{cases} U_0 \\ 0 \\ U_0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} U_0 \\ const \cdot x^2 \\ U_0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} U_0, x \in (-\infty, -a] \\ const \cdot x^2 + A_0 \cos(px), x \in [-a, a] \\ U_0, x \in [a, \infty) \end{cases}$$

a)                      b)                      c)

при переході від випадку a) до випадку c).

Усі ці потенціали можна розглядати як різні з певною логічною послідовністю наближення для опису нанооб'єкта. Випадок з потенціалом типу, що і a), можна розглядати як “жорсткий”, вирізаний з тіла однорідної ідеальної речовини, нанооб'єкт з розмірами  $2a$ , то b) як більш реальний об'єкт з краєвими ефектами і/або впливом оточуючого середовища на нанообласть. Випадок c) моделює дискретну “кристалічну” структуру або систему наночастинок.

ii) дослідження поведінки основного і першого збудженого станів електрона в наноструктурі з двох нанооб'єктів, яка моделюється одномірним W-подібним потенціалом, що описується аналітичною функцією а саме:

$$U(x) = -bx^2 + b(x-d)^4 \quad (1)$$

Тут  $d, b$  - деякі параметри. Зміною величини параметра  $d$  можна моделювати як взаємне розташування ям (мінімумів  $U(x)$ ), так і їх ширину.

Обговорюється питання застосовності отриманих якісних результатів до поведінки інтеркальованих атомів, як нанооб'єктів, у шаруватому кристалі.

# ЕЛЕКТРОННІ ТА ДІРКОВІ СТАНИ У ЛАНЦЮЖКУ СФЕРИЧНИХ КВАНТОВИХ ТОЧОК

В. І. Бойчук, І. В. Білінський, І. О. Шаклеїна

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка,  
вул. Івана Франка 24, Дрогобич, обл. Львівська 82100, e-mail: [bil\\_igor@mail.ru](mailto:bil_igor@mail.ru)

Самоорганізований ріст квантових точок (КТ) і квантових ниток (КН)  $(\text{In,Ga})\text{As}$  за механізмом Странського-Крастанова при молекулярно-променевої епітаксії напружених гетеросистем є одним з найбільш перспективних методів нанотехнології. Інтерес до таких систем викликаний перспективами їх застосування в оптоелектроніці. Важливим при цьому є однорідність розмірів та форми КТ і КН та їх впорядковане розміщення. Оскільки розмір КТ визначається площею, з якої «збираються» адатоми, підвищення однорідності розмірів КТ може бути реалізовано при впорядкованому розміщенні місць зародження КТ.



Для багат шарових структур  $(\text{In,Ga})\text{As}/\text{GaAs}$  можна реалізувати латеріальну вибудову КТ в ряди.

В даній роботі визначено енергетичний спектр електронів та дірок ланцюжків КТ  $\text{InAs}/\text{GaAs}$ ,  $\text{InAs}/\text{GaSb}$ ,  $\text{GaAs}/\text{AlAs}$ . Розглянуто квантові точки різної форми: сферичні, кубічні, еліптичні. Досліджено залежність енергії зарядів від хвильового вектора генезису енергетичного спектру, який пов'язаний зі зміною розмірів КТ та відстаней між ними.

# Формування $n-n^+$ переходів у широкозонних напівпровідниках із синергетичними нанокластерами

**Р.М.Пелешак, О.В.Кузик,**

**Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка,  
вул. Івана Франка 24, Дрогобич, обл. Львівська 82100, e-mail: [peleshchak@rambler.ru](mailto:peleshchak@rambler.ru)**

