ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ім.Ю.Федьковича

на правах рукопису

Орлецький Іван Григорович

Особливості поведінки марганцю і гадолінію у вузькозонних тетраедричних напівпровідниках

01.04.10 - фізика напівпровідників і діелектриків

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Чернівці-1996

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі фізичної електроніки
Чернівецького державного університету
ім.Ю.Федьковича

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук,
професор Гавалешко М.П.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук,
професор Ковалюк З.Д.
кандидат фізико-математичних наук,
доцент Іванчук Р.Д.

Провідна організація: Інститут фізики напівпровідників
НАНУ, м.Київ.

Захист відбудеться "25" жовтня 1996 р. о 15 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 068.16.01 Чернівецького державного університету ім.Ю.Федьковича (274012 м.Чернівці, вул.Коцюбинського,6.2).

Зі змістом дисертації можна ознайомитись у науковій бібліотеці Чернівецького державного університету (247012 м.Чернівці, вул.Л.Українки,6.23).

Автореферат розіслано "24" вересня 1996 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради _____ М.В.Курганецький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми досліджень. Завдання сучасної електроніки вимагають розробки нових напівпровідникових матеріалів, властивості яких могли б забезпечити запити напівпровідникового приладобудування.

У фізиці і матеріалознавстві напівпровідників значний інтерес викликають напівпровідникові сполуки і тверді розчини, які містять у якості легуючої домішки елементи з незаповненими 3d- і 4f-оболонками. Частина даних матеріалів утворюють окремий клас напівпровідників - напівмагнітні напівпровідники [1]. Взаємодія локалізованих спінів з вільними носіями заряду проявляється в ряді незвичайних властивостей цих матеріалів при наявності зовнішнього магнітного поля. Найбільш досконало досліджені напівмагнітні потрійні тверді розчини типу $A^2{}_{1-x}Mn_xB^6$. При виготовленні структур із квантовими ямами і надграток на основі напівмагнітних напівпровідників часто виникає проблема узгодження постійних граток і підбору ширини забороненої зони матеріалів, що утворюють складну структуру. Дану проблему не завжди вдається вирішити за допомогою потрійних твердих розчинів і тому стає актуальним синтез більш складної системи - четверних твердих розчинів. При цьому з'являється додаткова можливість змінювати магнітні властивості матеріалу при фіксованій ширині забороненої зони (або постійної гратки) шляхом зміни концентрації магнітної компоненти.

Напівпровідникові матеріали на основі сполук A^3B^5, які містять елементи з незаповненими 3d-оболонками, володіють рядом аномалій гальваномагнітних ефектів [2]. Останні інтерпретуються взаємодією між магнітними моментами носіїв заряду та локалізованими магнітними моментами домішкових атомів і з успіхом знаходять практичне застосування. Поряд з досконало вивченими властивостями вузькозонних напівпровідників A^3B^5, легованих 3d-елементами (наприклад InSb<Mn>, InAs<Mn>) , систематичні дослідження поведінки 4f-домішок у цих матеріалах практично відсутні. Тому вивчення впливу гадолінію як легуючої домішки на особливості

протікання явищ переносу в InSb могли б значно розширити коло існуючих уявлень в даній області знань.

Направлено кристалізована евтектика InSb-MnSb характризується значною анізотропією властивостей, яка обумовлена наявністю голкоподібних включень MnSb в матриці InSb. Вказана особливість знаходить широке використання при виготовленні приладів. При цьому часто виникають проблеми відбору досконалих (по параметрах і просторовій орієнтації голок) кристалів. Тому важливим є питання розробки методики дослідження кутових залежностей кінетичних коефіцієнтів, яка б давала можливість однозначно визначати ступінь однорідності і просторову орієнтацію феромагнітних включень.

З викладеного вище слідує, що дослідження особливостей поведінки марганцю і гадолінію у вузькозонних тетраедричних напівпровідниках є актуальними науковою і технічною задачами.

Метою роботи було встановлення закономірностей впливу магнітної компоненти на характеристики вузькозонних тетраедричних напівпровідників за допомогою досліджень гальвано-, термомагнітних та оптичних явищ у цих матеріалах.

