

ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ім. Ю. ФЕДЬКОВИЧА

На правах рукопису

МЕДИНСЬКИЙ

Сергій Володимирович

ЕФЕКТИ ОБМІННОЇ ВЗАЄМОДІЇ В КРИСТАЛАХ, ТОНКИХ ШАРАХ ТА  
КВАНТОВИХ СТРУКТУРАХ НА ОСНОВІ НАПІВМАГНІТНИХ НАПІВПРОВІДНИКІВ

01.04.10 - фізика напівпровідників та діелектриків

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата фізико-математичних наук

Чернівці - 1996



00753844 (V)

AB 35.783

Роботу виконано на кафедрі фізичної електроніки  
Чернівецького державного університету ім. Ю.Федьковича

Наукові керівники: Доктор фізико-математичних наук,  
професор Гавалешко Микола Петрович,  
доктор фізико-математичних наук  
г.н.сп. Савчук Андрій Йосипович

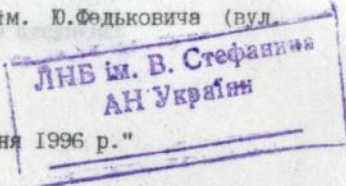
Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук,  
професор Беляев Олександр Євгенович  
  
доктор фізико-математичних наук,  
професор Ковалик Захар Дмитрович

Провідна організація: Львівський державний університет

Захист відбудеться 28 червня 1996 р. о 15 годині на  
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 07.01.06 при Чернівець-  
кому державному університеті ім. Ю.Федьковича (274012, м.Чернів-  
ці, вул.Університетська 19, велика фізична аудиторія).

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці  
Чернівецького державного університету ім. Ю.Федьковича (вул.  
Л.Українки, 23).

Автореферат розісланий "25 травня 1996 р."



Вчений секретар  
спеціалізованої ради

М.В.Курганецький

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми досліджень. За минулі два десятиліття напівпровідникові матеріали, леговані 3d-елементами з групи заліза та тверді розчини до складу яких входять такі елементи, сформувалися в окремий клас речовин, які отримали назву напівмагнітних напівпровідників. Зацікавленість в них носить як чисто науковий характер, так і стимулюється новими можливостями практичного застосування в оптоелектронних пристроях. Унікальність напівмагнітних напівпровідників полягає, перш за все, в тих можливостях значної перебудови їхнього енергетичного зонного спектру, які виникають вже в порівняно слабких зовнішніх магнітних полях. Було встановлено, що відповідальними за такі унікальні магнітооптичні явища, як велике зееманівське розщеплення зонних і екситонних станів та гігантський ефект Фарадея є обмінна взаємодія між делокалізованими спіновими моментами зонних носіїв та локалізованими моментами магнітних іонів (s,p-d обмінна взаємодія для напівпровідників типу  $A_{1-x}^2 M_n B^6$ ). Поряд з цим типом взаємодії суттєвою є також міжіонна d-d взаємодія. Але, якщо прояв ефектів зазначених обмінних взаємодій ґрунтовно вивчався для об'ємних кристалів напівмагнітних напівпровідників, то дослідження низькорозмірних систем на їх основі знаходиться поки ще на початковій стадії. Разом з тим, отримані попередні відомості по квантових ямах та спінових надґратках свідчать про радикальні зміни в оптичних та магнітооптичних властивостях при переході від трьохімерних 3D-систем до 2D-квантових структур. Практично залишаються не дослідженими і нульмірні системи в вигляді мікрокристалів напівмагнітних напівпровідників.

Виходячи з зазначеного, метою роботи було виявлення основних особливостей в ефектах s,p-d та d-d обмінних взаємодій в об'ємних

кристалах напівмагнітних напівпровідників та їх трансформацію при переході до квазі-двоірних та нульмірних квантових структур.

При цьому розв'язувалися наступні завдання:

1. Розробка технологічної методики і умов одержання монокристалів, тонких плівок та мікрокристалів напівмагнітних напівпровідників  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ,  $Cd_{1-x}Mn_xSe$ ,  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$ ;

2. Проведення комплексного дослідження оптичних (спектри відбивань, поглинання) та магнітооптичних (магнітопоглинання, магнітовідбивання, ефект Фарадея) властивостей монокристалів  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ,  $Cd_{1-x}Mn_xSe$ ,  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$  з точки зору прояву обмінних взаємодій;

3. Встановлення впливу квантоворозмірних ефектів на оптичні та магнітооптичні властивості тонких шарів та мікрокристалів напівмагнітних напівпровідників;

4. Розробка лабораторних макетів магнітооптичних пристроїв в основі роботи яких закладено s,p-d обмін в напівмагнітних напівпровідниках.