За допомогою зовнішніх чинників є можливим створювати точкові дефекти – міжвузлові атоми та вакансії, а також керувати їх кількістю, змінюючи інтенсивність джерела опромінення. Крім цього такі дефекти можуть виникати в процесі росту напівпровідникових сполук, який супроводжується захопленням з надлишком одного з компонентів сполуки. Взаємодія точкових дефектів кристалу із полем деформації, зумовленої наявністю точкових дефектів, призводить до утворення впорядкованих дефектно – деформаційних (ДД) структур [1]: кластерів і періодичних структур. Наявність неоднорідної деформації в кристалі з точковими дефектами, внаслідок самоузгодженого електрон-деформаційного зв'язку [2], призводить до просторового перерозподілу електронів провідності  $\Delta n(x)$  та виникнення електростатичного потенціалу  $\varphi(x)$  в околі деформаційно-дефектних структур. Для знаходження  $\Delta n(x)$  та  $\varphi(x)$  розв'язувалась самоузгоджена система наступних рівнянь:

рівняння, яке визначає концентрацію дефектів; нелінійне неоднорідне диференціальне рівняння для деформації; рівняння, яке визначає концентрацію електронів; рівняння Пуассона; рівняння Шредінгера.

При малих дозах опромінення кристалу не відбувається утворення самоорганізованих кластерів. При збільшенні концентрації дефектів

$$N_d > \frac{\rho c_l^2 kT}{\theta_d^2} \left( \frac{l_0}{l_d} \right)^2 \quad (\rho - \text{густина середовища, } c_l - \text{поздовжня швидкість звуку, } \theta_d -$$

потенціал деформації,  $l_d$  і  $l_0$  – характеристична довжина взаємодії дефектів з атомами кристалу та атомів один з одним) в кристалі відбувається їх нелінійна взаємодія, в результаті чого утворюється антисиметричний та симетричний кластери. За рахунок самоузгодженого електрон-деформаційного зв'язку відбувається перерозподіл електронної густини і утворюється потрійний електричний шар. При дальшому зростанні концентрації дефектів

$$(N_d > \frac{\rho c_l^2 kT}{\theta_d^2} \left( 1 - \frac{S^2 R_S}{\rho c_l^2} \right)), \text{ де } S - \text{константа деформаційного потенціалу зони}$$

провідності,  $R_S$  – функція, яка залежить від ступеня заповнення зони провідності електронами) відбувається періодичний перерозподіл електронної густини та виникнення електростатичного періодичного потенціалу. Причиною цього є утворення сильно ангармонічних періодичних ДД – структур. У даному випадку в кристалі виникають послідовно сполучені  $n - n^+$  – переходи. Період  $n - n^+$  переходів та розмір кожного електричного шару визначається концентрацією дефектів, константою деформаційного потенціалу, концентрацією електронів та пружними сталими.

1. V.I.Emel'yanov, I.M.Panin // Laser Physics. – 1996. – 6, №5. – P.971-978.
2. I.B.Стасюк, Р.М.Пелешак. // УФЖ. – 1994. – 39, №7. – С.856-863.

# МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ ФЕРОМАГНІТНИХ НАНОЧАСТИНОК У НЕМАГНІТНІЙ МАТРИЦІ

I.M. Мриггод<sup>1</sup>, В.М. Цмоць<sup>2</sup>, В.В. Соколов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут фізики конденсованих систем НАНУ,  
вул. Свінціцького 1, м. Львів, 79011, Україна.  
E-mail: sokol@icmp.lviv.ua

<sup>2</sup>Міжвідомча лабораторія Дрогобицького державного педагогічного університету ім. І. Франка

В останні роки велика увага приділяється дослідженню систем, до складу яких входять ферромагнітні включення субмікронних розмірів. Цей інтерес стимульований широкими можливостями застосування таких матеріалів у багатьох сферах людського життя, зокрема для ущільнення магнітного запису, розробки нанокаталізаторів в хімічній промисловості, транспортування ліків у медицині тощо. Теорія таких систем активно почала розвиватися наприкінці ХХ ст., однак досі в силу необхідності врахування ефектів полідисперсності, анізотропії і дипольного характеру взаємодії, вона все ще залишається далекою до завершення.

На базі найпростішої моделі таких систем – моделі Стонера-Вольфарта – нами досліджено рівноважні властивості гранулярних магнетиків. Одержана залежність намагніченості і магнітної сприйнятливості від температури при різних орієнтаціях осей магнітної анізотропії та величинах зовнішнього магнітного поля і анізотропії.