Основні завдання:

1. Визначення технологічних умов синтезу і вирощування четверних твердих розчинів HgMgMnTe різного складу,сполук InSb<Gd> та евтектик InSb-MnSb.
2. Вивчення особливостей поведінки кінетичних коефіцієнтів в твердих розчинах HgMgMnTe в залежності від молярного вмісту магнітної компоненти, температури і магнітного поля.
3. Дослідження магніточутливості кінетичних ефектів InSb<Gd> та особливостей електрофізичних властивостей сильнолегованого InSb<Mn>.
4. Встановлення закономірностей зміни параметрів енергетичного спектру твердих розчинів $Hg_{1-x-y}Mg_xMn_yTe$ та сполук InSb<Gd> від вмісту магнітної компоненти і температури.

Достовірність одержаних результатів забезпечена використанням сучасних методик дослідження, інтерпритацією експериментальних даних на основі добре апробованих наукових концепцій, кореляцією одержаних в роботі результатів з даними існуючих літературних джерел.

Наукова новизна роботи:

1. Вперше отримані тверді розчини напівмагнітних напівпровідників HgMgMnTe, встановлені режими термічної обробки зразків, які дозволяють керувати властивостями цих матеріалів.
2. Вперше проведено легування антимоніду індію рідкоземельним елементом гадолінієм, визначені оптимальні технологічні умови синтезу та вирощування InSb<Gd>.
3. Доведено, що четверні тверді розчини HgMgMnTe володіють властивістю зміни основних параметрів зонного спектру цілеспрямованим регулюванням концентрацій магнію і марганцю.
4. З'ясована динаміка зміни магніточутливості кінетичних коефіцієнтів та механізмів розсіювання носіїв заряду з ростом концентрації гадолінію в InSb<Gd>.
5. Запропонована нова методика досліджень кінетичних ефектів, яка дає змогу однозначно визначати ступінь однорідності та просторову орієнтацію голкоподібних макровключень металічного типу в InSb.

Практична цінність роботи полягає в наступному:

1. Отримані тверді розчини HgMgMnTe завдяки можливості цілеспрямованої зміни ширини забороненої зони із одночасним збереженням магнітних властивостей є перспективними з точки зору їх застосування при виготовленні надграток та структур з квантовими ямами на основі напівмагнітних напівпровідників.
2. Результати дослідження кінетичних ефектів InSb<Gd> дозволяють оптимізувати магнітопольові і температурні інтервали максимальної магніточутливості зразків, які можуть використовуватись в якості магнітокерованих давачів температури або градієнту температури, а також магнітомодуляторів.

3. Вплив внутрішнього магнітного поля на транспорт носіїв заряду в InSb<Mn> евтектичного складу робить можливим використання евтектик для виготовлення магнітокерованих перемикачів логічних станів з пам'яттю в колах зворотнього зв'язку, магніторегульованих низькочастотних генераторів і магнітомодуляторів.

Методи дослідження: Виконання поставлених завдань здійснювалося шляхом проведення комплексних експериментальних взаємодоповнюючих методів досліджень і розрахунків на ЕОМ з застосуванням апробованих алгоритмів. Досліджувались кінетичні, термо-, гальваномагнітні і оптичні властивості зразків твердих розчинів HgMgMnTe різних складів, а також сполук InSb<Gd> і InSb<Mn> в інтервалі температур 80-400 К і в магнітних полях до 17 Тл.

Основні положення, що виносяться на захист:

1. Система HgMgMnTe являє собою нові напівпровідникові матеріали (тверді розчини заміщення), які по своїм фізичним властивостям аналогічні системі HgMnTe.
2. В кристалах $Hg_{1-x-y}Mg_xMn_yTe$ ширина забороненої зони (постійна гратки) знаходиться в лінійному зв'язку з молярним вмістом в матеріалі марганцю і гадолінію.
3. Магніточутливість кінетичних ефектів в InSb<Gd> зростає із збільшенням концентрації Gd і досягає максимального значення в області інверсії магнітотермо-е.р.с.
4. Ступінь однорідності і просторова орієнтація голкоподібних макровключень фази MnSb може бути однозначно визначена з результатів дослідження магнітопольових і кутових залежностей гальваномагнітних коефіцієнтів.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідались і обговорювались на Республіканській конференції "Матеріалознавство і фізика напівпровідникових фаз змінного складу" (Ніжин, 1993); VIII науково-технічній конференції "Физика, химия и технология халькогенидов и халькогалогенидов" (Ужгород, 1994); Міжнародній конференції

по матеріалознавству халькогенідних і алмазоподібних напівпровідників (Чернівці, 1994); науковій конференції, присвяченій 120-річчю заснування Чернівецького державного університету (Чернівці, 1995); Міжнародній школі-конференції по фізичним проблемам матеріалознавства напівпровідників (Чернівці,1995); XXIII Міжнародній школі по фізиці напівпровідникових сполук (Яшовець, Польша, 1994).