Наукова новизна роботи визначається такими основними результатами:

1. Вперше з використанням різних технологічних методів отримані мікрокристали напівмагнітних напівпровідників  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ,  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  та  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$ .

2. Показано, що зареєстрований короткохвильовий зсув краю поглинання для мікрокристалів  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  та  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  зумовлений квантово-розмірним ефектом.

3. Встановлено взаємовплив обмінних взаємодій та квантово-розмірного ефекту в OD напівмагнітних структурах, який супроводжується лінійною магнітопольовою залежністю зеєманівського розщеплення та фарадеївського кручення.

4. Вперше для мікрокристалів  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$  виявлено складну структу-

ру спектрів поглинання, яка інтерпретується квантово-розмірним ефектом на екситонах в мікрокристалах, які містять різну кількість окремих шарів типу I-Pb,Mn-I.

Практична значимість роботи. Отримані в роботі нові дані суттєво поглиблюють уявлення про оптоелектронні процеси в низькорозмірних системах на основі напівмагнітних напівпровідників.

Розроблені на принципі існування s,p-d обміну в кристалах напівмагнітних напівпровідників лабораторні макети волоконно-оптичних датчиків магнітного поля та оптичних ізоляторів можуть знайти подальше застосування в наукових дослідженнях та техніці. Датчики магнітного поля на напівмагнітних напівпровідниках вигідно відрізняються розширеною частотною смугою, а оптичні ізолятори - своєю компактністю від існуючих зразків цих оптоелектронних пристроїв.

Ступінь достовірності. Достовірність отриманих результатів базується на використанні сучасних експериментальних методик та комплексному характері досліджень і підтверджуються проведеними теоретичними розрахунками, порівняннями з відомими в літературі даними.

На захист виноситься:

1. Технологічні умови та методика отримання нульмірних квантових структур у вигляді мікрокристалів напівмагнітних напівпровідників з регульованим середнім розміром частинок, впроваджених в діелектричні матриці.
2. Результати комплексного дослідження оптичного поглинання, магнітопоглинання та ефекту Фарадея в монокристалах напівмагнітних напівпровідників, які трактується як прояв s,p-d та d-d обмінних взаємодій.
3. Особливості прояву s,p-d та d-d обмінних взаємодій в тонких

шарах та мікрокристалах напівмагнітних напівпровідників.

4. Отримана структура спектру поглинання мікрокристалів  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$  та запропонована для її пояснення модель конфаймент-ефекту на екситонах у мікрочастках, які містять різну кількість окремих шарів I-Pb,Mn-I.

5. Рекомендації по практичному використанню об'ємних кристалів  $A_{1-x}^{2+}Mn_xB^{5+}$  у волокняно-оптичних датчиках магнітного поля та оптичних ізоляторів.

Апробація роботи. Основні результати дисертації доповідались і обговорювались на: 9-й міжнародній конференції по потрійним і багатокомпонентним сполукам (Йокогама, 1993), 4-й міжнародній конференції з фізики і технології тонких плівок (Івано-Франківськ, 1993), Міжнародній конференції Eurosensors/VII (Будапешт, 1993), 38-й щорічній конференції по магнетизму і магнітним матеріалам (Міннеаполіс, 1993), 22-й міжнародній конференції по фізиці напівпровідників (Ванкувер, 1994), 6-й об'єднаній MMM-Intermag конференції (Альбукерк, 1994), 10-й міжнародній конференції по потрійним і багатокомпонентним сполукам (Штудгарт, 1995), 40-й щорічній конференції по магнетизму і магнітним матеріалам (Філадельфія, 1995), наукових семінарах кафедри фізичної електроніки.

Особистий внесок. Технологічні та експериментальні дослідження, співставлення з теоретичними розрахунками виконані автором особисто або при його безпосередній участі. Основні положення та висновки дисертації належать її автору.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 17 друкованих праць, список яких наведено в кінці автореферату.