Показано, що в залежності від розподілу напрямків орієнтації осей магнітної анізотропії окремих частинок температура поведінки сприйнятливості може суттєво відрізнятися. Так у випадку анізотропного розподілу на цій функції спостерігається максимум, що відсутній для систем з ізотропним розподілом.

Нами досліджено також вплив різних конфігурацій анізотропії у високотемпературній області. Для системи частинок з однаковим напрямком осей магнітної анізотропії продовження лінійних ділянок кривих залежності оберненої магнітної сприйнятливості від температури до перетину з віссю температур залежить від кута між напрямом зовнішнього магнітного поля і осями анізотропії. При випадково орієнтованих осях анізотропії усі асимптоти проходять через нуль температури.

Показано, що полідисперсність частинок за розмірами приводить до розмиття піку магнітної сприйнятливості і цей ефект залежить від характеристик відповідного розподілу. У доповіді будуть також обговорюватися питання про врахування ефектів взаємодії між частинками і їх впливу на магнітні властивості системи в цілому.



## ЕЛЕКТРОНИ, ЕКСИТОНИ І ФОНОНИ У СКЛАДНИХ КОМБІНОВАНИХ НАНОГЕТРОСИСТЕМАХ

М.В.Ткач, О.М.Маханець, А.М.Грищук, Ю.О.Сеті

*Чернівецький національний університет ім.Ю.Федьковича*

Теорія енергетичних спектрів основних квазічастинок (електронів, фононів, екситонів) у складних "закритих" сферичних і циліндричних наногетросистемах на даний час в основному сформована [1] і досягає не тільки якісного, але і непоганого кількісного узгодження з експериментом.

Що ж до квазістаціонарних станів у "відкритих" наногетросистемах, то це питання також вирішене для систем зі сферичною симетрією, де методом S-матриці вдається не тільки отримати енергії та хвильові функції електронів і дірок, але й побудувати теорію взаємодії цих квазічастинок між собою та з поляризаційними коливаннями, що виникають у таких системах [2].

Що ж до спектрів основних квазічастинок у складних комбінованих "відкритих" та "закритих" наногетросистемах, які можуть містити різномантні комбінації квантових точок, дрітів та ям, то така теорія лише починає розвиватися [3, 4]. Математична складність такої задачі, в загальному випадку, обумовлена не лише громіздкістю, але й складністю граничних умов, яким повинна задовольняти хвильова функція квазічастинки при її русі в наносистемі. Тому важливо дослідити особливості поведінки енергетичного спектра квазічастинок хоча б у порівняно простих системах.

Така задача розв'язується на прикладі трьох просторових моделей:

1. Напівпровідниковий квантовий дріт у масивному тривимірному середовищі, що містить квантову точку, відділену від іншої частини квантового дроту двома однаковими антиточками з потенціальними бар'єрами скінченої висоти;
2. Циліндрична квантова точка і циліндрична квантова антиточка, що розташовані в плоскій квантовій ямі, яка, в свою чергу, знаходиться в масивному тривимірному середовищі;
3. Циліндричний квантовий дріт, що перпендикулярно перетинає безмежну плоску квантову яму, утворюючи на перетині циліндричну квантову точку.

У роботі досліджено залежності спектральних характеристик квазічастинок від геометричних параметрів усіх типів наносистем.

1. Ткач М.В., Квазічастинки у наногетросистемах. Квантові точки та дроти (Рута, Чернівці 2003)
2. Н.В.Ткач, Ю.А.Сеті ФТП.-2006.-Т.40.-№9.-с.1111-1119.
3. 4. Н.В. Ткач, А.М.Маханець ФТТ.-2005.-Т.47.-№3.-с.550-555.
4. М.В.Ткач, О.М.Маханець, А.М.Грищук УФЖ 2005. Т. 50, №12. С. 1288 – 1295.

# ІНТЕРКАЛЯЦІЯ В НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЯХ ЕНЕРГОНАКОПИЧЕННЯ ТА ФОРМУВАННЯ НАНОСТРУКТУР З МАТРИЧНОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ

Григорчак І. І.