Публікації. По матеріалам дисертації опубліковано 12 праць, перелік яких наведено у кінці реферату.

Особистий внесок. Приведені в дисертації дослідження є результатом роботи автора, якому належить реалізація технологічних експериментів; дослідження електричних, гальваномагнітних, термоелектричних, магнітних, оптичних властивостей, формулювання загальних висновків і основних положень, що виносяться на захист.

Об'єм і структура дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, основних результатів і висновків та списку цитованої літератури. Робота містить 110 сторінок машинописного тексту, включаючи 24 рисунки, 11 таблиць, 110 найменувань літературних джерел.

Основний зміст роботи.

У вступі обговорюється актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані завдання досліджень, наукова новизна і практична значимість отриманих результатів, представлені положення, що виносяться на захист, коротко викладено зміст роботи і приведені дані про апробацію роботи.

У першому розділі зроблено короткий огляд основних експериментальних і теоретичних робіт по технології одержання і дослідженню електрофізичних властивостей напівмагнітних напівпровідників на основі халькогенідів ртуті і марганцю; висвітлено основні концепції, які використовуються для пояснення таких властивостей. Проаналізовано теоретичні

моделі зонної структури [3], які переважним чином використовуються для пояснення електрофізичних властивостей напівпровідників A^3B^5 , легованих рідкоземельними елементами. Розглянуто особливості утворення та властивості композиційних евтектик на основі A^3B^5.

Зокрема відмічено, що атоми елементів з незаповненими 3d- і 4f-оболонками у вузькозонних тетраедричних напівпровідниках викликають ряд унікальних властивостей останніх. Введення магнітних домішок у процесі легування халькогенідів ртуті приводить до утворення твердих розчинів напівмагнітних напівпровідників. Більшість вказаних матеріалів вирощують на основі сполук $A_{1-x}{}^2Mn_xB^6$. Для описання зонної структури вузькозонних напівмагнітних напівпровідників у магнітному полі використовується модель Піджмена-Брауна з врахуванням обмінної взаємодії між зонними носіями і локалізованими 3d-електронами іонів Mn^{2+}. Розглянуті особливості поведінки температурних залежностей оптичних коефіцієнтів відомих четверних напівмагнітних напівпровідників.

Описана конфігурація магнітних іонів у вузькозонних напівпровідниках A^3B^5 та взаємодія їх з вільними носіями заряду. Представлені в аналітичному вигляді результати теоретичних досліджень по інтерпретації температурних залежностей питомого електричного опору, від'ємного магнітоопору та аномального ефекту Хола в кристалах InSb<Mn>. Використані моделі засвідчують наявність спінового розсіювання дирок на локалізованих магнітних моментах іонів Mn^{2+}. Серед різноманітних поглядів на взаємодію магнітних моментів у сполуках A^3B^5 (без врахування відхилень від середньостатистичного їх розподілу) віддається перевага моделям, які вважають дану взаємодію неможливою.

Відмічено, що до початку наших досліджень, питання впливу рідкоземельних елементів на властивості вузькозонних напівпровідників A^3B^5 залишалося практично відкритим. Переважна більшість експериментальних і практичних робіт була присвячена широкозонним представникам A^3B^5.

легованим 4f-елементами. В цілому існує певна подібність впливу на властивості матеріалів між р[illegible]ними елементами і елементами перехідної групи. Найбільша кореляція в поведінці спостерігається між Eu та Mn. Однак, на відміну від 3d-елементів, 4f-елементам притаманенні певні особливості. В першу чергу - це їх висока хімічна активність. Завдяки їй відмічається яскрава можливість гетерування рідкоземельними елементами фонових домішок. В результаті цього в ряді випадків вдається зменшити концентрацію фонових домішок на 3-4 порядки і збільшити на порядок рухливість електронів. Комплексні дослідження кристалічної структури вузькозонних напівпровідників A^3B^5 легованих 4f-елементами вказують на те, що рідкоземельний елемент займає в основному міжвузлове положення, або, у крайньому випадку, зміщений з вузла кристалічної гратки. Електронна структура рідкоземельного центру заміщення грунтується на моделі локального іонного зв'язку і в значній мірі відрізняється від 3d-центру. Існує стабілізація зарядового стану Re^{3+} і в забороненій зоні кристалу можуть створюватися додаткові рівні типу "електронна пастка" і "діркова пастка". Композиційні направлено кристалізовані евтектики InSb-MeSb (Me = Ni, Mn,Fe, Cr) володіють яскраво вираженими анізотропними властивостями [4], яких не має більшість звичайних сплавів. Теоретична інтерпретація впливу голкоподібних включень на рівноважні властивості евтектик типу InSb-MnSb схильна до використання моделі ефективного середовища із сферичними металічними включеннями.