Структура і об'єм дисертації. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків та списку літератури з джерел. Робота викладена на 152 сторінках друкованого тексту, ілюстрована 61 рисунками і містить 4 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані мета і основні задачі роботи, її наукова новизна, практична цінність дослідження, представлені положення, які виносяться на захист, короткий зміст розділів, а також відомості про апробацію.

Перший розділ містить огляд робіт, присвячених вивченню теоретичних та експериментальних аспектів прояву ефектів s,p-d і d-d обмінних взаємодій в кристалах, тонких шарах та квантових структурах на основі напівмагнітних напівпровідників. Основну увагу приділено аналізу магнітооптичних ефектів, великого спінового розщеплення зонних і екситонних станів та гігантського ефекту Фарадея в кристалах  $A_{1-x}^{2+}Mn_xB^6$ . Зазначається, що дослідження низькорозмірних квантових систем (тонких шарів, квантових ям, надіраток та квантових точок) на основі напівмагнітних напівпровідників знаходяться на початковій стадії. Особливе зацікавлення викликають маловивчені до цього часу мікрокристали (нанокристали) напівмагнітних напівпровідників, в яких на електронні та екситонні стани мають вплив не тільки обмінні взаємодії, але і квантово-розмірний ефект (конфаймент ефект).

В другому розділі міститься опис методики експериментальних досліджень.

Вирощування монокристалів  $A_{1-x}^{2+}Mn_xB^6$  та  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$  проводилося вертикальним методом Бріджмена. Тонкі плівки  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  отримані у співпраці з Інститутом загальної фізики (Російська академія наук, м. Москва) методом лазерного напилення. В якості підкладок використовувалися скло та сапфір.

Для одержання мікрокристалів напівмагнітних напівпровідників розроблено та застосовано наступні методики:

а) сплавлення порошкоподібного напівпровідника з боросилікатним

оклом та наступною термообробкою;

б) впровадження дрібних напівпровідникових частинок в полімерні матриці (желатин та полівініловий спирт);

в) вирощування мікрокристалів у цесолітовій матриці.

Головним у технології одержання мікрокристалів було запобігання окисленню напівпровідникових частинок та зменшення розкиду їх по розмірам.

Дослідження оптичних та магнітооптичних спектрів проведені на комплексних спектральних установках базовими елементами яких були: серійні спектрограф ДФС-ІЗ, монохроматори МДР-З, МДР-23, електромагніт СП-58Б, надпровідний соленоїд, імпульсний магніт.

Для проведення низькотемпературних досліджень служили оптичні гелієві криостати та система УТРЕКС, які забезпечували стабілізацію і вимірювання температур з точністю 0,1 К. Спектральні ширини щілин в експериментах не перевищували 0,1 нм. При дослідженні ефекту Фарадея в тонких плівках та мікрокристалах досягалася максимальна чутливість по визначенню кута  $\theta_F$  в 0,01°.

В третьому розділі приводяться результати експериментального дослідження оптичних та магнітооптичних властивостей об'ємних кристалів напівмагнітних напівпровідників  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ,  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  та  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$ .

Виявлено аномалії в концентраційному та температурному зсуві краю поглинання для кристалів  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  ( $x \geq 0,4$ ) та  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$  ( $x \geq 0,2$ ), які пояснюються проявом внутріцентричних d-d переходів в іонах  $Mn^{2+}$  та впливом s,p-d обмінної взаємодії, відповідно. Остання є також причиною спостереження спінового розщеплення, дослідження якого проведені в двох типах експериментів. В одному випадку досліджувалася поведінка краю поглинання в зовнішньому магнітному полі, а в другому – велася спостереження за зміною екситонної структури в спектрах відбивання та поглина-

ння. Виявлені особливості розщеплення краю поглинання та екситонного піка інтерпретувалися в рамках моделі Гає для широкозонних напівмагнітних напівпровідників з структурою цинкової обманки. Показано, що ця модель є зручною для інтерпретації спінового розщеплення в шаруватому напівпровіднику  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$ .

Аналіз спектральної залежності константи Верде для кристалів  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  проведено в рамках теорії ефекту Фарадея в напівмагнітних напівпровідниках, розробленої групою французьких фізиків [1]. Ця теорія базується на мікроскопічному аналізі поперечної діелектричної проникливості і задовільно описує експериментальні результати для твердих розчинів з різним вмістом компонент і в широкому температурному інтервалі.