*Національний університет „Львівська політехніка”,  
79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12. e-mail : [Ivangr@rambler.ru](mailto:Ivangr@rambler.ru)*

Сьогодні відомо, що нанометровий діапазон виміру відкриває світ нових властивостей речовини. Однак ще не з'ясовані перспективи його прояву в галузі відновлюваної енергетики та технологій енергозбереження.

В роботі показано, що інтеркаляція як струмоутворююча реакція для матеріалів з “гостьовими” позиціями особливо ефективна для нанорозмірних систем. Більше того, доведено, що нанорозмірність енергонакопичувальних часток дає змогу застосовувати ті речовини, які поза наномасштабом не могли бути використані на практиці для електрохімічного генерування енергії, по крайній мірі, шляхом літій - інтеркаляційних реакцій. Саме завдяки нанорозмірності вперше досягнуто гранично можливого значення питомої ємності для катодів літєвих джерел струму. Інтеркаляція також може ефективно застосовуватися як “наноманіпулятор” в кристалоінженерії, надаючи потрібних змін термодинамічним та кінетичним параметрам вихідних матриць. Останнє дозволило отримати високоефективні катодні матеріали методом інтеркаляційної модифікації екологічно чистих природніх мінералів.

Практичне застосування нанорозмірних ефектів в нанoeлектроніці часто спряжене з технологічними труднощами, пов'язаними з коагуляцією наносистем та проблемами комутації функціональних блоків у наноструктурах, сформованих за висхідною технологією. Інтеркаляція дозволяє в достатньо повній мірі розв'язувати дану проблему шляхом формування наноструктур з матричною ізоляцією. Створені перші наноструктури для прямого перетворення і нагромадження сонячної енергії - фотоакумулятор з робочою напругою 1,5÷2,0 В; для роботи в колах постійного струму - твердотільний суперконденсатор з густиною ємності ~ 800 Ф/см<sup>3</sup>; для роботи в колах змінного струму - фільтруючий конденсатор з параметрами: 100 ÷ 500 мФ/см<sup>3</sup> при tgδ = 0,1÷0,5 у діапазоні частот 50 Гц ÷ 50 кГц. Розроблена технологія формування фоточутливих наноструктур з почерговими напівпровідниковими і магнітоактивними нанопрошарками в яких реалізуються додатній і від'ємний гігантський магніторезистивні ефекти при кімнатній температурі і напруженості магнітного поля 0,5 кОе :  $\delta_H = [\rho(H) - \rho(0)]/\rho(H)$ , (де  $\rho(0)$  - опір електричному струмові при відсутності магнітного поля,  $\rho(H)$  - електроопір в магнітному полі напруженості H) ~ 85% для додатнього і вищий для від'ємного.

# ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ СЕНСОРІВ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН НА ОСНОВІ РІДКОКРИСТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Готра З.Ю.<sup>1,2</sup>, Черпак В.В.<sup>1</sup>

*1* Національний університет “Львівська Політехніка”, вул. С.Бандери, 12, Львів, 79013

*2* Жешувський технологічний університет, вул. В. Пола, 2, 35-95, Жешів, Польща

Рідкокристалічні матеріали та електрооптичні ефекти в них знаходять широке застосування в сенсорних пристроях як оптично активні матеріали. Перспективним є їх застосування в системах волоконно-оптичний елемент – рідкий кристал в яких використовується зміна орієнтації молекул рідкого кристалу під впливом зовнішніх факторів, а саме температури, тиску електричного та магнітного полів. Ці явища можуть бути покладені в основу створення багатофункціональних сенсорів.

Нами досліджувались характеристики рідкокристалічних матеріалів, а саме зміна орієнтації молекул рідкого кристалу під дією зовнішнього чинників (температури, тиску, електричного та магнітного полів), з метою використання результатів досліджень для створення волоконнооптичних багатофункціональних рідкокристалічних сенсорів. Як елемент передачі оптичного сигналу використовували багатомодове оптичне волокно виготовлене з діоксиду кремнію, з вікном прозорості на довжині хвилі 850нм з геометричними розмірами 62,5/125/1800 мкм серцевина/оболонка/захисне відповідно. Як активне реєструюче середовище обрано нематичний рідкий кристал 5СВ. Підготовка чутливого елемента волоконно-оптичного сенсора, тобто модифікованої ділянки сенсора, проводилася в два основні етапи: усунення оболонки оптичного волокна (травлення) і створення активного елемента (рідкокристалічної комірки, в яку поміщали витравлену ділянку волокна).

