

Національна академія наук України
Інститут фізики напівпровідників

На правах рукопису

КАМУЗ
Олександр Михайлович

**ЛАЗЕРНОСТИМУЛЬОВАНІ ЗМІНИ РЕФРАКЦІЇ
НАПІВПРОВІДНИКІВ ТИПУ $A^{III}B^V$ ТА $A^{II}B^{VI}$ І ОПТИЧНІ
ХВИЛЕВОДИ НА ЇХ ОСНОВІ**

01.04.10 - фізика напівпровідників та діелектриків

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора фізико-математичних наук

Київ 1996

27. 813. 39
37, 226
Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті фізики
України.

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00760755 (U)

Офіційні опоненти:

Член-кореспондент НАН України,
професор
ВАЛЯХ Михайло Якович

Член-кореспондент НАН України,
професор
ОДУЛОВ Сергій Георгієвич

Доктор фізико-математичних наук,
професор
ВЛОХ Орест Григорович

Провідна організація:

Чернівецький державний
університет ім.Ю.Федьковича

Захист відбудеться "31" січня 1997р. о 14¹⁵
годині на засіданні спеціальної вченої ради Д50.07.01
при Інституті фізики напівпровідників НАН України за
адресою:
252650 МСП, Київ 28, проспект Науки, 45.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту
фізики напівпровідників НАН України.

Автореферат розісланий "23" грудня 1996р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради *Ellusef* ІЩЕНКО С. С.
Д50.07.01

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми досліджень. Сучасне суспільство використовує і виробляє колосальну кількість інформації. Продуктивність існуючих в даний час інформаційних технологій досягне своєї межі приблизно в 2000-у році на рівні 10^{11} - 10^{12} операцій за секунду [1*], що обумовлено обмеженнями фізичних механізмів, на яких базується мікроелектроніка.

Значні перспективи на шляху подальшого збільшення продуктивності обробки інформації мають оптоелектронні та оптичні методи, які будуть базуватись, в основному, на елементному базисі напівпровідникової інтегральної оптики. Приблизні оцінки продуктивності оптичного процесора в режимі конвеєрної обробки двовірних масивів багаторозрядних двоїчних операндів дають величину 10^{13} - 10^{14} операцій за секунду [1*]. Тому технологічний рівень виготовлення елементної бази інтегральної оптики в значній мірі визначає розвиток сучасних та майбутніх інформаційних технологій. Однак слід відмітити, що інтегральна оптика є найвимогливішою з усіх видів інформаційних технологій до технологічного забезпечення (достатньо відмітити, що шершавості бокових стінок каналних хвилеводів більших чим 500 \AA значно збільшують оптичні втрати із-за розсіювання полів мод). Це приводить до інтенсивних пошуків нових фізичних та технологічних принципів побудови елементного базису інтегральної оптики. Виходячи з структури побудови та принципів функціонування елементів інтегральної оптики можна стверджувати, що вивчення фізичних механізмів та практичних можливостей лазерної модифікації рефракції оптичних матеріалів є дуже актуальною проблемою. Це насамперед обумовлено безперечними перевагами лазерної технології, найважливішими з яких, насамперед для інтегральної оптики, є такі: висока локалізація впливу по площині підкладки, відносна простота керування впливом по глибині, можливість безпосереднього контролю параметрів лазерного променя та якості його впливу. Тому дослідження цієї проблеми є актуальними як з точки зору вивчення фізичних процесів, так і їх практичного застосування, що і передумовило постановку основної мети та конкретних напрямків досліджень в нашій роботі.

До 1980-1985 р. в основному була вирішена перша проблема інтегральної оптики-створення планарних хвилеводів та матеріалів, придатних для їх виготовлення [2*]. Але при цьому різні елементи виготовлялись на різних (в основному, на арсеніді галія та ніобаті літія) матеріалах з використанням різних, взаємно несумісних технологій. При цьому було встановлено, що найбільший інтерес для інтегральної оп-

тики представляють напівпровідники, так як тільки на них можна виготовляти всі активні та пасивні елементи інтегральної оптики, в тому числі монолітні інтегрально-оптичні схеми.

Друга проблема інтегральної оптики - створення монолітних інтегрально-оптичних схем, виготовлених на єдиній підкладці, на час виконання наших робіт не була вирішена.

Метою даної роботи було виявлення та дослідження механізмів незворотніх та зворотніх модифікацій рефракції напівпровідників типу $A^{III}B^V$ та $A^{II}B^{VI}$, придатних для формування мікроструктур інтегральної оптики, а також в дослідженні характеру розповсюдження світла в модифікованій (градієнтній) області як в процесі модифікації, так і після неї, коли розповсюдження світла визначається залишковим градієнтом показника заломлення.

Особлива мета цих досліджень була така:

1. Дослідження механізмів впливу слабоінтенсивного і потужного лазерного випромінювання на незворотні та зворотні зміни рефракції напівпровідників типу $A^{III}B^V$ та $A^{II}B^{VI}$.

2. Виявлення та дослідження нових фізичних ефектів в напівпровідниках типу $A^{II}B^{VI}$ після модифікації їх рефракції.

3. Дослідження оптичних властивостей мікроструктур та монолітних інтегрально-оптичних схем, виготовлених на напівпровідникових підкладках з використанням нових механізмів модифікації.

4. Виявлення та дослідження нових ефектів самовпливу в нелінійних середовищах.

Наукова новизна роботи. Результати дисертаційних досліджень дозволяють сформулювати новий науковий напрям - локальна зміна градієнтів рефракції напівпровідникових підкладок до наперед заданих величин.

1. Відкрита та досліджена незворотна гігантська модифікація (НГМ) рефракції напівпровідників типу $A^{III}B^V$ і $A^{II}B^{VI}$; показано, що при НГМ відбуваються дуже великі незворотні зміни їх рефракції (наприклад, при модифікації рефракції монокристалу CdS дійсна частина його показника заломлення зменшується на довжині хвилі 0,6328 мкм від 2,48 до 1,7); показано, що при НГМ склад напівпровідників в приповерхневому шарі товщиною 1,2 мкм суттєво змінюється. В цьому шарі по глибині умовно можна виділити три області: область з підвищеним вмістом металу (наприклад, в CdS на поверхні шару кадмію в 1,6 раз більше, ніж сірки), область з підвищеним вмістом металоїду і область, в якій відношення вмісту металу до вмісту металоїду з збільшенням глибини поступово наближується до стехіометричного значення.

2. Відкрито та досліджено нове оптичне явище - здатність монокристалу CdS, після модифікації його рефракції, модулювати світло з області його прозорості, світлом із області його власного поглинання.

3. Досліджено динаміку виникнення в напівпровідниках типу $A^{III}B^V$ і $A^{II}B^VI$ періодичних структур, створюваних з допомогою НГМ їх рефракції; показано, що виникаючі періодичні структури безрельєфні і дифрагують світло із-за періодичних змін показника заломлення.

4. Зарєстровані світлоіндуковані ґратки в генеруючих пластинчатих мікролазерах; показано, що руйнування (деградація) мікролазерів починаються в місцях розміщення світлоіндукованих ґраток; показано, що в деяких зразках є "біографічні" ґратки.

5. Показано, що пластинчаті мікролазери генерують імпульси з тривалістю 170-730 пс при одnofотонній нахачці їх імпульсами світла з тривалістю 15 нс. Показано, що в плоскопаралельних пластинчатих монокристалах виникають додаткові лінії генерації, які розташовані з короткохвильової сторони від основної області генерації. Теоретично та експериментально встановлено, що форма (довжина та кут клиновидності) клиновидного пластинчатого монокристалу впливає на його поріг лазерної генерації. Вперше експериментально показано, що лазерне випромінювання, яке виходить з пластинчатого мікролазера, заповнює всю апертуру торця резонатора і, після виходу з нього, розповсюджується у вигляді двох плоских хвиль.

6. Експериментально відкрито та досліджено нове нелінійно-оптичне явище - самовикривлення пучків світла з несиметричним профілем інтенсивності. Експериментально було зарєстровано нелінійне збільшення показника заломлення монокристалів CdS та NaCl під дією випромінювання гігантських імпульсів рубінового лазера відповідно на $2 \cdot 10^{-3}$ та $1,2 \cdot 10^{-4}$; при цьому було також зарєстровано в них відповідно зміщення екситонних ліній в довгохвильову сторону на 60 см^{-1} і виникнення центрів забарвлення.

7. Експериментально показана можливість створення на базі НГМ елементної бази інтегральної оптики (каналних хвилеводів, направлених відгалужувачів, рупорів уводу/виводу випромінювання в хвилеводи, фазових дифракційних ґраток, локальних хвилеводних фотоприймачів, контактних омичних площадок та інше, а також монолітних інтегрально-оптичних схем).

Практична цінність роботи полягає в наступному:

1. Встановлено та досліджено нове явище - незворотну гігантську модифікацію рефракції напівпровідників типу $A^{III}B^V$ та $A^{II}B^VI$.

2. Розроблено універсальний технологічний метод виготовлення практично всіх елементів інтегральної оптики та монолітних інтегрально-оптичних схем на напівпровідниках типу $A^{III}B^V$ та $A^{II}B^VI$.

3. Показано, що фізичні властивості напівпровідників типу $A^{III}B^V$ та $A^{II}B^{VI}$ можна цілеспрямовано та контрольовано змінювати.

4. Показана можливість нелокальної (з регульованою затримкою в часі від 0 с до 1,7 с) модуляції світла із областей прозорості напівпровідників типу $A^{III}B^V$ та $A^{II}B^{VI}$ з допомогою світла із областей їх власного поглинання (модулятори типу "світло-світло").

5. Встановлено та досліджено нове нелінійно-оптичне явище - самовикривлення світла, яке може бути використано в світлових локаторах для самосканувань лазерних пучків по куту з надвисокими швидкостями.

6. Показано, що пластинчаті мікролазери генерують пікосекундні імпульси при їх однофотонній накачці наносекундними імпульсами.

Рівень реалізації, впровадження наукових розробок.