Узгодження між теорією і проведеними експериментами по ефекту Фарадея в  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  та  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$  добивалися шляхом відповідного підбору підгоночних параметрів, в число яких входили також константи s, p-d обмінної взаємодії. Значення оціненої суми констант  $N_0(\alpha-\beta)$  для досліджуваних кристалів 1,2 еВ та 0,06 еВ суттєво відрізнялися по абсолютному значенню.

На основі отриманих результатів температурної та магнітопольової залежностей фарадеївського кручення визначалися характерні температури та константи d-d - обмінної взаємодії в досліджуваних напівмагнітних напівпровідниках.

Четвертий розділ присвячений аналізу особливостей в оптичних та магнітооптичних характеристиках тонких шарів і квантових структур на основі напівмагнітних напівпровідників.

Виявлено відмінність у температурній залежності краю поглинання для точки плівки  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  з  $x=0,43$  на сапфіровій підкладці від аналогічної залежності для монокристалів того ж складу, яка полягала у "згладжуванні" останньої. Цей факт, а також лінійна залежність величини спінового розщеплення краю поглинан-

ня та Фарадеївського кручення від напруженості магнітного поля є доказом збільшення впливу антиферромагнітної взаємодії між іонами  $Mn^{2+}$  в тонких шарах висококонцентрованих напівмагнітних напівпровідників. Отримані результати по спектрах поглинання та Фарадеївського кручення в деяких зразках  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$  в сукупності з відомими даними по фотолюмінесцентним спектрам дозволяють зробити висновок про утворення в процесі їх вирощування своєрідних "вантових" структур у вигляді тонких шарів бінарного  $PbI_2$  в матриці потрібного твердого розчину  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$ .

Виявлено нові результати оптичних та магнітооптичних досліджень мікрокристалів напівмагнітних напівпровідників  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ,  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  та  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$ . Для мікрокристалів  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  та  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  встановлено короткохвильове зміщення краю поглинання зі зменшенням середнього розміру частинок, яке інтерпретується квантово-розмірним ефектом. Для найменших по розмірах мікрокристалів ця величина складала  $\approx 0,1$  еВ.

В зовнішньому магнітному полі спостерігається зсув краю поглинання, який, як і у випадку об'ємних кристалів, зумовлений обмінною взаємодією між зонними електронами (дірками) та магнітними іонами  $Mn^{2+}$ . В той же час, встановлено зменшення величини спінового розщеплення із зменшенням середнього розміру частинок, що пояснюється зменшенням числа магнітних іонів, які взаємодіють з зонними носіями. Лінійна магнітопольова залежність зезманівського зсуву та Фарадеївського кручення в діапазоні  $H=0-120$  кЕ є свідченням зростаючої ролі пар іонів  $Mn^{2+}$  в мікрокристалах в порівнянні з об'ємними напівмагнітними напівпровідниками.

Вперше спостерігалася тонка структура екситонного спектру поглинання мікрокристалів  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$  вирощених в матрицях желатину та полівінілового спирту. Ця структура, в цілому, виявилася

змщеною в короткохвильову сторону в порівнянні з екситонним спектром об'ємного  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$ . Знайдені піки поглинання вкладаються в обернену водневоподібну серію енергетичних рівнів, яку можна інтерпретувати утворенням екситонів у малих пластинчатих частинках з різними розмірами  $L_z$  в  $z$  напрямку (вздовж гексагональної вісі  $c$ ). Енергія екситонів  $E_c$  у випадку конфайнмент-ефекту на екситонній хвильовій функції виражається співвідношенням:

$$E_c = E_b + \pi^2 \hbar^2 / 2ML_z^2 \quad (I)$$

де  $E_b$  - енергія екситона в об'ємному кристалі, а  $M$  - трансляційна маса екситона.

Добре узгодження експериментальних значень  $E_c$  з виразом (I) досягалося при  $M=1,0 m_0$  ( $m_0$  - маса вільного електрона) та  $L_z=1,4$ ;  $2,1$ ;  $2,8$  та  $3,5$  нм. Оцінені значення  $L_z$  відповідають товщинам мікрочисталів, які кратні товщині одного шару  $0,7$  нм для шаруватого напівпровідника  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$ .

В останньому, п'ятому розділі, на основі узагальнення наявних експериментальних результатів та проведених в роботі оптичних та магнітооптичних досліджень, розглянуто потенційні можливості практичного застосування напівмагнітних напівпровідників в оптоелектронних пристроях.