Другий розділ присвячений вивченню технологічних умов синтезу та вирощування твердих розчинів HgMgMnTe, сполук InSb<Gd> та евтектики InSb-MnSb.

Четверні тверді розчини $Hg_{1-x-y}Mg_xMn_yTe$ були вирощені модифікованим методом Бріджмена. Так, як діаграми стану даних сплавів до теперішнього часу не вивчені, то умови синтезу та режими вирощування підбирались експериментально на основі відповідних даних для потрійних сполук. Труднощі отримання цих матеріалів пов'язані з хімічними та фізичними особливостями властивостей вихідних компонентів, особливо

Hg і Mn (високий тиск парів і хімічна активність, відповідно). Для синтезу і вирощування у якості контейнерів використовували покриті піролітичним вуглецем кварцеві ампули. Виявлено, що при високих температурах плавлення реакція між компонентами проходить з великим виділенням тепла, що може приводити до руйнування ампул, а розчинність Mn зменшується із збільшенням тиску. В процесі синтезу враховувалась значна різниця у густинах вихідних компонент і для прискорення реакції та покращення однорідності злитків в технологічній установці передбачено коливання контейнера із матеріалом. Після синтезу отримувались злитки без пор і раковин, була відсутньою в ампулі вільна ртуть. В процесі вирощування в печі задавався відповідний розподіл градієнта температури. Кристали, отримані по такій технології, мали моноблочну структуру володіли змішаним типом провідності з концентрацією носіїв заряду $(0.5\text{-}3) \cdot 10^{17}$ $см^{-3}$. Для покращення однорідності, а також з метою зміни величини концентрації носіїв заряду, зразки HgMgMnTe піддавались низькотемпературній обробці у парах ртуті (T = 500 K) протягом 250-300 годин.

У літературі відсутні дані про технологічні умови отримання і систематичні результати дослідження антимоніду індію, легованого гадолінієм. Тому вивчення оптимальних умов синтезу та вирощування цього матеріалу проводилось пошуковим шляхом. Синтез здійснювався на установці, яка дозволяє проводити механічне перемішування. Особливі вимоги ставилися до контейнерів, в яких знаходився матеріал. Практично непридатними для використання кварцеві контейнери без захисного покриття. Навіть невелика кількість Gd у синтезованому злитку ($5 \cdot 10^{-4}$% загальної маси кристалу) приводить до ефектів взаємодії з кварцем, що негативно впливає на якість кристалу. Для запобігання такого процесу використовували захисні покриття з піролітичного вуглецю. Встановлено, що розчинність гадолінію у розплаві антимоніду індію значно покращується, коли температура синтезу сягає 1000 K. Злитки InSb<Gd> вирощували методом горизонтальної зонної перекристалізації з використанням установки, яка

забезпечувала відповідний температурний градієнт. Температура зони розплаву складала 810 К. Швидкість проходження розплавленої зони - 0.5 см/год. При цьому вільний об'єм над злитком складав не менше 1/3 всього об'єму ампули, а довжина злитку не перевищувала 12 см. Всі зразки, отримані по такій методиці, володіли p-типом провідності. Концентрація носіїв заряду в зразках складала 10^{16}-10^{18} $см^{-3}$.

Евтектичні сплави InSb-MnSb одержувалися методом зонної перекристалізації [5] на установці, яка забезпечувала швидкість проходження розплавленої зони при T=850 К рівною 1,5 мм/хв. Для запобігання проходження перитектичних перетворень у сплавах замість синтезу системи InSb-Mn проводився синтез у системі InSb-MnSb при температурі 1000 К. З метою одержання запрограмованого фазового складу кількість MnSb складала 6,5 ваг.% в InSb. Синтез сполуки MnSb проводився при співвідношенні компонент 1:1 і температурі 1170 К. Отримані для подальшого вирощування таким чином сплави по даним мікроскопічних досліджень володіли хаотичним розподілом феромагнітних голкоподібних фазових включень MnSb по об'єму напівпровідникової матриці InSb.