Отримані результати дозволяють приступити до виготовлення пасивних елементів інтегральної оптики та інтегрально-оптичних схем на напівпровідниках типу $A^{III}B^V$ та $A^{II}B^{VI}$. Самовикривлення пучків світла з несиметричним профілем інтенсивності може бути використано для вимірювання оптичних коефіцієнтів нелінійності різних середовищ, а також в оптичних локаторах для просторової модуляції (сканування) світлових пучків. Гігантське фотовідбиття напівпровідників після модифікації їх рефракції може бути використано для модуляції інфрачервоного світла за допомогою світла ультрафіолетового або видимого діапазонів.

Достовірність отриманих результатів базується на використанні сучасних методик досліджень оптичних, електричних, фотоелектричних характеристик об'ємних та пластинчатих кристалів напівпровідників типу $A^{II}B^{VI}$ і $A^{III}B^V$. Використані методики і прилади були автоматизовані, а обробка експериментальних результатів проводилась з використанням персональних ЕОМ. Експериментальні результати аналізувались на основі сучасних теоретичних представлень про досліджувані ефекти та явища. Враховувались похибки вимірів та розкид експериментальних даних. Результати, отримані автором, порівнювались з теоретичними оцінками та літературними даними.

В дисертації захищаються:

1. Докази незворотної гігантської модифікації складу та структури приповерхневих областей напівпровідників $A^{II}B^{VI}$ і $A^{III}B^V$ n-типу, які відбуваються при одночасній дії на ці напівпровідники трьох факторів: випромінювання із області власного поглинання, високополярної рідини та атомів, розчинених в рідині, які можуть створювати на поверхні напівпровідників акцепторні центри, за рахунок витягування міжвузлових атомів катіонів та виникнення з них кластерів, що і є при-

чиною незворотної гігантської модифікації рефракції приповерхневих областей напівпровідників.

2. Експериментальні докази самовідхилення (самовикривлення) пучків світла з несиметричним профілем інтенсивності в нелінійному середовищі; установлені механізми оптичної нелінійності монокристалів CdS і NaCl та явища самофокусування в них.

3. Експериментальні докази існування динамічних ґраток, які записуються двома або декількома поперечними модами мікролазера в нелінійному монокристалі CdS, одна з яких є витікаючою модою і її випромінювання заповнює всю апертуру торця резонатору (ближнє поле) та формує рефлексії інтенсивності в дальньому полі; установлені однозначні відповідності між формою резонатору пластинчатого мікролазера і його критичною довжиною та виникненням додаткової короткохвильової полоси генерації.

4. Оптичні властивості структур інтегральної оптики (їх фазовий і безрельєфний характер), які створені з допомогою незворотної гігантської модифікації складу приповерхневих областей напівпровідників типу $A^{III}V^V$ та $A^{II}V^VI$ n-типу та пороги густин потужностей випромінювання, при яких спостерігалось їх формування.

5. Методи створення елементів напівпровідникової інтегральної оптики (канальних хвилеводів, направлених відгалужувачів, рупорів вводу/виводу випромінювання в канальні хвилеводи, фазових дифракційних ґраток, локальних хвилеводних фотоприймачів, контактних омичних площадок та ін.), а також монолітних інтегрально-оптичних схем на базі фізичних властивостей незворотної гігантської модифікації рефракції напівпровідників типу $A^{II}V^VI$ та $A^{III}V^V$.

6. Експериментальні докази властивості модифікованої поверхні напівпровідника нелокально модулювати світло із області його прозорості, світлом із області його власного поглинання; нелокальна модулююча дія передається по модифікованому напівпровіднику з швидкістю 1 см/сек; фотовідбиття модифікованої поверхні напівпровідника зростає в 100 раз в порівнянні з фотовідбиттям немодифікованої поверхні напівпровідника, а його величиною можна керувати з допомогою зовнішнього електричного поля.

Публікації. Основні результати дисертації викладені в 60 наукових роботах, що опубліковані в ведучих вітчизняних та зарубіжних журналах, та двох патентах України на винаходи.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідались на таких міжнародних конференціях: I Всесоюзний сімпозіум по самофокусуванню (Н. Новгород, 1966), II, IV, V, VI Всесоюзні конференції по нелінійній оптиці (Новосибірськ, 1966; Київ, 1968; Кишинів, 1970; Мінськ, 1972), II Всесоюзна конференція по напівпровідникових з'єд-

наннях групи $A^{IV}V^{VI}$ і їх використанню (Ужгород, 1969), VII Міжнародна конференція по квантовій електроніці (Монреаль, 1972), V Всесоюзна конференція "Фізика і технічне використання напівпровідників $A^{IV}V^{VI}$ " (Вільнюс, 1983), I Всесоюзна конференція "Інтегральна оптика. Фізичні основи. Використання" (Новосибірськ, 1984), Всесоюзна конференція "Функціональна оптоелектроніка в обчислювальній техніці та пристрої керування" (Тбілісі, 1986), III Всесоюзна конференція "Фізика та технологія широкозонних напівпровідників" (Махачкала, 1986), V Всесоюзна конференція "Оптика лазерів" (С.-Петербург, 1987), III Міжнародна конференція по сучасній оптиці (Будапешт, 1988), XIII Міжнародна конференція по когерентній і нелінійній оптиці (Мінськ, 1988), XX Всесоюзна конференція по спектроскопії (Київ, 1988), V Всесоюзна конференція "Безсеребряні та незвичайні процеси" (Суздаль, 1988), VII Всесоюзна конференція "Взаємодія випромінювання з речовиною" (С.-Петербург, 1988), XII Всесоюзна конференція по фізиці напівпровідників (Київ, 1990), II Всесоюзна конференція "Фотоелектричні явища в напівпровідниках" (Ашхабад, 1991), Міжнародна конференція "Фото-рефрактивні матеріали, ефекти та прилади" (Київ, 1993), Міжнародна конференція "Толографія, кореляційна оптика та реструючі середовища" (Чернівці, 1993), V Всесоюзна конференція "Оптика лазерів, 93" (С.-Петербург, 1993), Міжнародна конференція "Лінійна та нелінійна інтегральна оптика: теорія розповсюдження, моделі, параметри" (FRG, Lindau, 1994), Міжнародна конференція "Технологія виготовлення наноструктур та приладів" (ФРГ, Lindau, 1994), Міжнародна конференція E-MRS-1994. (France, Strasbourg, 1994), Міжнародна конференція "Optical Diagnostics of Materials and Devices for Opto-, Micro-, and Quantum Electronics" (Київ, 1995), Міжнародна конференція "Material Science and Material Properties for Infrared Optoelectronics" (Uzhgorod, 1996).

По темі дисертації опубліковано 60 робіт. Список основних робіт наведено в кінці автореферату.

Особистий внесок автора полягає в розробці основних фізичних ідей дисертації, постановці задач досліджень і виборі методів їх вирішення та в інтерпритації і узагальненні наукових результатів, отриманих автором і співробітниками його групи, провідній ролі в аналітичних та чисельних розрахунках.

Всі отримані в дисертації результати доповідалась автором особисто на наукових конференціях та семінарах.

Структура дисертації. Дисертація складається з вступу, 5 глав та висновку. Зміст дисертації викладено на 379 сторінках машинописного тексту та включає 157 рисунків і 4 таблиці. Список літератури містить 262 найменувань.

ЗМІСТ РОБОТИ.

В першій главі стисло викладено основні методи зміни рефракції приповерхневої області напівпровідникової підкладки, які використовуються (іонна імплантація, протонна бомбардування, дифузія) для виготовлення оптичних хвилеводів.

Упровадження атомів або створення дефектів в приповерхневому шарі твердого тіла шляхом її бомбардування прискореними іонами (іонна імплантація) чи протонами сьогодні використовується досить широко в мікроелектроніці та інтегральній оптиці. Іонна імплантація та бомбардування протонами дозволяють збільшувати як дійсну, так і уявну частини комплексного показника заломлення відповідно шляхом заміщення атомів в ґратці кристалів примісними іонами з високою поляризацією або шляхом створення нових енергетичних рівнів в напівпровіднику, які захоплюють вільні носії, локально збільшуючи його показник заломлення. Оскільки після великих доз імплантації сильно збільшуються оптичні втрати, то для зниження їх до прийнятних величин потрібно проводити додатковий термічний відпал ($180-300^{\circ}\text{C}$), який усуває створені дефекти кристалічної ґратки та стимулює заміщення введеними іонами власних іонів кристалу. При відпалі досягається компроміс між величинами зменшення втрат (від 200 дБ/см до 3 дБ/см) та приросту показника заломлення (від $\sim 0,1$ до 10^{-3}), достатніми для отримання хвилеводів з прийнятними параметрами. Цими методами були виготовлені хвилеводи на GaAs, CdTe, GaP, HgTe и ZnTe.

Дифузія домішкових атомів широко використовується в технологічних процесах напівпровідникової мікроелектроніки і досить детально вивчена. Але для виготовлення хвилеводів на напівпровідниках цей метод мало використовувався і, в основному, тільки на напівпровідниках $A^{II}B^{VI}$. Дифузію халькогенів або металів проводили в монокристалічній підкладці напівпровідників $A^{II}B^{VI}$ з послідовним формуванням твердого розчину в їх приповерхневій області, поверхня якої із зеркальної перетворювалась із-за термічного травлення на матову, що призвело до сильного розсіювання світла. Метод дифузії змінював показник заломлення на поверхні хвилеводу на $0,17$, а втрати - до 3 дБ/см . При виготовленні каналних хвилеводів використовувались маски (при дифузії плівки оксидів SiO_2 або Al_2O_3 , при імплантації - благородних металів Au або Pt). При цьому втрати каналних хвилеводів збільшувались в $1,5-3$ рази в порівнянні з втратами планарних хвилеводів виготовлених аналогічними методами.

Для виготовлення елементів інтегральної оптики, описаними вище методами, необхідно користуватись унікальним, високоцінним та енергоємним обладнанням, що дуже здорожчує інтегрально-оптичну

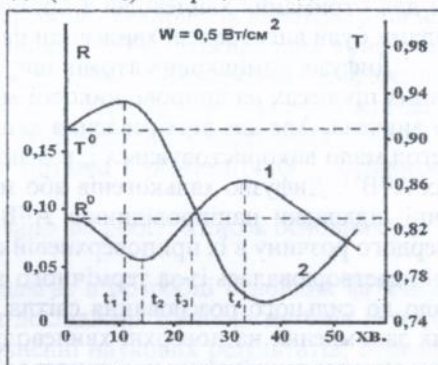
продукцію і робить її неконкурентноспроможною з виробами мікроелектроніки. Тому сьогодні дуже актуальними є пошуки та дослідження нових механізмів незворотної модифікації фізичних властивостей напівпровідників, а також розробка на їх основі нових технологічних способів виготовлення елементів інтегральної оптики.