Оскільки  $s, p-d$  обмін у напівмагнітних напівпровідниках супроводжується підсиленням фарадеївського кручення, то зазначені матеріали є перспективними для використання в якості фарадеївської комірки всюкняно-оптичних датчиків магнітного поля та оптичних ізоляторів (вентилів Фарадея). У випробуваних лабораторних макетах датчиків магнітного поля та струмів використання оптичного волокна дозволяло здійснювати дистанційні вимірювання напруженості  $H$ . Проведена оптимізація кристалів потрібних та

четвертих твердих розчинів  $A_{1-x}^2Mn_xB^6$  по їх хімічному та компонентному складу для використання в фарадеївських комірках датчиків що функціонують на лазерних довжинах хвиль  $\lambda=630; 670; 850$  та  $1300$  нм. Результати такої оптимізації приведені в таблиці 1 (стор.19) в порівнянні з параметрами широко використовуваного для аналогічних цілей залізо-іттриєвого гранату (ЗІГ). Встановлено, що датчики на основі напівмагнітних напівпровідників поступаються перед ЗІГ-датчиками по чутливості але переважають їх по своїм динамічним характеристикам, тому є перспективними для вимірювання магнітних полів, які стрімко змінюються з часом в широкому амплітудному діапазоні.

Друга потенційна можливість використання напівмагнітних напівпровідників полягала в розробці оптичних ізоляторів. Ці незвзаємні магнітооптичні пристрої служать для захисту лазерних джерел випромінювання від власних відбитих та розсіяних променів. Проведені дослідження об'ємних кристалів  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  ( $x \leq 0,45$ ) дозволили встановити, що склад з  $x=0,25$  є найбільш оптимальним для вентилів Фарадея, які функціонують на довжині хвилі  $\lambda=1060$  нм. Константа Верде для запропонованого матеріалу значно більша за її значення в магнітооптичних стеклах, а це дозволяє покращити компактність та інші характеристики пристрою.

### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Визначено оптимальні технологічні методи та умови росту об'ємних монокристалів, тонких плівок та мікрочастинок напівмагнітних напівпровідників  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ,  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  та  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$ .
2. Виявлено смугу поглинання в низькотемпературних спектрах кристалів  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  та  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$ , яка інтерпретується d-d внутрішніми центровими переходами в іонах  $Mn^{2+}$ .
3. Підтверджено наявність великого спінового розщеплення зонних

станів та гігантського ефекту Фарадея в досліджуваних кристалах напівмагнітних напівпровідників, які зумовлені  $s, p-d$  обмінною взаємодією між зонними носіями та магнітними іонами.

4. Виявлено відмінність в прояві ефектів обмінної взаємодії для тонких плівок  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ , які полягають в зменшенні зееманівського розщеплення та додатковому підсиленні ефекту Фарадея.

5. Встановлено вплив квантово-розмірного ефекту по короткохвильовому зміщенню краю поглинання для мікрокристалів  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ .

6. Вперше для мікрокристалів  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$  виявлено складну структуру спектрів поглинання, яка пояснюється конфайнмент-ефектом на екситонах в мікрочастинках, які містять різну кількість окремих шарів шаруватого напівпровідника.

7. На основі проведених оптичних та магнітооптичних досліджень оптимізовано хімічний та компонентний склад кристалів  $A_{1-x}^2Mn_xB^6$  для використання в якості активного елемента для волокняно-оптичних датчиків магнітного поля та оптичних ізоляторів. Показано, що ці датчики володіють кращими частотними характеристиками ніж існуючі зразки приладів.

#### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ОПУБЛІКОВАНІ В НАСТУПНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЯХ.

1. Гавалешко Н.П., Савчук А.И., Никитин П.И., Дєркач Б.Е., Кличук О.Р., Мединский С.В. Эффект Фарадея в телуриде кадмия, легированном Fe // Неорганические материалы. -1992. -Т.28, N12. -С.2429-2331.
2. Savchuk A.I., Gavaleshko M.P., Lyakhovich A.M., Medynskiy S.V. The effect of uniaxial pressure on the absorption spectra of layer and semimagnetic semiconductors // XXX Annual meeting of the european high pressure research group: Abstracts. 5-9 October 1992. - Bacu, 1992. P.29.
3. Savchuk A.I., Lyakhovich A.N., Medynskiy S.V., Nikitin P.I.