У третьому розділі приведені результати дослідження впливу елементів з незаповненими 3d- і 4f- оболонками на температурні (80-400 К) і магнітопольові (B<17 Тл) залежності коефіцієнтів Хола R_H, магнітоопору $\Delta\rho/\rho$, термо-е.р.с. $\Delta\alpha$, Нернста-Етінгсгаузена Q твердих розчинів $Hg_{1-x-y}Mg_xMn_yTe$ (x<0.1; y<0.1), сполук InSb<Gd> (N_{Gd}= 10^{16}-10^{18} $см^{-3}$) і евтектики InSb-MnSb (6,5 ваг.% MnSb).

Температурні і магнітопольові залежності електропровідності і коефіцієнту Хола в кристалах $Hg_{1-x-y}Mg_xMn_yTe$ свідчать про участь у явищах переносу по крайній мірі двох типів носіїв заряду. Контроль однорідності зразків додатково здійснювався за допомогою досліджень залежностей магнітоопору від напруженості магнітного поля.Термообробка зразків у парах ртуті приводить до зменшення концентрації носіїв акцепторного типу і збільшення концентрації донорного типу. Залежності R=f(T) після відпалу є характерними для зразків n-типу провідності, а електропровідність носить

напівпровідниковий характер. Такі зміни поведінки кінетичних коефіцієнтів характерні для високочистих кристалів потрійних твердих розчинів на основі халькогенідів ртуті.

Температурні залежності гальваномагнітних ефектів в InSb<Gd> (N_{Gd}= 10^{16} $см^{-3}$) аналогічні температурним залежностям для антимоніду індію, легованого немагнітними домішками, які дають p-тип провідності. Однак температурне положення максимуму і точки інверсії коефіцієнту Хола для фіксованого значення магнітного поля помітно відрізняється в сильнолегованих зразках порівняно з слаболегованими. Крім того, в сильнолегованих зразках (N_{Gd}= 10^{17}-10^{18} $см^{-3}$) вдається отримати температуру інверсії термо-е.р.с. в інтервалі 280-380 К при більш низьких концентраціях носіїв заряду ніж в зразках, легованих немагнітними домішками. На температурних залежностях коефіцієнтів Хола R_H, магнітоопору $\Delta\rho/\rho$, термо-е.р.с. $\Delta\alpha$, Нернста-Етінгсгаузена Q для всіх зразків InSb<Gd> спостерігається максимум, який знаходиться в області температур, при яких спостерігається незначне розсіювання носіїв як на іонізованих домішках, так і на коливаннях кристалічної гратки. При збільшенні концентрації Gd цей максимум зміщується у сторону високих температур, і для концентрацій порядку N_{Gd}= 10^{18} $см^{-3}$ знаходиться при температурі 370 К. Характерно, що максимальні значення R_H і $\Delta\rho/\rho$ зменшуються по абсолютній величині з ростом концентрації Gd у зразках, в той час як максимуми $\Delta\alpha$ і Q - значно збільшуються. Завдяки цьому підвищується інформативність термомагнітних ефектів у сильнолегованих зразках InSb<Gd>. Магнітонеоднорідність таких зразків InSb<Gd> найбільш помітно проявляє себе в області інверсії термо-е.р.с., коли переважає розсіювання носіїв на спінових магнітних моментах Gd. Описані результати дозволяють оптимізувати магнітопольові і температурні інтервали максимальної магніточутливості зразків InSb<Gd>, які можуть бути використані в якості магнітокерованих давачів температури або градієнту температури, а також магнітомодуляторів.

Доведено, що сильнолеговані кристали InSb<Mn> при

наявності магнітного поля проявляють яскраво виражені анізотропні властивості. Ан... тензору питомої електропровідності приводить до появи асиметричного вкладу в залежності $R_H(H)$, $\rho(H)$ і $\alpha(H)$, величина якого залежить від орієнтації голкоподібних включень MnSb у зразку. Виявлено, що попередня намагніченість феромагнітної фази в матриці InSb суттєво впливає на транспорт носіїв заряду у випадку, коли величина проекції зовнішнього магнітного поля на стає співрозмірною або меншою величини проекції вектора напруженості внутрішнього магнітного поля на напрямок вектора густини електричного струму. Показано, що за результатами досліджень кутових залежностей кінетичних коефіцієнтів від напруженості магнітного поля можна однозначно визначати ступінь однорідності і просторову орієнтацію голкоподібних мікровключень в InSb<Mn>. Евтектичні сплави InSb-MnSb можна використовувати для виготовлення магнітокерованих перемикачів логічних станів з пам'яттю в колах зворотнього зв'язку, магніторегульованих низькочастотних генераторів та магнітомодуляторів.