В другій главі викладені теоретичні та експериментальні дослідження нового метода незворотної гігантської модифікації (НГМ) рефракції напівпровідників типу $A^{III}B^V$ та $A^{II}B^VI$ при одночасній дії на напівпровідники трьох факторів: випромінювання із області власного поглинання, високополярної рідини та атомів, розчинених в рідині, які можуть створювати на поверхні напівпровідників акцепторні центри. Обговорено механізми НГМ та збагачення приповерхневої області при цьому, а також механізм зміни оптичних властивостей напівпровідників при врахуванні впливу форми та концентрації кластерів.

Експериментальні зразки розміщувались в кюветі з бідистильованою водою (високополярна рідина) і опромінювались лазерним випромінюванням з міліватною густиною потужності. Типова - динаміка НГМ приведена на мал.1, де крива 1 і крива 2 відповідно показують як залежать від часу опромінення коефіцієнти відбиття R та пропускання T приповерхневої області монокристалу CdS на довжині хвилі зондуєного He-Ne-лазера.

Видно, що на початковій стадії ($0 < t < t_2$) коефіцієнт відбиття R монотонно зменшується, а коефіцієнт пропускання T майже в

протифазі повільно збільшується до моменту часу t_1 ($0 < t < t_1$), при $t = t_1$ він досягає максимального значення і потім повільно зменшується в проміжку часу $t_1 < t < t_2$. З мал.1 також видно, що коефіцієнт пропускання T досягає максимального значення раніш, ніж коефіцієнт відбиття R досягає мінімального значення. Така закономірність спостерігається завжди і є його характерною рисою. Експериментальним шляхом було встановлено, що різниця часу ($t_2 - t_1$) залежить від питомого опору модифікуємих монокристалів і може досягати 8-10 хвилин. В відбитому світлі на стадії після проходження мінімуму на поверхні монокристалу поступово з'являється блискуча плівка з

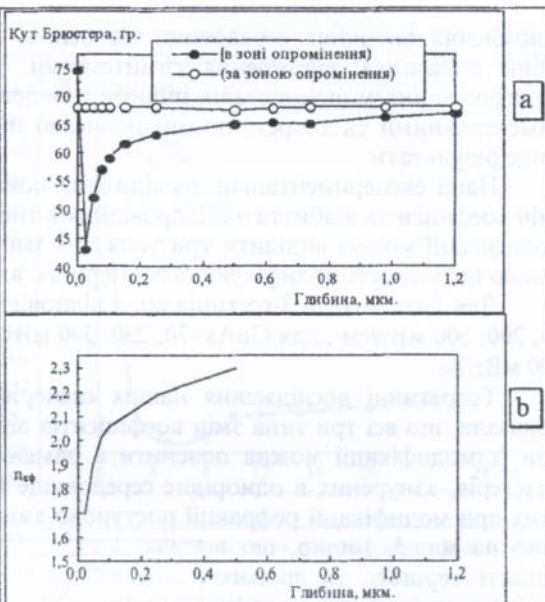


Мал.1. Динаміка НГМ рефракції монокристалу CdS . Густина потужності опромінення 500 мВт/см^2 . Поверхня (0001)A.

характерним металевим блиском, а в проходячій світлі, в аналогічні моменти часу на ділянці зменшення коефіцієнту пропускання T , опромінювана область монокристалу поступово набуває коричневого відтінку. При досягненні максимального значення (момент часу t_4 , мал.1, крива 1) коефіцієнт відбиття R (в воді) деяких об'ємних монокристалів збільшувався до величини 20%, що значно перевершує початкове значення коефіцієнта відбиття монокристалу CdS у воді, яке дорівнює $R^0=9,1\%$.

Експериментальні дослідження кутових залежностей коефіцієнтів відбиття $R_{\parallel}(\Theta)$ поверхні монокристалу CdS до і після його модифікації показали (мал.2), що при модифікації кут Брюстера (Θ) монокристалу зменшується. Так як дійсна частина показника заломлення зв'язана з кутом Брюстера (Θ) як $tg(\Theta)=n$, то ясно, що при модифікації відбувається зменшення показника заломлення приповерхневої області монокристалу. Кількісне значення ефективного показника заломлення в рамках моделі однорідного шару з $n_{\text{эф}}$ і товщиною $l_{\text{эф}}$ можна визначити по значенню кута Θ_c , при якому перетинаються кутові залежності коефіцієнтів відбиття $R_{\parallel}(\Theta)$ модифікованої і немодифікованої поверхні монокристалу ($n_{\text{эф}} = tg\Theta_c$).

Пошарові зтравлювання модифікованої поверхні низькоомного зразка та виміри $n_{\text{эф}}$ при цьому на довжині хвилі 6328 \AA показали, що ефективний показник заломлення самої верхньої частини приповерхневої області зменшується від значення 2.48 (до модифікації) до значення 1,7 (після модифікації). Ми вважаємо, що це є найбільші із відомих нам незворотніх змін дійсної частини комплексного показника



Мал.2. Залежність кута Брюстера (а) монокристалу CdS та ефективного показника заломлення (б) в та за областю опромінення в залежності від товщини знятого шару.

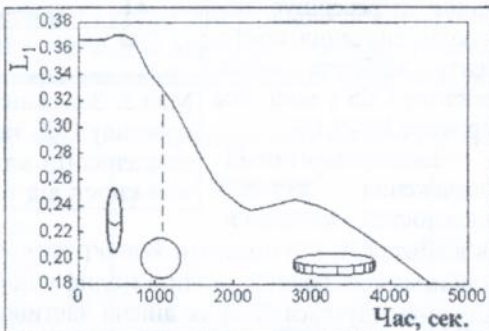
заломлення оптичних середовищ. На основі цього ми називаємо ці зміни показника заломлення гігантськими. Дослідження рефракції модифікованих монокристалів іншими незалежними методами (експериментальними та теоретичними) повністю підтверджують приведені вище результати.

Наші експериментальні дослідження показали, що по характеру змін коефіцієнтів відбиття напівпровідників типу $A^{III}B^V$ та $A^{II}B^{VI}$ при їх модифікації можна виділити три типи цих змін, які визначаються густиною потужності модифікуючого лазерного випромінювання.

Для 1-го, 2-го та 3-го типів вони відповідно складають: для CdS - 30, 200, 500 мВт/см², для GaAs - 70, 230, 300 мВт/см², для CdTe - 300, 400, 600 мВт/см².

Теоретичні дослідження наших експериментальних результатів показали, що всі три типи змін коефіцієнтів відбиття напівпровідників при їх модифікації можна пояснити в рамках моделі еліпсоїдальних кластерів, занурених в однорідне середовище напівпровідника, форма яких при модифікації рефракції поступово змінюється так, як це показано на мал.3. Видно, що в області першого та другого мінімумів коефіцієнту відбиття геометричний фактор кластерів L_1 має відповідно значення 0,36669 та 0,2367.

Спочатку, при значенні геометричного фактору $L_1=0,36669$, в приповерхневій області напівпровідника створюються кластери у вигляді

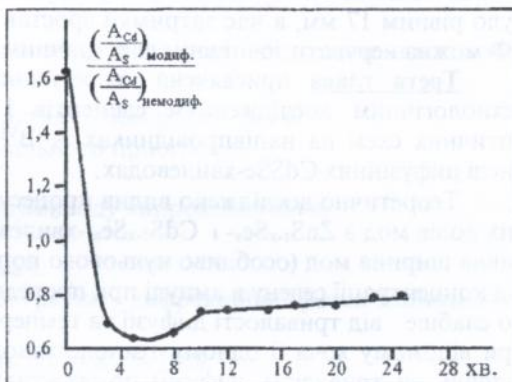


Мал.3. Залежність геометричного фактору кластерів L_1 , які виникають при гігантській модифікації рефракції монокристалів CdS, від часу модифікації.

сильно витягнутих ("голки") сфероїдів, велика половина яких орієнтована перпендикулярно до поверхні монокристалу, а потім,

при значенні геометричного фактору $L_1=0,2367$, створюються кластери у вигляді сильно сплюснутих ("диски") сфероїдів, велика половина яких орієнтована паралельно поверхні монокристалу. Тобто з експериментальних результатів слідує, що спочатку створюються кластери в вигляді "голок", форми яких поступово, по мірі підходу нових міжвузлових атомів металу до приповерхневої області, змінюються від "голок" до шарів та далі до "дисків".

Дослідження хімічного складу модифікованої області монокристалу (Оже-електронна спектроскопія та електронний мікросонд) показали, що в ній дуже сильно збільшено вміст металу (наприклад, біля поверхні CdS після модифікації його рефракції вміст Cd в 1,6 рази (мал.4) перевищує стехіометричне значення; це значно перевищує межу розчинності Cd в CdS і тому тут повинні бути виділення кластерів Cd). Присутність кластерів в модифікованих приповерхневих шарах напівпровідників типу $A^{III}B^V$ та $A^{II}B^VI$ було підтверджено нашими дослідженнями з допомогою електронного (GaAs) та оптичного (CdS) мікроскопів.



Мал.4. Залежність нормованого відношення Оже-піків кадмію до Оже-піків сірки модифікованої приповерхневої області від глибини (від часу зтравлення іонами аргону). Нормування проведено на аналогічне відношення Оже-піків в неопромінюваній області кристалу CdS.

Підсумовуючи всі інші теоретичні та експериментальні дослідження можна дати наступне визначення явища НГМ рефракції напівпровідників типу $A^{III}B^V$ та $A^{II}B^VI$.

НГМ - це складний процес, який відбувається в напівпровідниках тільки при одночасній дії на нього випромінювання із області власного поглинання, високополярної рідини та атомів, розчинених в рідині, які можуть створювати на поверхні напівпровідників акцепторні центри. При цьому відбувається зарядка поверхні монокристалу, переміщення донорів до поверхні полем приповерхневого вигину зон, розщеплення в приповерхневій області напівпровідника донорних рівнів флюктуючим полем високополярної рідини, нейтралізація донорів, об'єднання міжвузлових нейтральних атомів металу в кластери та зміна їх форми.