Проведено моделювання роботи сенсора фізичних величин на базі рідких кристалів зі змінним показником заломлення під дією температури, тиску, електричного та магнітного полів. В рамках запропонованої моделі, побудованої на основі розрахунку зміни інтенсивності світлового сигналу при проходженні через світловод з рідкокристалічною зовнішньою оболонкою, пояснено фізику роботи запропонованих структур сенсорів на основі в зміні діелектричної анізотропії рідкокристалічного матеріалу, зумовленій переорієнтацією рідкокристалічних молекул під дією зовнішніх чинників.

# АКСІАЛЬНІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ ГЕТЕРОСТРУКТУРИ ВЗДОВЖ ЕЛІПТИЧНОГО КВАНТОВОГО ДРОТУ

Головацький В.А., Гуцул В.І.

*Чернівецький національний університет ім.Ю.Федьковича  
58012, м.Чернівці, вул. Коцюбинського, 2*

Напівпровідникові квантові дроти є предметом інтенсивних теоретичних та експериментальних досліджень останніх років. При цьому, теорія енергетичних спектрів квазічастинок у подібних наносистемах в основному розробляється для циліндричних нанодротів [1,2]. Проте, у багатьох випадках поперечний переріз квантового дроту має еліптичну форму внаслідок анізотропії або деформації напівпровідникового кристалу [3,4]. Отже, існує необхідність теоретичних досліджень спектрів носіїв заряду в еліптичних квантових дротах.

У даній роботі, використовуючи модель прямокутних потенціальних бар'єрів та наближення ефективних мас, досліджено енергетичні спектри електрона в різних аксіальних напівпровідникових гетероструктурах на основі GaAs/Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As та HgS/CdS, що розташовані в еліптичних квантових дротах, які поміщені в діелектричне середовище.

Для відкритої квантової точки HgS, обмеженої двома бар'єрами CdS вздовж еліптичного нанодроту HgS, отримано залежності енергій та часів життя квазістаціонарних станів електрона від геометричних розмірів наносистеми та від еліптичності квантового дроту. У випадку виродження еліптичного нанодроту у циліндричний, одержані результати збігаються з відповідними результатами роботи [2].

Виконано розрахунок енергії електрона у двох тунельно зв'язаних квантових точках GaAs розташованих вздовж еліптичного квантового дроту Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As. Побудовано залежності спектра електрона у наносистемі від співвідношення півосей еліпса, геометричних розмірів квантових точок та товщини бар'єру між ними.

Досліджено спектр електрона у надгратці GaAs/Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>As вздовж еліптичного нанодроту. Одержано закони дисперсії квазічастинки та залежності ефективних мас в декількох найнижчих енергетичних зонах від співвідношення півосей еліпса та від товщини бар'єрів, які утворюють надгратку вздовж еліптичного квантового дроту.

Показано, що загальним для усіх трьох гетероструктур розглянутих у роботі є те, що спектр складається з серій рівнів, які відповідають парним та непарним станам електрона, які мають різну поведінку при зміні еліптичності дроту. У випадку виродження еліпса у коло, величини енергії парних та непарних станів збігаються.

1. S.Galeriu, L.C.Lew Yan Voon, et al. //Comp. Phys. Com., 157, 147 (2004).
2. Н.Ткач, А.Маханец //ФТТ, 47, 4, 550 (2005).
3. J.Hu, Y.Bando, et al. //Journal. Am. Chem. Soc., 125, 11306 (2003).
4. D.F.Urban, J.Burki, et al. //Solid State Com., 131, 609 (2004).