В четвертому розділі приведені дані досліджень оптичного поглинання кристалів $Hg_{1-x-y}Mg_xMn_yTe$ ($x<0.1$; $y<0.1$) і InSb<Gd> в інтервалі температур 70-300 К. Для вказаних напівмагнітних твердих розчинів із збільшенням концентрації магнію і марганцю край фундаментального поглинання зміщується в короткохвильову область, що свідчить про збільшення ширини забороненої зони. Лінійна залежність $\alpha^2=f(h\nu)$ підтверджує участь прямих переходів у формуванні краю поглинання. Всі зразки перед дослідженням піддавались низькотемпературному відпалу у парах ртуті (T=500 К) на протязі 250-300 год. Це дало змогу понизити концентрацію носіїв заряду до $(3\text{-}8)\cdot10^{16}$см$^{-3}$ і не враховувати ефекту Бурштейна -Мосса, а значить з більшою точністю визначати ширину забороненої зони E_g. Завдяки цьому, при інтерпретації експериментальних даних, стало можливим використання теоретичних формул, одержаних у наближенні параболічних зон і справедливих при малих рівнях заповнення. Знак коефіцієнту температурної зміни ширини забороненої зони dE_g/dT для невеликих концентрацій Mn є додат-

нім, а його величина зменшується аж до від'ємних значень із ростом молярного вмісту магнітної компоненти. Така поведінка є характерною для твердих розчинів з інвертованою зонною структурою. На основі співставлення експериментальних даних і теоретичних розрахунків показано, що залежність ширини забороненої зони E_g від компонентного складу описується наступною формулою:

$$E_g(x,y)= (1-x-y)E_g(HgTe)+xE_g(MgTe)+yE_g(MnTe).$$

Стосовно кристалів InSb<Gd>, то край поглинання у них обумовлений прямими дозволеними переходами. В порівнянні з нелегованим матеріалом у зразках з великою концентрацією Gd відбувається розмиття краю поглинання внаслідок ефекту Бурштейна-Мосса. Виявлено, що введення домішки Gd в антимонід індію не приводить до зміщення краю фундаментального поглинання. Для визначення ширини забороненої зони та її температурної зміни вибирались зразки з концентрацією акцепторів $p=(1,3-1.5)\cdot 10^{16}$ $см^{-3}$. Визначено температурний коефіцієнт зміни ширини забороненої зони для InSb<Gd> , який в інтервалі температур 77-300 К становить $\beta = -(2.4-2.8)\cdot 10^{-4}$ еВ/К.

Основні результати і висновки.

1. Встановлені умови синтезу і отримані монокристали вузькозонних четверних напівмагнітних напівпровідникових твердих розчинів $Hg_{1-x-y}Mg_xMn_yTe$ ($x<0.1$; $y<0.1$).

2. Розроблені фізико-хімічні основи синтезу і вирощування кристалів InSb легованих Gd ($N_{Gd}= 10^{16}-10^{18}$ $см^{-3}$).

3. Показано, що електрофізичні властивості кристалів HgMgMnTe аналогічні властивостям добре вивчених потрійних сполук HgMnTe і , на відміну від останніх володіють більшою стабільністю параметрів.

4. Виявлені закономірності зміни ширини забороненої зони від складу і температури для твердих розчинів $Hg_{1-x-y}Mg_xMn_yTe$ ($x<0.1$; $y<0.1$), що дало можливість цілеспрямованого керування даними параметрами.

5. Магніточутливість кінетичних ефектів кристалів InSb<Gd>N_{Gd}= 10^{16}-10^{18} $см^{-3}$, [illegible] із збільшенням концентації Gd, а її максимальні значення зміщуються у високотемпературну область і співпадають з температурою інверсії магнітотермо-е.р.с. В зв'язку з цим підвищується інформативність термомагнітних ефектів в сильнолегованому антимоніді індію.