Після модифікації рефракції напівпровідник отримує нові фізичні властивості, які він не мав до модифікації. Наприклад, модифікований напівпровідник CdS набуває властивість гігантського фотовідбиття (ГФ), тобто властивість зворотно змінювати коефіцієнт відбиття на довжині хвилі λ_1 (з області прозорості) під дією світла іншої довжини хвилі λ_2 (з області власного поглинання). Якщо пучок підсвіттки (λ_2) і

зондуєчий пучок (λ_1) не перекриваються та рознесені на деяку відстань l , то час затримки модуляції зондуєчого пучка зростає лінійно з збільшенням відстані l . В наших експериментах максимальне значення l було рівним 17 мм, а час затримки зростав до 1700 мсек. Амплітудою ГФ можна керувати зовнішнім електричним полем.

Третя глава присвячена теоретичним, експериментальним та технологічним дослідженням елементів і монолітних інтегрально-оптичних схем на напівпровідниках $A^{III}B^V$ (CdS , $CdSe$, $CdTe$), у тім числі дифузійних $CdSSe$ -хвильоводах.

Теоретично досліджено вплив процесу дифузії на розподіл світлових полів мод в $ZnS_{1-x}Se_x$ - і $CdS_{1-x}Se_x$ -хвильоводах та показано, що ефективна ширина мод (особливо нульового порядку) залежить перш за все від концентрації селену в ампулі при проведенні процесу відпалу і значно слабше - від тривалості дифузії та температури відпалу. Це дозволяє при відомому хоча б одному технологічному параметрі (температура відпалу чи тривалість дифузії) по ефективній смузі світла, яке виходить з збудженого хвильоводу, приблизно вирахувати кількість мод маломодового хвильоводу.

Теоретично досліджено залежність ефективної ширини мод низького порядку при поступовому пошаровому знятті верхньої частини багатомодового дифузійного хвильоводу і показано, що вона (ефективна ширина моди) при наближенні залишку товщини хвильоводу до критичного значення різко збільшується. Це явище було нами використано для точного визначення кількості мод в залишку товщини хвильоводу і покладено в основу методики виготовлення маломодових (2-3) або одномодових хвильоводів з низьким (3 дБ/см) затуханням.

Проведено експериментальні дослідження каналних хвильоводів та рупорів уводу/виводу випромінення в хвильоводи, виготовлених на напівпровідниках $A^{III}B^V$ і $A^{II}B^{VI}$ з допомогою явища НГМ.

Теоретично та експериментально досліджено динаміку виникнення в напівпровідниках типу $A^{III}B^V$ і $A^{II}B^{VI}$ періодичних структур, створюваних з допомогою НГМ їх рефракції. Показано, що виникаючі періодичні структури безрельєфні та дифрагують світло із-за періодичних змін показника заломлення приповерхневої області підкладинок. На основі виконаних досліджень розроблено оригінальний метод виготовлення малощумлячих дифракційних ґраток (з періодами від 0,3 мкм до 10 мкм) на напівпровідниках типу $A^{III}B^V$ та $A^{II}B^{VI}$ (на основі явища НГМ).

На основі виконаних в главі 3 досліджень розроблена комплексна оригінальна методика виготовлення монолітних інтегрально-оптичних схем (МІОС) та показані переваги МІОС, виготовлених з допомогою явища НГМ.

Приведемо основні параметри монолітних інтегрально-оптичних приймальних схем, виготовлених нами з допомогою явища НГМ:

- 1). Основа каналного хвилеводу - планарний дифузійний CdSSe-хвилевод на підкладці із CdS.
- 2). Канальний хвилевод орієнтовано під кутом 90° до оптичної вісі монокристалу.
- 3). Робоча поверхня монокристалу - поверхня $11\bar{2}0$.
- 4). Складові елементи приймального пристрою:
 - ввідний рупор,
 - дифракційна ґратка уводу/виводу випромінювання,
 - каналний хвилевод,
 - хвилеводний фотоприймач.
- 5). Розміщення дифракційної ґратки - дифракційна ґратка записана на ввідному рупорі.
- 6). Дифракційна ефективність ґратки - $5\div 10\%$.
- 7). Тип фотоприймача - фоторезистор.
- 8). Матеріал електричних контактів - In-Ga.
- 9). Оптичні параметри приймального пристрою:
 - робоча довжина хвилі, мкм - 0,6328,
 - кут уводу випромінювання в ґратку, град. - $30^{\circ} \div 40^{\circ}$,
 - період дифракційної ґратки, мкм - 0,33.
- 10). Геометричні параметри приймального пристрою:
 - довжина каналного хвилеводу, мкм - $800 \div 1130$,
 - ширина каналного хвилеводу, мкм - $30 \div 40$,
 - площа контактних площадок, мкм - $4,5 \times 10^2$.
- 11). Електричні параметри приймального пристрою:
 - робоча напруга, В - 5,
 - відношення темного опору фотоприймача до світлового - $10^2 \div 10^3$.

В четвертій главі викладені дані про теоретичні та експериментальні дослідження хвилеводних мікролазерів видимого діапазона на пластинчатих монокристалах напівпровідників $A^{II}B^{VI}$. Експериментально було показано, що пластинчаті монокристали являють собою регулярні та нерегулярні оптичні хвилеводи і це, природно, потрібно враховувати при дослідженні розповсюдження світла в них. Бічні грані пластинчатих монокристалів - це площини росту, торцеві - площини сколу їх по площинам спайності, тобто бічні та торцеві грані мають ідеальні оптичні поверхні. Тому пластинчатий монокристал (відрізок хвилевода довжиною L) є високодобротний оптичний резонатор для хвилеводного мікролазера. Нами був виконаний теоретичний аналіз залежності коефіцієнтів повних втрат α_{Σ} мод від геометричних (тов-

щина та довжина резонатора) та оптичних (показник заломлення, ефективний показник заломлення, номер моди, довжина хвилі, поляризація) параметрів пластинчатих монокристалів. Було показано, що $\alpha_{\Sigma n\lambda} = \alpha_{AN\lambda} + \alpha_{DN\lambda}$, де $\alpha_{AN\lambda}$ і $\alpha_{DN\lambda}$ - відповідно коефіцієнти абсорбційних та дифракційних втрат мод. Для знаходження коефіцієнту дифракційних втрат m -ї моди, який дорівнює

$$\alpha_{DN\lambda} = \frac{1}{L} \ln\left(\frac{1}{R_{N\lambda}}\right), \quad (1)$$

поле моди розкладавалось усередині (область 1) та зовні (області 2 і 3) монокристалу на плоскі хвилі, виконуючи перетворення Фур'є [3*], і визначався вклад кожної із областей в коефіцієнт відбиття моди $R_{N\lambda}$, який описується виразом:

$$R_{N\lambda} = \frac{P_{RN\lambda}}{P_{\Sigma n\lambda}}, \quad (2)$$

де $P_{\Sigma n\lambda} = (P_{1N\lambda} + P_{2N\lambda} + P_{3N\lambda})$ - потужність m -ї моди, падаючої на торець, $P_{1N\lambda}$ і $P_{3N\lambda} = P_{2N\lambda}$ - потужності m -ї моди, які падають на торець відповідно в областях 1, 2 та 3, $P_{RN\lambda} = (P_{RN\lambda}^{(1)} + P_{RN\lambda}^{(2)} + P_{RN\lambda}^{(3)})$ - потужність m -ї моди відбитої від всього торця, $P_{RN\lambda}^{(1)} = [\Gamma_{\lambda}^{(1)}]^2 P_{1N\lambda}$ - потужність m -ї моди відбитої від торця в області 1, $P_{RN\lambda}^{(2)} = P_{RN\lambda}^{(3)} = [\Gamma_{\lambda}^{(2)}]^2 P_{2N\lambda}$ - потужність m -ї моди відбитої від торця відповідно в області 2 і 3, $\Gamma_{\lambda}^{(k)}$ - амплітудний коефіцієнт відбиття m -ї моди в областях 1,2 і 3, який дорівнює

$$\Gamma_{\lambda}^{(k)} = \frac{\int R_v F_{(v)}^{(k)} dv}{\int F_{(v)}^{(k)} dv} \quad (3)$$

Тут R_v - френелівський коефіцієнт відбиття плоскої хвилі, $F_{(v)}^{(k)}$ - амплітудний спектр плоских хвиль, на які розкладається поле m -ї моди в областях 1, 2 і 3 ($k=1,2,3$).

Величина абсорбційних втрат описується виразом [4*]:

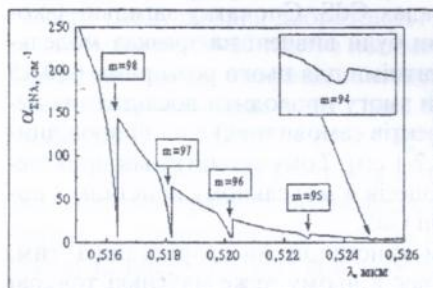
$$\alpha_{AN\lambda} = K_{\lambda} \Gamma_{N\lambda} \frac{n_1}{\gamma} \quad (4)$$

де $\Gamma_{N\lambda}$ - коефіцієнт локалізації, який є відношенням потужності випромінювання в області 1 резонатора $P_{1N\lambda}$ до величини повної потужності $P_{\Sigma n\lambda}$ [5*], K_{λ} і n_1 - відповідно коефіцієнт поглинання та показник заломлення CdS на довжині хвилі λ , $\gamma = \beta/k$ - ефективний показник залом-

лення хвилевода, β - повздовжня постійна розповсюдження, $k = 2\pi/\lambda$ - хвильове число, $m = 1, 2, 3, \dots$ - порядок моди. Для симетричного хвильового резонатора в повітрі для TE-мод маємо:

$$\Gamma_{NA} = \frac{P_{1NA}}{P_{\Sigma NA}} = \frac{h + \frac{\lambda\sqrt{\gamma^2 - 1}}{\pi(n_1^2 - 1)}}{h + \frac{\lambda}{\pi\sqrt{\gamma^2 - 1}}} \quad (5)$$

Із (1) і (4) видно, що для знаходження α_{DNL} і α_{ANL} на деякій довжині хвилі λ необхідно розраховувати значення R_v , $F_{(v)}^{(k)}$ і Γ_{NA} для кожної моди окремо. На мал.5 приведено спектр повних втрат резонатора хвильового мікролазера на пластинчатому монокристалі CdS.