# СПІВІСНУВАННЯ ДВОХ УПОРЯДКОВАНИХ ФАЗ У МОДЕЛЯХ ГРАТКОВОГО ГАЗУ ДЛЯ ІНТЕРКАЛЬОВАНИХ СПОЛУК З ВІДШТОВХУВАЛЬНОЮ ЕФЕКТИВНОЮ ВЗАЄМОДІЄЮ ІНТЕРКАЛЬОВАНИХ ЧАСТИНОК

Ю.І. Дубленич

*Інститут фізики конденсованих систем НАН України,  
вул. Свенціцького, 1, 79011 Львів, Україна*

На основі аналізу основних станів досліджено можливість співіснування двох упорядкованих фаз в моделях ґраткового газу з двома сортами вузлів, на яких енергія частинки різна. Доведено, що в такому ґратковому газі фазовий перехід першого роду, а отже й співіснування двох упорядкованих фаз, можливі навіть за відштовхувальної взаємодії між частинками. Як приклад розглянуто ґратковий газ, що описує підсистему інтеркальованих йонів літію в сполуці  $\text{Li}_{1+\delta}[\text{Ti}_{5/3}\text{Li}_{1/3}]\text{O}_4$ , де вони можуть займати два сорти позицій: октаедричні й тетраедричні. Показано, що в цій сполуці відбувається розшарування на дві фази: збагачену літієм і бідну на літій. Існування двох сортів позицій для частинок інтеркаляту може призводити до двофазності й у багатьох інших інтеркальованих сполуках з відштовхувальною ефективною взаємодією між частинками.

Показано також, що двофазність за відштовхувальних взаємодій між частинками може виникати й у моделях ґраткового газу, де всі вузли еквівалентні, однак є два або більше різних станів частинки на вузлі (такі моделі еквівалентні Ізинговим спіновим моделям зі спіном  $S \geq 1$ ) [1].

[1] Yu. I. Dublanych, Phys. Rev. B **71**, 012411 (2005).

# РОЛЬ ФОРМИ ГУСТИНИ ЕЛЕКТРОННИХ СТАНІВ У СТАБІЛІЗАЦІЇ ФЕРОМАГНЕТИЗМУ ВУЗЬКОЗОННОГО МАТЕРІАЛУ

О.Крамар, Л.Дідух, Ю.Скоренький

*Тернопільський державний технічний університет ім. Івана Пулюя, кафедра фізики*

Як показали інтенсивні дослідження останніх років, феромагнітні властивості матеріалів з вузькою енергетичною зоною головним чином визначаються трансляційними та обмінними процесами в електронній підсистемі. Особливості густини електронних станів (ГС), форма якої визначається типом кристалічної ґратки, відіграють вирішальну роль при формуванні трансляційного механізму феромагнітного впорядкування.

В роботі досліджуються феромагнітні властивості вузькозонного матеріалу, який описується узагальненою невиродженою моделлю [1] з корельованим переносом та обмінною взаємодією електронів. В методі функцій Гріна із застосуванням варіанту узагальненого наближення Гартрі-Фока в режимі сильних кулонівських кореляцій отримано квазічастинковий енергетичний спектр, особливістю якого є наявність спін-залежного зсуву центрів підзон. З використанням спектру проведено розрахунок та дослідження властивостей намагніченості системи при довільних температурах при застосуванні різних форм ГС: прямокутної, напівеліптичної, ГС [2] з асиметрією на краю зони, ГС простої кубічної та об'ємноцентрованої кубічної ґраток.

Показано, що у випадку прямокутної ГС феромагнітне впорядкування виникає лише за умови наявності прямої обмінної взаємодії, причому магнітний момент є насиченим. В залежності від заповнення зони перехід у парамагнітний стан з ростом температури відбувається неперервно або стрибкоподібно; на основі дослідження магнітної сприйнятливості встановлено концентрацію, при якій змінюється типу переходу. У випадку напівеліптичної ГС насичений феромагнітний стан виникає для більш ніж напівзаповненої зони, температурні залежності мають стрибкоподібний характер, концентраційна залежність температури Кюрі характеризується нелінійною залежністю з максимумом, положення і висота якого визначаються величиною параметру прямого обміну. Виявлено, що при застосуванні ГС з асиметрією з'являється область ненасиченого феромагнітного впорядкування. Зсув максимуму ГС до дна зони при зростанні параметра асиметрії приводить до стабілізації феромагнітного впорядкування при суттєво нижчих електронних концентраціях та різко збільшує значення температури Кюрі.