New multinary semimagnetic semiconductors for Faraday rotation for magnetic field sensors // ICTMC-9: Abstracts. 8-12 August 1993. -Yokohama, Japan, 1993. P.15.

4. Nikitin P.I., Grogorenko A.N., Savchuk A.I., Lyakhovich A.N., Medynskiy S.V. New multinary semimagnetic semiconductors for Faraday rotation magnetic field sensors // Japanese Journal of Applied physics. -1993. -V.32, suppl32-3. -P.375-377.

5. Савчук А.І., Гавалешко Н.П., Лихович А.Н., Медynский С.В., Кличук О.Р., Никитин П.И., Злобин А.Ю. Оптичеськие и магнитооптическые исследования тонких пленок полумангнитных полупроводников // IV Міжнародна конференція з фізики і технології тонких плівок: Тези. травень 1993. -Івано-Франківськ.

6. Savchuk A.I., Lyakhovich A.N., Medynskiy S.V. Semimagnetic semiconductors- new Faraday rotation materials for magnetic fieldsensors // Eurosensors VII: Abstracts. 26-29 September 1993. -Budapest, Hungary, 1993. P.352.

7. Savchuk A.I., Gavaleshko N.P., Medynskiy S.V. and Nikitin P.I. Growth and characterization of diluted magnetic semiconductors quantum dots // 38 Annual conference on magnetics and magnetic materials: Abstracts. 15-18 November 1993. -Minneapolis, USA, 1993. P.BB-10.

8. Savchuk A.I., Nikitin P.I., Homiak V.V., Ulyanitskiy K.S. and Medynskiy S.V. Faraday rotation in cobalt based semimagnetic semiconductors // XXIII International school of physics of semiconducting compounds: Abstracts. 28 May-3 June 1994. -Jaszowiec, Poland, 1994. P.138.

9. Savchuk A.I., Gavaleshko M.P., Medynskiy S.V., Nikitin P.I. Exchange interaction effects in layered semimagnetic semiconductors // 22 International conference of the physics of semiconductors, Abstracts. 15-19 August 1994. -Vancouver, Canada, 1994.

P.Tup.056.

10. Savchuk A.I., Medynskiy S.V., Nikitin P.I., Nikitin S.I. Experimental study of diluted magnetic semiconductor quantum dots embedded in glass // 22 International conference of the physics of semiconductors: Abstracts. 15-19 August 1994. -Vancouver, Canada, 1994. P.Fr.1-06.

11. Savchuk A.I., Lyakhovich A.M., Medynskiy S.V., Nikitin P.I. Magneto-optical spectroscopy of diluted magnetic semiconductors microcrystals embedded in glass // The 6 joint MMM - intermag conference: Abstracts. 20-23 June 1994. -Albuquerque, New Mexico, USA, 1994. P.127.

12. Savchuk A.I., Gavaleshko M.P., Medynskiy S.V., Nikitin P.I. Exchange interaction effects in layered semimagnetic semiconductors // Proceedings of the 22 intern.confer. on phys. semicond., Vancouver, Canada. / Ed. David J.Lockwood, World Scientific. -1995. -V.3. -P.2549-2552.

13. Nikitin P.I., Savchuk A.I., Medynskiy S.V., Nikitin S.I. Experimental study of diluted magnetic semiconductor quantum dots embedded in glass // Proceedings of the 22 intern. confer. on phys. semicond., Vancouver, Canada. / Ed. David J Lockwood, World Scientific. -1995. -V.3. -P.2043-2046.

14. Nikitin P.I., Savchuk A.I., Medynskiy S.V., Stolyarchuk I.D. Optical absorption studies on nanocrystals of semimagnetic semiconductor  $PtMnI_2$  // 10 International conference on ternary and multinary compounds: Abstracts. 19-22 September 1995. -Stuttgart Germany, 1995. P.P0163.

15. Savchuk A.I., Nikitin P.I., Medynskiy S.V., Stolyarchuk I.D. Optical studies of semimagnetic semiconductor nanocrystals // International school-conference " Physical problems in material science of semiconductors": Abstracts. 11-16 September 1995.

-Chernivtsi, Ukraine, 1995. P.166.

16. Savchuk A.I., Medynskiy S.V., Frasunyak V.M., Nikitin P.I., Ghorbanzadeh A.M. Comparative study of magnetization in bulk crystals and nanocrystals of the diluted magnetic semiconductors // 40 Annual conference on magnetism and magnetic materials: Abstracts. 6-9 November 1995. -Philadelphia, Pennsylvania, USA, 1995. P.CQ05.