Мал.5. Спектральна залежність повних втрат мікролазера для ТМ-мод вищих порядків (до 98-ї моди включно) при наступних параметрах: товщина та довжина резонатора $h=9,95$ мкм, $L = 1$ см відповідно (на вставці провал для 94-ї моди).

Видно, що на деяких довжинах хвиль існують глибокі провали, де втрати мод значно менші урбаховських. Це чинить сильний вплив на спектр генерації мікролазера на пластинчатих монокристалах, породжуючи появу короткохвильових смуг генерації. При збільшенні кута клиновидності глибина провалів на спектрі повних втрат зменшується. Кут клиновидності при якому зникають провали ми прийняли за критерій поділу пластинчатих монокристалів на плоскопаралельні та клиновидні. Нами здійснено теоретичний аналіз впливу форми клиновидних монокристалів на процес лазерної генерації в них і показано, що кількість поперечних мод, на яких виникає генерація, залежить від його форми (при кожному куті клиновидності існує критична довжина монокристалу, при якій ще можлива лазерна генерація).

Вперше зареєстровані динамічні ґратки в генеруючих пластинчатих мікролазерах, які записуються двома або декількома поперечними модами мікролазера в нелінійному монокристалі CdS, одна з яких є витікаючою модою і її випромінювання заповнює всю апертуру торця резонатору (ближнє поле) та формує рефлекси інтенсивності в дальньому

полі. Теоретично показано, що енергія, яка переноситься в "хвостах" поперечних мод, виходить з резонатору в областях ребер торців монокристалу і дифрагує зразу ж за площиною торців в кути π радіан, але основна їх енергія зосереджена в невеликому куті ($\sim 14^\circ$). Величина цього кута залежить від номера поперечних мод і він тим менший, чим більший номер мод.

Показано, що руйнування (деградація) мікролазера починається в місцях розміщення "штрихів" світлоіндукованих ґраток.

Експериментально досліджена динаміка генерації хвилеводних мікролазерів на пластинчатих монокристалах і вперше показано, що вони генерують імпульси з тривалістю 0,170-0,730 нс при накачці їх імпульсами світла з тривалістю 15 нс.

В п'ятій главі приведені дослідження нелінійних властивостей та нелінійних хвилеводів в монокристалах CdS. Спочатку загальні закономірності нелінійних процесів нами були вивчені на зразках модельних об'єктів (кристали NaCl), з достатніми для цього розмірами (10-15 см), і лише після цього ми отримали змогу проводити дослідження нелінійних процесів (в першу чергу ефектів самовпливу) в напівпровідникових зразках невеликих розмірів (0,2-1 см). Тому спочатку ми приведемо наші дослідження нелінійних процесів в модельному кристалі, а потім - в напівпровідниковому кристалі CdS.

В експериментах з модельним кристалом ми скористались тим, що потужний лазерний пучок створює в ньому дуже маленькі точкові руйнування, які високоякісно відображують форму пройшовшого крізь нього пучка (в кристалі залишається об'ємна фотографія пучка).

При дослідженні характеру поширення пучка в модельному кристалі з несиметричним профілем інтенсивності нами вперше експериментально спостерігалось нове нелінійно-оптичне явище - самовикривлення світла, яке трохи раніше було передбачено теоретично Капланом О.Е. [6*]. В роботі [6*] було показано, що в нелінійному середовищі, показник заломлення якого залежить від світлового поля E як $n = n_0 + n_2 E^2$, пучок світла з асиметричним профілем інтенсивності самовикривляється, а радіус кривизни траєкторії самовикривлення R сферичної хвилі дорівнює

$$R_c = f_c \frac{a^2}{(a^2 + \phi)^{3/2}}. \text{ Тут } f_c = \frac{a}{2} \sqrt{\frac{n_0}{n_2 \delta E_0^2}} - \text{довжина "нелінійної фокусної відстані"},$$

a - поперечний розмір пучка ($a \ll R$), δE_0^2 - квадратична компонента світлового поля, ϕ - кут відхилення пучка від початкового напрямку. Приведені міркування справедливі в наближенні геометричної оптики. Якісне врахування дифракції приводить до зміни амплітудного профілю пучка, а це, в свою чергу, веде до того, що радіус кри-

визни збільшується до тих пір поки траєкторія пучка не перетвориться в пряму лінію. Якщо вважати, що пучок позбувається свого початкового амплітудного профілю на дифракційній

довжині $l_d \approx n_0 a^2 \frac{2\pi}{l_0}$, то максимальний

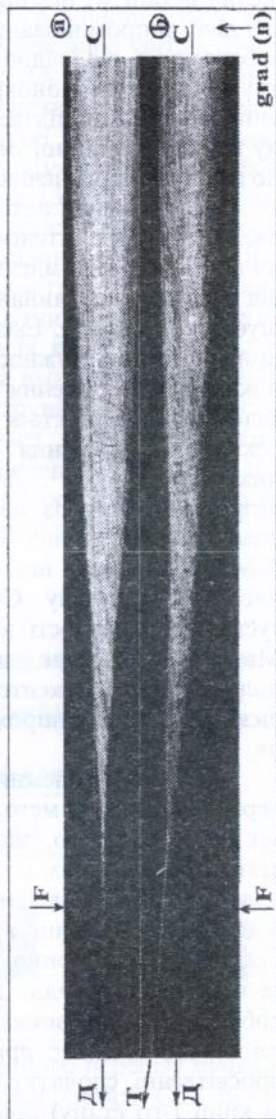
кут відхилення пучка дорівнює

$$\phi_m \approx \frac{l_d}{R_0} = \frac{2\pi a}{\lambda_0} n_2 \Delta E^2 = \frac{16\pi n_2 P}{\lambda_0 n_0^2 c a} \quad (6)$$

Експериментальне дослідження самовикривлення підфокусованого пучка рубінового лазера (модульована добротність, середня пікова потужність 50-80 Мвт) з несиметричним (б) і симетричним (а) профілями інтенсивності виконані в монокристалі NaCl (мал.6,а,б). Максимальний кут відхилення пучка ϕ_m досягав 6° .

В формулі (6) P - повна потужність пучка, який має градієнт інтенсивності, a - діаметр пучка в області викривлення, λ_0 і c - довжина хвилі та швидкість світла в вакуумі відповідно. Якщо прийняти, в відповідності з дослідом, $P=5 \cdot 10^{14}$ зрг/сек і $a=0,01-0,03$ см (границі змін в області викривлення), то отримаємо $n_2=(0,7-2) \cdot 10^{-13}$ од. CGSE; при цьому абсолютна зміна показника заломлення ($\Delta n=n_2 \cdot E^2$) відповідно дорівнює $0,7 \cdot 10^{-13} \cdot 17,3 \cdot 10^8=12 \cdot 10^{-5}$ або $2 \cdot 10^{-13} \cdot 1,92 \cdot 10^8=3,8 \cdot 10^{-5}$, тобто $\Delta n=(4-12) \cdot 10^{-5}$.

Викривлення пучка в напрямі поперечно-го градієнта його інтенсивності свідчить про позитивну зміну показника заломлення кристалу NaCl під дією світлового поля. Значення коефіцієнту n_2 в монокристалі NaCl та його знак були вперше визначені нами. Позитивний знак n_2 підтверджується і явищем самофокусування лазерних пучків з симетричним профілем інтенсивності (довжина нелінійних хвилеводів в наших експериментах досягала величини 16-17 мм). Наші детальні дослід-

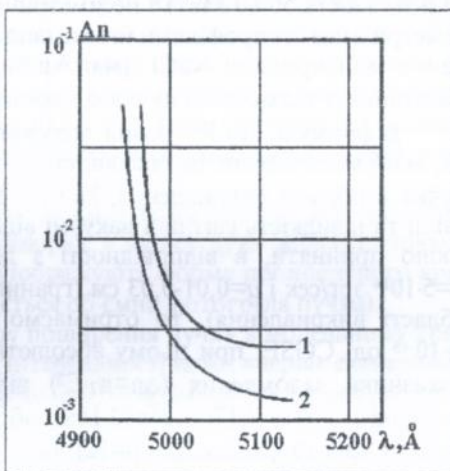


Мал.6. Самовикривлення пучка світла при несиметричному (б) і симетричному (а) розподілі інтенсивності в його перерізу.

ження механізму нелінійності монокристалу NaCl вперше показали, що під дією випромінювання рубінового лазера в ньому виникають центри забарвлення, які і відповідальні за його нелінійність. Дослідження спектру поглинання монокристалу NaCl в момент дії на нього лазерного випромінювання підтвердили не тільки якісно, але й кількісно величину та знак нелінійної зміни показника заломлення, визначених незалежно по самовикривленню лазерного пучка.

Дослідження нелінійних властивостей монокристалу CdS показали, що з ростом інтенсивності імпульсу світла в часі нелінійна добавка до показника заломлення монокристалу CdS з довгохвильової сторони від його краю поглинання спочатку зростає (1-й етап), а потім - зменшується (2-й етап). Експериментально було показано, що на 1-у етапі при густинах потужності до 80-100 Мвт/см² одночасно з збільшенням показника заломлення (на довжині хвилі рубінового лазера показник заломлення змінюється в третьому знаці) (мал.7), спостерігається і довгохвильове зміщення екситонних ліній на 60 см⁻¹. Детальний теоретичний аналіз цих експериментальних даних Генкіним В.М.[7*] показав, що за зміну дисперсії кристалу CdS (при густинах потужності до 80-100 Мвт/см²) відповідає нелінійна поляризуємість екситонів під дією лазерного випромінювання.

Двома незалежними експериментальними методами нами було показано, що на 2-у етапі при густинах потужності вище 110-150 Мвт/см² починається просвітлення кристалів CdS в областях зонно-зонних і екситонних переходів. Від'ємна добавка до показника заломлення, що виникає при цьому



Мал.7. Зміна дисперсії монокристалу CdS під дією випромінювання рубінового лазера. 1 - експериментальна і 2 - теоретична [7*] криві.

просвітленні, спочатку сповільнює ріст показника заломлення, а потім (в кінці 1-го етапу) повністю компенсує позитивну добавку до показника заломлення і при дальшому рості інтенсивності поступово зменшує його. Це призводить до насичення нелінійності монокристалу CdS.