6. Розсіювання носіїв заряду в кристалах InSb<Gd> на магнітних моментах домішки Gd найбільш помітно проявляється в температурній області інверсії термо-е.р.с., коли розсіювання на іонізованих домішках і на коливаннях кристалічної гратки мінімальне.

7. В присутності магнітного поля евтектика InSb-MnSb проявляє різко виражені анізотропні властивості. Анізотропія тензору провідності приводить до появи асиметричного вкладу в польові залежності гальваномагнітних коефіцієнтів. Із результатів досліджень кутових та магнітопольових залежностей рівноважних коефіцієнтів можна однозначно визначити ступінь однорідності і просторову орієнтацію голкоподібних включень MnSb в InSb.

8. Магнетизм феромагнітної фази MnSb в InSb створює помітний вплив на транспорт носіїв заряду у випадку коли напруженість зовнішнього магнітного поля співрозмірна або менша напруженості внутрішнього магнітного поля.

9. Із експериментальних результатів слідує, що кристали InSb<Gd> можна використовувати в якості магнітокерованих датчиків температури і магнітомодуляторів.

Список використаної літератури.

1.Furdyna J.K.Diluted Magnetic Semiconductors.//J.Appl.Phys.-1988.-64,N4.-PP.R29-R64.

2. Омельяновский Є.М.,Фистуль В.И. Примеси переходных металлов в полупроводниках.-М.:Металургия,1983.-191с.

3.Ильин Н.П.,Мастеров В.Ф. Расчет энергетического спектра бинарных полупроводников, легированных редкоземельными элементами.//ФТП.-1995.-31,N8.-С.1591-1602.

4.Курц В.,Зам Р. Направленная кристализация эвтектических материаллов: получение, свойства и применение естественных композитов.-М.:Металлургия,1980.-272с.
5. Muller A.,Wilhelm M. Uber den gerichteten Einbau von Schwermetalphasen in A^3B^5-Verbindungen.//J.Phys.Chem.Sol.-1965.-26,N12.-PP.2021-2028.

Список робіт автора.

1. Frasunyak V.M., Gavaleshko M.P., Orletskii I.G. Optical properties of HgMgMnTe crystals. // Acta Phys. Pol. -1995. -V.87. -N1. -P.237-240.
2. Гавалешко Н.П., Слободян В.З., Радевич Е.И., Орлецкий И.Г. Особенности электрофизических свойств сильнолегированного InSb<Mn>. // Изв. РАН. Неорг. матер. -1995. -Т.31. -N10. -С.1264-1267.
3. Падалко А.М., Марьянчук П.Д., Орлецкий И.Г. Оптические свойства HgMnTeSe. Черновцы, 1991. -9с. -Деп. УкрНИИНТИ.
4. Гавалешко М.П.,Слободян В.З.,Радевич Я.І.,Орлецький І.Г. Особливості кінетичних ефектів в сильнолегованому InSb<Mn>.//The First International Conference on Material Science of Chalcogenide and Diamond -structure Semiconductors. Chernivtsi, October, 1994.-P.59.
5. Гавалешко М.П.,Радевич Я.І.,Слободян В.З.,Орлецький І.Г. Дослідження магніточутливості кінетичних ефектів в InSb, легованому Gd.//The First International Conference on Material Science of Chalcogenide and Diamond -structure Semiconductors. Chernivtsi, October, 1994.-P.91.
6. Фрасуняк В.М.,Орлецький І.Г.,Федів В.В.,Гандабура В.Т. Одержання та спектри поглинання твердих розчинів HgZnMnTe.//Матеріали наук.конф.викл.,співроб. та студентів, присвячена 120-річчю заснування Чернівецького університету.Фізико-математичні науки.1995.-Т.2.-С.56.
7. Фрасуняк В.М.,Орлецький І.Г., Оптичні властивості твердих розчинів HgMgMnTe.//Матер.наук.конф."Матеріалознавство і фізика напівпровідникових фаз змінного складу".Ніжин.-1993.-Ч.3.-С.285.