*Дослідження виконуються за підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень, грант GP/F13/0073.*

[1] Didukh L., Kramar O. *Condens. Matter Phys.* **8**, 547 (2005).

[2] Vollhardt D. et al. *Z. Phys. B* **103**, 283 (1997).

# СПЕКТР ЕЛЕКТРОНА, ДІРКИ ТА ЕКСИТОНА У КВАНТОВИХ ДРОТАХ З ШЕСТИКУТНИМ ПЕРЕРІЗОМ

Гришук А.М., Маханець О.М., Войцехівська О.М., Фартушинський Р.Б.

Чернівецький національний університет ім. Ю.Федьковича

58012 м.Чернівці, вул. Коцюбинського, 2

Удосконалення техніки вирощування напівпровідникових квантово-розмірних наногетеросистем призвело до того, що на даний час вже є можливість створення наноструктур (квантових точок, квантових дротів) правильної геометричної форми.

Нещодавно, у роботі [1] експериментально досліджувався спектр люмінесценції гексагональної надгратки (рис. 1.а.), що утворена нанотрубками InP/InAs з поперечним перерізом правильної шестикутної форми (рис. 1.б.). Нанотрубки були вирощені методом металоорганічної епітаксії. Геометричні параметри системи такі, що висота нанотрубок  $L$  в сотні разів перевищує їхні поперечні розміри  $d$ . Отже, таку наносистему можна вважати надграткою квантових трубок нескінченної висоти.

У випадку, коли постійна надгратки квантових трубах  $a \gg d$ , можна вважати

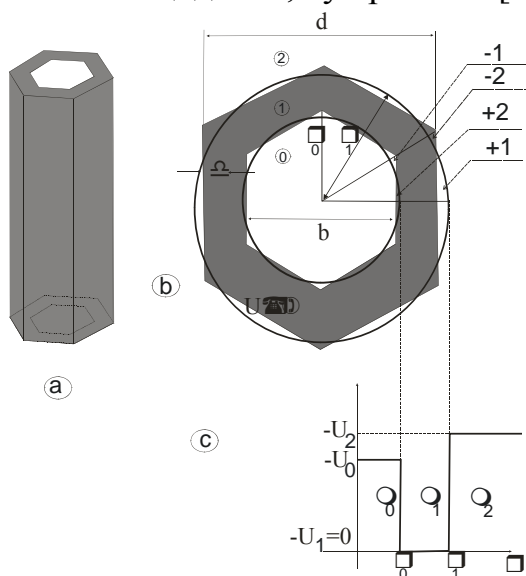


Рис.1. Геометричні схеми квантової трубки та (а,б) схема потенціальної енергії електрона (с) в наносистем.

практично ізольованими і виникає задача про енергетичний спектр електронів, дірок та екситонів у такій трубці.

У пропонованій роботі розроблена теорія електронного і екситонного спектрів у квантовій нанотрубці. Було запропоновано новий підхід до розв'язування такого класу задач який ґрунтується на застосуванні методу Бете. Це дозволило спростити задачу знаходження екситонного спектру в системах з досить складною будовою. Його використання дало змогу проводити теоретичний опис систем з гексагональною основою перерізу, що більше наблизило співпадання теорії з експериментом. Крім того універсальність цього методу дозволяє його використання для довільної системи з будь-яким перерізом основи.

1. P.Mohan, J.Motohisa, and T.Fukui, Nanotechnology, **16**,2903,(2005).

ДЛЯ НОТАТОК





Семінар  
«Фізика наноструктур та систем  
із сильними електронними кореляціями»  
Дрогобич, 25 травня 2007 р.

**Програма та тези семінару**

Інститут фізики конденсованих систем НАН України  
Львів, 2007