Експериментально виміряні та розраховані (по зміщенню екситонних смуг) збільшення показника заломлення кристалу CdS на дов-

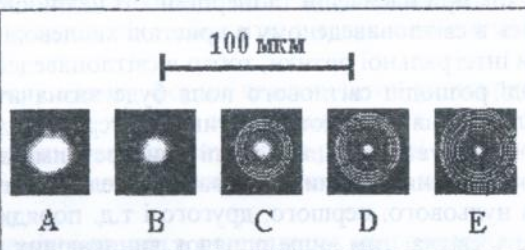
жині хвилі 0,6943 мкм настільки значні (досягають величини $2 \cdot 10^{-3}$), що їх цілком достатньо для виникнення ефектів самовпливів світла. Дослідження еволюції діаметра пучка рубінового лазера при збільшенні його інтенсивності на вході в монокристал CdS показали, що при потужності 300 кВт (~ 150 МВт/см² в лінійному фокусі лінзи з фокусною відстанню 13 см) виникає його самофокусування. Пучок світла (підфокусований в зразок лінзою з фокусною відстанню 13 см), з початково гаусовим розподілом інтенсивності на вході в кристал, перетворюється при появі ефектів самовпливу в пучок з неоднорідним розподілом інтенсивності: в центрі пучка з'являється пляма діаметром 7 мкм, а навколо неї кільцеподібна структура (чергування світлих і темних кілець правильної форми) (мал.8.). Діаметри кілець та їх кількість повільно збільшуються при зростанні потужності пучка на вході в кристал. При цьому нам не вдалося експериментально зареєструвати (з роздільною здатністю 0,008 см⁻¹) ні змушеного комбінаційного, ні Манделштам-Брілюєновського розсіювання світла. Розподіл інтенсивності світла на виході із кристалу є таким же, як розподіл інтенсивності світла на виході з багатомодових хвильоводів з градієнтним профілем показника заломлення виду [8*]:

$$n^2(x) = n_1^2 \left[1 - 2\Delta \left(\frac{x}{a} \right)^2 \right], \quad (7)$$

де x - напрям, перпендикулярний до вісі хвильовода (на вісі $x=0$), n_1 - значення показника заломлення на вісі хвильовода, $2\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2}$,

$n(a) = n_2$ - показник заломлення CdS (оболонка хвильовода), $n_1 > n_2$.

В інтегральній оптиці [8*] показано, що профіль показника заломлення виду (7) однозначно пов'язаний з розподілом світлового поля мод в хвильоводі. Тому можна стверджувати, що розподіл інтенсивності світла на виході із монокристалу CdS (мал.8) однозначно свідчить про те, що він сформований хвильоводом з профілем показника



Мал.8. Еволюція поперечного перерізу пучка рубінового лазера в монокристалі CdS при збільшенні його інтенсивності P на вході в монокристал (2 мм за фокусом лінзи).
 А - $P=35$ кВт, В - $P=140$ кВт, С - $P=300$ кВт,
 D - $P=570$ кВт, Е - $P=800$ кВт.

заломлення виду (7).

Розповсюдження пучків світла в нелінійній середовищі з насиченням було теоретично досліджено В.Г.Кукушкіним [9*] та авторами [10*]. Вони показали, що коли інтенсивність пучка перевищує деяке критичне значення (яке залежить від діаметру пучка і міри його початкового фокусування), то в залежності від його інтенсивності реалізується або стійкий хвилеводний режим розповсюдження світла при якому діаметр пучка не змінюється при розповсюдженні в нелінійній середовищі (при зміні координати z), або хвилеводний режим при якому його діаметр осцилює між значеннями d_{\min} і d_{\max} (так звані осцилюючі хвилеводи [10*]) і пучок не має при цьому дифракційного розширення. Необхідно відмітити, що час релаксації нелінійності монокристалу CdS на стадії росту (коли проявляється тільки нелінійна поляризуємість екситонів) показника заломлення мало відрізняється від часу релаксації резонансного середовища [9*], а на стадії насичення нелінійності, коли виникає просвітлення кристалу, його час релаксації нелінійності стає значно більшим, ніж аналогічний час резонансного середовища. Така відмінність в часах релаксації нелінійного середовища з насиченням не враховувалась в роботі [9*]. Ми вважаємо, що при великих інтенсивностях світла (коли виникає просвітлення кристалу) це повинно привести до появи ефекту запам'ятовування значення змін показника заломлення в попередні осциляції і, як наслідок цього, до зменшення глибини осциляцій. Ясно, що область кристалу з збільшеним (світлонаведеним) показником заломлення в цьому випадку буде визначатись найбільшим значенням діаметру пучка, до якого повинен розширюватись пучок в відповідності з результатами роботи [9*]. Очевидно, що пучок при насиченні та інерційності нелінійності буде розповсюджуватись в світлонаведеному в кристалі хвилеводі у відповідності з законами інтегральної оптики, тобто в світлонаведеному (нелінійному) хвилеводі розподіл світлового поля буде визначатись профілем показника заломлення (із-за конструктивної інтерференції в хвилеводі будуть розповсюджуватись тільки хвилі з дискретними значеннями постійної розповсюдження). Іншими словами, в нелінійній хвилеводі виникнуть моди нульового, першого, другого і т.д. порядків. Чим більша інтенсивність світла, тим вище порядок виникаючих мод і тим більша їх кількість. В цьому випадку нульова мода на виході з кристалу CdS буде мати найменший розмір і приблизно гаусовський розподіл (з максимумом на вісі пучка) інтенсивності, а моди вищих порядків - кільцеподібну структуру (чергування світлих і темних кругових смуг), радіуси яких визначаються величиною градієнта показника заломлення.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Вперше показано, що при одночасній дії на напівпровідникові монокристали $A^{III}B^V$ і $A^{II}B^{VI}$ п-типу випромінювання із області власного поглинання, високополярної рідини та атомів, розчинених в рідині, які можуть створювати на поверхні напівпровідників акцепторні центри, відбувається незворотна гігантська модифікація їх рефракції. Показано, що при відсутності хоча б одного із вказаних факторів (рідина, акцепторних атомів в ній або випромінювання) НГМ не відбувається. Виявлено механізм НГМ - утворення кластерів із міжвузлових атомів металу та зміна їх форми (від витягнутих до сплюснутих сфероїдів).

2. Вперше показано, що після НГМ поверхня напівпровідникових монокристалів $A^{III}B^V$ і $A^{II}B^{VI}$ набуває властивість нелокально модулювати світло з області прозорості світлом з області власного поглинання монокристалів (явище гігантського фотовідбиття). Показано, що нелокальна модулююча дія передається по модифікованому монокристалу з швидкістю 1 см/сек на відстань не менше 17 мм. При цьому величини зворотніх змін коефіцієнтів відбиття та пропускання по меншій мірі на два порядки більші, ніж при звичайному фотовідбитті.

3. Доказано, що структури інтегральної оптики, які створюються з допомогою незворотної гігантської модифікації складу приповерхневих областей напівпровідників типу $A^{III}B^V$ та $A^{II}B^{VI}$ п-типу є фазові і безрельєфні.

4. На основі проведених досліджень розроблена комплексна методика, яка дозволяє виготовляти як окремі мікроструктури напівпровідникової інтегральної оптики (рупори та дифракційні ґратки уводу/виводу випромінювання, каналні хвилеводи, направлені відгалужувачі, хвилеводні фотоприймачі), так і монолітні інтегрально-оптичні схеми.

5. Установлено природу впливу форми пластинчатих монокристалів на процес лазерної генерації в них, а саме - виникнення додаткової короткохвильової смуги генерації та існування критичної довжини резонатора мікролазера відповідно в плоскопаралельних і клиновидних монокристалах.

6. Зареєстровано динамічні ґратки в резонаторах мікролазерів на пластинчатих монокристалах, які записуються в ньому двома або декількома поперечними модами, одна з яких є витікаючою модою і її випромінювання заповнює всю апертуру торця резонатору (ближнє поле) та формує рефлекси інтенсивності в дальньому полі.

7. Вперше установлено, що в нелінійному середовищі пучки світла з несиметричним профілем інтенсивності самовідхиляються.

Установлено, що за оптичну нелінійність монокристалу $NaCl$

віповідальні центри забарвлення, які виникають в ньому під дією лазерного випромінювання, та визначено його коефіцієнт нелінійності.

8. Експериментально показано, що нелінійність монокристалу CdS при густинах потужності випромінювання рубінового лазера більших 100 Мвт/см^2 має насичення. Експериментально зареєстровані нелінійне збільшення показника заломлення в області його прозорості і зміщення екситонних ліній в довгохвильовий бік при цьому (при густинах потужності випромінювання рубінового лазера до $80\text{-}100 \text{ Мвт/см}^2$) та просвітлення власного поглинання монокристалу CdS (при густинах потужності випромінювання рубінового лазера більших 150 Мвт/см^2).

Показано, що пучки рубінового лазера з симетричним профілем інтенсивності створюють в монокристалі CdS багатомодові хвилеводи.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

- 1*. Фёдоров В.Б. Оптические логические элементы для высокопроизводительных оптических процессоров. //Квантовая электроника. - 1990. -Т.17,№12. -С.1539-1549.
- 2*. Фотоника. Под ред. М.Балкански и П.Лалемана. -1978. -М.: Мир. - 416 с.
- 3*. Гудмен Дж. Введение в Фурье-оптику: Пер. с англ. -М.: Мир. -1970. -364 с.
- 4*. Елисеев П.Г. Введение в физику инжекционных лазеров. -М.: Наука. -1983. -294 с.
- 5*. Адамс М. Введение в теорию оптических волноводов: Пер. с англ. - М.: Мир. -1984. -512 с.
- 6*. Каплан А.Е. Искривление траекторий асимметрических пучков света в нелинейных средах. //Письма в ЖЭТФ. -1969. -Т.9,№1. -С.58-62.
- 7*. Бредихин В.И., Генкин В.Н. Роль экситонных состояний в нелинейных характеристиках полупроводников //ФТТ. -1971. -Т.13. -С.1329-1331.
- 8*. Адамс М.. Введение в теорию оптических волноводов. М.: Мир. -1984. -512с.
- 9*. Кукушкин В.Г. Самофокусировка в нелинейной среде при условии адиабатического слежения. //ДАН БССР. -1991.-Т.35,№10.-С.893-897.
- 10*. Konar S., Sengupta A. Self focusing of elliptic Gaussian laser beams in saturable nonlinear media. //Indian J. Pure and Appl. Phys. -1994. - V.32,№1. -P.75-79.