8. Gavaleshko M.P., Radevich Ya.I., Slobodyan V.Z., Orletsky I.G. Magneto-controlable and magneto-selective sensors based on Gd-doped of indiumantimonide. // International Shool-Conference "Physical probiems in material science of semiconductors", Ukraine, Chernivtsi, 11th-16th of September. -1995. -P.316.
9. Frasunyak V.M., Gavaleshko M.P., Orletskii I.G. Optical properties of HgMgMnTe crystals. // XXIII International Shool on Physics of Semiconducting Compounds. Jaszowiec. -1994. -P.94.
10. Фрасуняк В.М.,Орлецький І.Г. Фотоелектричні та оптичні властивості HgMgMnTe.// Матер.VIII науч.-техн.конф."Химия, физика и технология халькогенидов и халькогало-генидов".Ужгород.-1994.-С.47
11. Gavaleshko M.P., Frasunyak V.M., Orletskii I.G., Fediv V.I. Obtaining and some properties of HgZnMnTe semimagnetic semiconductors. // International Shool-Conference "Physical problems in material science of semiconductors", Ukraine, Chernivtsi, 11th-16th of September. -1995. Abstract Booklet. -P.157.
12. Гавалешко Н.П., Радевич Е.И.,Слободян В.З.,Орлецкий И.Г. Исследование магниточувствительности кинетических эффектов в InSd, легированном Gd.// Неорг.матер.-1996.-32,N6.-С.1-3.

Резюме:

Орлецкий И.Г. Особенности поведения марганца и гадолиния в узкозонных тетраедрических полупроводниках.(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.

Защищаются 12 научных работ, которые содержат экспериментальные исследования технологии получения кристаллов HgMgMnTe, InSb<Gd>, их электрических, магнитных, термоэлектрических и оптических свойств.

Обнаружено возрастание магниточувствительности коэфициентов Холла R_H, магнитосопротивления $\Delta\rho/\rho$, термо-э.д.с. $\Delta\alpha$, Нернста-Этингсгаузена Q кристаллов InSb<Gd> с увеличением концентрации Gd в области температуры инверсии магнитотермо-э.д.с. На основании этого предложена методика исследований, позволяющая повысить информативность термомагнитных эффектов. Для сильнолегированных кристаллов в области инверсии магнитотермо-э.д.с. в наибольшей степени заметно рассеяние носителей заряда на магнитных моментах примеси гадолиния.

Для твердых растворов HgMgMnTe установлена зависимость ширины запрещенной зоны E_g от состава и температуры.

Показано, что в сильно легированном InSb<Mn> наблюдаются резко выраженные анизотропные свойства. Предложена методика исследования структуры и пространственной ориентации игольчатых включений MnSb. Исследовано возействие внутреннего магнитного поля на транспорт носителей заряда.

Abstract:

Orletskii I.G. Behaviour peculiarities of manganese and gadolinium in narrow-gap tetrahedral semiconductors.(Manuscript).

Thesis on search of a scientific degree of the candidate of physical-mathemathic sciences on speciality 01.04.10 is optics of semiconductors and dielectrics. Chernivtsi State University named after Yu.Fed'kovych, Chernivtsi 1996.

12 scientific papers are defended having experimental investigations of obtaining technology of HgMgMnTe and InSb<Gd> monocrystals, their electric, galvanomagnetic, magnetic, thermoelectric and optical properties.

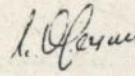
The increase of magnetosensibility of Hall coefficient R_H, magnetoresistance $\Delta\rho/\rho$, thermo-e.m.f. $\Delta\alpha$, Nernst-Etingsgausen effect Q in InSb<Gd> crystals with increase of Gd concentration

was revealed in temperature range of magnetothermo-e.m.f. inversion. The research method alowing to increase the infomftivity of thermomagnetic effect was proposed on the base of that phenomena. For strjngly doped crystals the scatering of charge carriers on the magnetic moments of Gd impurities mostly expresses itself in magnetothermo-e.m.f. inversion range.

For HgMgMnTe the dependence of energy band on content and temperature was determined.

It was shown that in strongly doped InSb<Mn> crystals the pronounced anizotropic properties were obserwed. The research method to investigate the structure and space orientation of MnSb needle inclusions was proposed. The influence of intrinsic magnetic field on charge carriers transport was investigated.

Ключові слова: технологія, монокристал, анізотропія, спін, рідкоземельні елементи, магніточутливість, легування, концентрація, поглинання, вузькозонні тетраедричні напівпровідники.



Підписано до друку 23.09.96.
Формат 60x84/16. Папір друкарський.
Друк офсетний. Ум.друк.арк. 1,1.
Обл.-вид.арк. 1,1. Тираж 100 прим.
Зам. 289.

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