17. Savchuk A.I., Medynskiy S.V., Frasunyak V.M., Nikitin P.I., Ghorbanzadeh A.M. Comparative study of magnetization in bulk crystals and nanocrystals of the diluted magnetic semiconductors // J. Appl. Phys. -1996. -Vol.79, NB. -P.8979.

**Ключові слова:** напівмагнітний напівпровідник, обмінна взаємодія, кристал, плівка, мікрокристал, ефект Фарадея, квантово-розмірний ефект, акситони, електрони, іони, магнітне поле.

Медянский С.В. "Эффекты обменного взаимодействия в кристаллах, тонких слоях и квантовых структурах на основе полумагнитных полупроводников". (Рукопись).

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 - физика полупроводников и диэлектриков, Черновицкий государственный университет им. Ю.Федьковича, Черновцы, 1996.

Защищается 17 научных работ, содержащих экспериментальное исследование s,p-d и d-d обменных взаимодействий в кристаллах, тонких пленках и микрокристаллах полумагнитных полупроводников. Основными объектами исследования были твердые растворы  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ,  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  и  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$ . Проявление обменных взаимодействий изучалось по оптическим и магнитооптическим свойствам (поглощению, магнитопоглощению, эффекту Фарадея). Наблюдался коротковолновый сдвиг края поглощения для микрокристаллов  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  обусловленный изменением размеров микрокристаллов. Полученные данные по магнитооптике свидетельствуют о происходящей модификации s,p-d и d-d обменных взаимодействий при переходе от трех-мерных к ноль-мерным системам на основе полумагнитных полупроводников.

Medyns'ky S.V. "Exchange interaction effects in crystals, thin layers and quantum structures on the base of semimagnetic semiconductors". (Manuscript).

Thesis search of a scientific degree of the candidate of physics and mathematics is presented. Speciality 01.04.10 - Physics of semiconductors and insulators. Chernivtsi State University, Chernivtsi, 1996.

17 scientific works, which contain experimental investigation of s,p-d and d-d exchange interactions in semimagnetic semiconductor crystals, thin films and microcrystals are

presented for defence. Main objects for investigation were solid solution  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ,  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  and  $Pb_{1-x}Mn_xI_2$ . Manifestation of exchange interactions has been studied on optical and magneto-optical properties (absorption, magnetoabsorption and Faraday effect). The absorption edge shift to shorter wavelength for  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  microcrystals due to the microcrystal size was observed. The obtained magneto-optic results reflect that there exist modification of s,p-d and d-d exchange interaction processes if transition from 3D to 0D semimagnetic semiconductor system occurs.

ТАБЛИЦЯ 1

| Матеріал                                 | Константа<br>Верде<br>град/Е см | Мінімальне поле<br>що релеструється<br>Е | Довжина<br>хвилі<br>нм |
|--|---------------------------------|--|------------------------|
| $Cd_{1-x}Mn_xTe$<br>$x=0,36$             | 0,20                            | 0,5                                      | 670                    |
| $Cd_{1-x}Mn_xSe$<br>$x=0,3$              | 0,10                            | 1,0                                      | 670                    |
| $Hg_{1-x}Mn_xTe$<br>$x=0,4$              | 0,05                            | 4,0                                      | 1300                   |
| $Cd_{1-x-y}Hg_xMn_yTe$<br>$x=0,1; y=0,2$ | 0,05                            | 4,0                                      | 850                    |
| Крист. ЗІП                               |                                 | 0,01                                     | 1300                   |

Цитована література.

J. Buss C., Huggonnard-Bruyere S., Frey R., Plytzanis C. Theory of Faraday rotation effect in  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  // Phys. Rev. B. -1988. -Vol.38, N10. -P.13183-13190.

... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..

*[Handwritten signature]*



Підписано до друку 21.05.96.  
Формат 60х84/16.Папір друкарський.  
Друк офсетний. Ум.друк.арк. 1,1.  
Обл.-вид. арк. 1,1. Тираж 100 прим.  
Зам. П.016.

Друкарня видавництва "Рута" Чернівецького держуніверситету  
274012, Чернівці, вул. Коцюбинського, 2

01.00.00

436551

AB 35.183