Основні результати дисертації опубліковані в таких роботах:

1. A.M.Kamuz, P.F.Oleksenko, Y.U.Ovsyannikov, F.F.Sizov, and T.A.Dyachenko. Low-temperature photo-hydro-modification of II-VI and III-V semiconductors. //Appl. Surface Science. -1996. -V103, №2.

-Р141-148.

2. Возникновение периодических неоднородностей показателя преломления в начальной стадии деградации лазеров на пластинчатых монокристаллах полупроводников типа $A^{II}B^{VI}$. /А.М.Камуз, Е.В.Орешко, С.В.Свечников и др. //Квантовая электроника. -1988. -Т.15, №5. -С.963-965.
3. Исследование формирования ближнего и дальнего полей излучения пластинчатых микролазеров. /В.В.Батин, А.М.Камуз, П.Ф.Олексенко и др. //Квантовая электроника. -1991. -Т.18, №5. -С.581-583.
4. Влияние когерентного волноводного рассеяния лазерного излучения пластинчатых монокристаллов на распределение излучения в дальней зоне их диаграммы направленности. /А.М.Камуз, П.Ф.Олексенко, Е.В.Орешко и др. //Квантовая электроника. -1987. -Т.14, №5. -С.1093-1096.
5. Расщепление поверхностных поляритонов голографической решёткой. /Горячев Д.Н., Дмитрук Н.Л., Камуз А.М., Литовченко В.Г. // "Поверхность. Физика, химия, механика". -1984, -Т.2, -С.44-47.5. Влияние состояния приповерхностной области сульфида кадмия на эффект фотоотражения. /Камуз А.М., Олексенко П.Ф., Орешко Е.В. и др. // УФЖ. -1988. -Т.33. -N.10. -С.1463-1465.
6. Гигантское усиление фотоотражения от кадмированной приповерхностной области монокристалла сульфида кадмия. /Камуз А.М., Орешко Е.В., Олексенко П.Ф., Свечников С.В. //Поверхность. Физика. Химия. Механика. -1989. -N 12. -С.166-167.
7. Изменение состава приповерхностной области монокристаллов CdS под действием слабоинтенсивного излучения He-Cd лазера. /Игнатков В.Д., Камуз А.М., Орешко Е.В. и др. //УФЖ. -1987. -Т.32, -Вып.1. -С.95-97.
8. Камуз А.М., Олексенко П.Ф., Орешко Е.В. Изменение оптических характеристик приповерхностной области сульфида кадмия под действием излучения He-Cd лазера. //УФЖ. -1988. -Т.33, -Вып.11. -С.1641-1644.
9. Дифракционные решетки в приповерхностной области монокристаллов сульфида кадмия. /Камуз А.М., Орешко Е.В., Олексенко П.Ф., Свечников С.В. // УФЖ. -1989. -Т.34, N8. -С. 1238-1241.
10. Влияние светоиндуцированных решёток на ближнее и дальнее поля микролазеров. /В.В.Батин, А.М.Камуз, П.Ф.Олексенко и др. //УФЖ. -1991. -Т.36, №3. -С.337-344.
11. Исследование спектров полных потерь микролазеров на пластинчатых полупроводниках $A^{II}B^{VI}$. /А.М.Камуз, Е.В.Дец, С.М.Дец и др. // УФЖ. -1995. -Т.40, -N10. -С.1061-1065

12. Камуз А.М., Олексенко П.Ф., Орешко Е.В. Перестройка зеленой краевой люминесценции сульфида кадмия поверхностно поглощаемым лазерным излучением небольшой интенсивности. // "Оптоэлектроника и полупроводниковая техника". -1990. -Вып.17. -С.69-71.
13. Диффузионные волноводы в монокристаллических подложках из сульфида кадмия и сульфида цинка. /Береза В.Н., Камуз А.М., Олексенко П.Ф. и др. //Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. - Киев: Наукова думка. - 1986. -N10. - С.33-37.
14. Изготовление и исследование периодических гофрированных структур на поверхности сульфида цинка и сульфоселенида цинка. /Камуз А.М., Игнатков В.Д., Климова Н.В., Олексенко П.Ф. // "Оптоэлектроника и полупроводниковая техника", -1987. N11. -С.32-35.
15. Исследование динамики излучения микролазеров на пластинчатых монокристаллах $A^{II}B^{VI}$. /А.М.Камуз, В.В.Батин, П.Ф.Олексенко и др. // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. -1994, N27. - С.60-64.
16. Природа возникновения коротковолновой полосы генерации пластинчатых микролазеров полупроводников $A^{II}B^{VI}$. /А.М.Камуз, Е.В.Дец, С.М.Дец и др. //Оптоэлектроника и полупроводниковая техника.-1995.-Вып.29. -С.3-14.
17. Формирование ближнего и дальнего полей пластинчатых микролазеров светоиндуцированными решетками. /А.М.Камуз, В.В.Батин, П.Ф.Олексенко и др. //Оптоэлектроника и полупроводниковая техника.-1992, N23.-С.40-47.
18. The dynamics of lasing of the waveguide microlaser utilizing thin platelet single crystal of CdS. /А.М.Камуз, V.V. Batin, P.Ph.Oleksenko et al. //Proc.SPIE. 1993. -Vol.2108.-P.473-476.
19. Kamuz A.M., Luckianov S.V., Oleksenko P.Ph. Research of the dependence of diffractive losses of generating modes CdS-microlaser on the parameters of waveguide resonator. //Proc.SPIE. -1993. -Vol.2108.-P.477-480.
20. Kamuz A.M., Dets S.M., Oleksenko P.F. Crevasse appearance in spectrum of microlaser full losses on platelet semiconductors $A^{II}B^{VI}$. //Proc.SPIE, -1994. -V.2212, -P.131-138
21. Ovsyannikov Y.U. Kamuz A.M., Oleksenko P.Ph., Sizov Ph.Ph. / The original method of a diagnostics and modification of II-VI and III-V semiconductors. // Proc.SPIE, -1995. -V. 2648. -P.600-608.
22. New technologies of integral-optical-elements fabrication: monolithic integrated-optical device. /Kamuz A.M., Oleksenko P.F., Ovsyannikov Y.U., Kiyashko S.D., Strilchuk O.N. //Proc.SPIE. -1994. -V.2213. -P. 231-238.

23. Some distinctions of diffractive grating wrating on the platelet CdS singlcrystal. /Kamuz A.M., PocherpailoA.I., Svechnicov S.V., Stril'chuk O.N. //Proc.SPIE. -1993.Vol.2108. -P.470-472.
24. Monolith integrated-optical device. /Kamuz A.M., Kiyashko S.D., Ovsyannikov Y.U., Oleksenko P.Ph., Stril'chuk O.N. //Proc.SPIE. -1993. -Vol.2108. -P.467-469.
25. Kamuz A.M., Oleksenko P.Ph, Ovsyannikov Y.U. Laser-stimulate variation of refractive index in superficial region of semiconductor CdS crystals. // Proc.of topical meeting on Photorefractive Materials,Effects and Devices.PRM'93. -Kiev,August 11-15, -1993.-P.526-529.
26. Nonlinear phase gratings and their effect on intermode scattering in II-VY semiconductor microlasers. /A.M.Kamuz, P.F. Oleksenko, E.V.Oreshko et al. //Proc.of III International symposium on modern optics"Optika-88".-Budapest,September, 13-16,1988.-Vol.1. -P.149-154.
27. Kamuz A.M., Oreshko E.V. Laser-Photostimulated Enormous Changes in Refractive Index and Composition of CdS Syngle Crystal Subsurfase Region. //Proc. of 3-d Int. Symp. on Modern Optics, Sept.1988. -Budapest. -1988. -V.1. -P.162-167.
28. Бродин М.С., Камуз А.М. О наблюдении самоискривления неоднородного лазерного пучка в кристалле NaCl. // Письма в ЖЭТФ. -1969. -Т.9. -С.577-580.
29. Бродин М.С., Камуз А.М. О природе нелинейности кристалла NaCl. //Письма в ЖЭТФ. -1971. -Т.13. -С.170-173.
30. Бродин М.С., Ватулев В.М., Камуз А.М. Самофокусировка света в кристалле NaCl. // УФЖ. -1966. -Т.11. -С.1151-1153.
31. Ватулев В.М., Камуз А.М. О тепловых эффектах при взаимодействии пучка рубинового лазера с "прозрачными" кристаллами.// УФЖ. -1967. -Т.12. -С.1201-1203.
32. Бродин М.С., Камуз А.М. Самовоздействие интенсивных пучков в кристалле NaCl и нелинейное изменение его дисперсионных свойств. //УФЖ. -1969. -Т.14. -С.1979-1982.
33. Бродин М.С., Камуз А.М. Изменение дисперсии и экситонного поглощения кристалла CdS под влиянием интенсивного излучения рубинового лазера. //ФТТ. -1970. -Т.12. -С.1251-1253.
34. Самофокусировка излучения рубинового лазера в кристалле CdS. /Бродин М.С., Борщ А.А., Камуз А.М. и др. // ЖЭТФ. -1971. -Т.60. -С.1593-1596.
35. Бродин М.С., Камуз А.М. Самовоздействие мощных световых пучков в кристалле CdS и нелинейное изменение его дисперсионных свойств. // УФЖ. -1969. -Т.13. -С.1979-1982.

36. Бродин М.С., Камуз А.М. Исследование влияния интенсивного излучения рубинового лазера на оптические свойства кристалла CdS. // УФЖ. -1969. -Т.14. -С.517-520.
37. Некоторые эффекты взаимодействия пучка рубинового лазера с "прозрачными" кристаллами./ Бродин М.С., Ватулев В.М., Камуз А.М. и др. // В Сб."Квантовая электроника" -Киев: "Наукова думка". -1966. -Вып.1. -С.77-80.
38. Бродин М.С., Ватулев В.М., Камуз А.М. О наблюдении самосужения лазерного пучка в прозрачных кристаллах. //В Сб."Квантовая электроника" -Киев: "Наукова думка". -1967. -Вып.2. -С.175-178.
39. Бродин М.С., Ватулев В.М., Камуз А.М. О характере распространения мощных световых пучков в некоторых прозрачных кристаллических средах. // В Сб."Нелинейная оптика". -Новосибирск: "Наука". -1968. -С.267-270.
40. Камуз А.М., Овсянников Е.Ю., Олексенко П.Ф. Лазерностимулированное легирование Cd приповерхностной области монокристаллов CdS. //Материалы докл. II Украинской конф. "Материаловедение и физика полупроводниковых фаз переменного состава". -Нежин, 21-24 сент. -1993.-С.365-367.
41. Монолитный интегрально-оптический модуль,изготовленный на планарном CdSSe-волноводе. /Камуз А.М., Овсянников, Е.Ю. Олексенко П.Ф. и др. //Материалы докл. "Оптика лазеров,93". -С.-Петербург. -1993. -С.225-227.
42. Создание и исследование тонкопленочных волноводов в моно кристаллах сульфида цинка. /Камуз А.М.,Береза В.Н.,Климова Н.В., ПекарьГ.С. // "Интегральная оптика:Физические основы, приложения". -Н.:Изд. Наука,Сиб.Отд.-1986.-С.58-63.
43. Камуз А.М., Кияшко С.Д., Олексенко П.Ф. Исследование сенсбилизации красителем родамин В примесной фотопроводимости CdS-подложек и ее применение для создания фотоприемных элементов интегрально-оптических схем. //Материалы докладов II Украинской конф. "Материаловедение и физика полупроводниковых фаз переменного состава".-Нежин, 21-24 сент.-1993. -С.328-330.
44. Камуз А.М., Лукьянов С.В., Олексенко П.Ф. Влияние параметров волноводного резонатора на дифракционные потери полупроводниковых микролазеров. //Материалы II Украинской конф. "Материаловедение и физика полупроводниковых фаз переменного состава".-Нежин, 21-24 сент.1993. -С.331-333.
45. Генерация гигантских импульсов в волноводных микролазерах на полупроводниках $A^{II}B^{VI}$. /А.М.Камуз, В.В.Батин, П.Ф.Олексенко и др. //Материалы II Украинской конф. "Материаловедение и физика

- полупроводниковых фаз переменного состава".-Нежин, 21-24 сент.1993. -С.368-370.
46. Дифракционные решетки в приповерхностной области монокристаллов сульфида кадмия. /Камуз А.М., Орешко Е.В., Олексенко П.Ф. и др. //В Сб. докл.V Всес. конф."Бессеребряные и необычные фотографические процессы", Суздаль,5-9дек. 1988. -Черноголовка: ОИХФ АН СССР. -1988. -Т.3. -С.75-78.
47. Запись дифракционных решеток на монокристаллах сульфида цинка и селенида цинка. /Камуз А.М., Орешко Е.В., Свечников С.В. и др. //Материалы докл. III Всес.конф. "Физика и технология широкозонных полупроводников". -Махачкала: изд. ДГУ. -1986. -С.174-177.
48. Создание и исследование оптоэлектронного монолитного приемного модуля на твердых растворах полупроводниковых соединений $A^{II}B^{VI}$. /Береза В.Н., Камуз А.М., Климова Н.В., Олексенко П.Ф., Пекарь Г.С. //Материалы трудов Всес. конф. "Функциональная оптоэлектроника в вычислительной технике и устройствах управления", Тбилиси, май 1986.-Тбилиси: изд.ГПИ. -1986.-С.241-244.
49. Камуз А.М., Орешко Е.В., Олексенко П.Ф. Гигантское усиление фотоотражения от кадмированной приповерхностной области сульфида кадмия. //Материалы докл. II Всес. конф. "Фотоэлектрические явления в полупроводниках". Ашхабад. -1991. -С.79-82.
50. Патент Украины. N94021783. Способ изготовления канального волновода. Камуз А.М., Овсянников Е.Ю., Олексенко П.Ф. Приоритет 08.02.94.
51. Патент України. N95041989. Способ изготовления дифракционных элементов и элементов устройств интегральной оптики. Камуз А.М., Овсянников Е.Ю., Олексенко П.Ф., Сизов Ф.Ф. Приоритет 26.04.95.

РЕЗЮМЕ

Камуз А.М. Лазернестимулированные изменения рефракции полупроводников типа $A^{III}B^V$ и $A^{II}B^{VI}$ и оптические волноводы на их основе.

Диссертация на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.10 - физика полупроводников и диэлектриков. Институт физики полупроводников НАН Украины, Киев, 1997.

Защищается 60 научных работ, в которых содержатся теоретические и экспериментальные исследования механизмов необратимой и обратной (нелинейной) модификации рефракции полупроводников

$A^{III}B^V$ и $A^{II}B^{VI}$ и исследования приобретённых ими при этом новых физических свойств.

Впервые показано, что при одновременном действии на полупроводниковые монокристаллы типа $A^{III}B^V$ и $A^{II}B^{VI}$ n-типа излучения из области собственного поглощения, высокополяризованной жидкости и атомов, растворённых в жидкости, которые могут создавать на поверхности акцепторные центры, происходит необратимая гигантская модификация (НГМ) состава и структуры их приповерхностной области. При этом происходит вытягивание междуузельных атомов катионов и возникновение из них кластеров, что и является причиной необратимой гигантской модификации рефракции приповерхностной области полупроводников.

Впервые показано, что после НГМ поверхность полупроводниковых монокристаллов приобретает способность нелокально модулировать свет из области его прозрачности, светом из области его поглощения. Показано, что нелокальное модулирующее воздействие передаётся по модифицированному монокристаллу со скоростью 1 см/сек на расстояние не менее 17 мм.

Показано, что периодические структуры на полупроводниках типа $A^{III}B^V$ и $A^{II}B^{VI}$, созданных с помощью НГМ их рефракции, безрельефные и дифрагируют свет из-за периодических изменений показателя преломления.

В резонаторе микролазера (пластинчатый монокристалл CdS) зарегистрированы динамические решётки, которые записывались двумя или несколькими его поперечными модами, одна из которых была вытекающей и её излучение заполняло всю апертуру торца резонатора (ближнее поле) и формировало рефлексы интенсивности в дальнем поле.

Установлено однозначное соответствие между формой резонатора на пластинчатом монокристалле и возникновением коротковолновой полосы генерации, а также его критической длиной.

Впервые установлено новое нелинейно-оптическое явление - самоискривление пучков света с ассиметричным профилем интенсивности в нелинейной среде.

Установлена природа оптической нелинейности монокристаллов CdS и NaCl.

Показано, что пучки рубинового лазера с симметричным амплитудным профилем интенсивности создают в монокристаллах CdS многомодовые градиентные волноводы.

Показано, что необратимая гигантская модификация рефракции позволяет создавать на полупроводниках типа $A^{II}B^{VI}$ и $A^{III}B^V$ практически все элементы полупроводниково интегральной оптики (каналь-

ные волноводы, направленные ответвители, рупоры ввода/вывода излучения в волноводы, фазовые дифракционные решётки, локальные волноводные фотоприёмники, контактные омические площадки и др.), а также монолитные интегрально-оптические схемы.

ABSTRACT

Kamuz A.M.. Laser stimulated changes of refraction of A_3B_5 and A_2B_6 semiconductors and optical waveguides on their basis.

Doctor of the physico-mathematical sciences (field 01.04.10 - physics of semiconductors and dielectrics). Thesis (typescript). Institute of Semiconductor Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, 1997.

60 research papers, which contain the results of investigations of mechanisms of reversible and irreversible (nonlinear) modifications of A_3B_5 and A_2B_6 semiconductor refraction and investigations of obtained by them in this case of new physical properties, are defended.

It is shown for the first time that at the simultaneous action on n-type A_3B_5 and A_2B_6 semiconductor single crystals of a radiation from high polar liquid in the region of self-absorption and from atoms, dissolved in the liquid that can create acceptor centers on the surface, irreversible giant modification (IGM) of composition and structure of their sub-surface region takes place. Moreover, the stretching of interstitial atoms of cations and creation of clusters from them is the cause of the IGM of refraction of the sub-surface region.

It is shown for the first time that after the IGM the surface of a semiconductor single crystal obtains the possibility of nonlocal modulation of the light from the region of its transparency by the light from the region of its absorption. It is found out that nonlocal modulation action is transmitted along the modified single crystal with velocity 1 cm/sec for the distance non less than 17 mm.

It is shown that periodic structures on the basis of A_3B_5 and A_2B_6 semiconductors, created with the help of the IGM of the refraction are non-relief and diffract the light due to periodic changes of refractive index.

In the resonator of a microlaser (plate-like CdS single crystal) the dynamic gratings that were recorded by its two or more transverse modes, one of which was flowing out and its radiation filled entire aperture of resonator end-wall (near field) and formed reflexes of intensity in a distant field, are discovered.

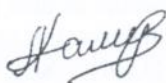
Unambiguous correspondence between the form of a resonator in the plate-like single crystal and occurrence of short-wave generation band and its critical length as well is established.

For the first time new nonlinear-optical phenomenon - self-distortion of light beams with asymmetrical profile of intensity in nonlinear medium is discovered. The nature of optical nonlinearity of CdS and NaCl single crystals refraction index is established. It is shown that the beams of ruby laser with symmetrical profile of intensity create multimode gradient waveguides in CdS single crystals.

It is shown that the IGM of refraction allows to create on the basis of A_3B_5 and A_2B_6 semiconductors practically all the elements of semiconductor integrated optics (channel waveguides, directional couplers, channels of input/output of radiation into waveguides, phase gratings, local waveguide photoreceivers, ohmic contact area elements et cetera) and monolithic integro-optic circuits as well.

Ключові слова:

напівпровідник, монокристал, каналні хвилеводи, монолітні інтегрально-оптичні схеми, мікролазер, незворотна модифікація рефракції, фотовідбиття, самовідхилення світла, оптична нелінійність, нелінійні ґратки, світлоіндуковані ґратки.



Підписано до друку 29.11.96г. Формат 60x84/16.
Ум. друк. арк. 1.76. Обл.-вид. арк. 1.84.
Тираж 100. Зам. 109.

Відділ оперативної поліграфії
Центру "Міжнародна освіта"
тел. 227-12-75, 227-37-86

439294

AB 36.542