

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

На правах рукопису

ШКУМБАТЮК

Петро Степанович

СТРУКТУРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В НАПІВПРОВІДНИКАХ ТИПУ A^2B^6
ПІД ДІЄЮ CO_2 -ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА ЇХ ВИКОРИС-
ТАННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ БАР'ЄРНИХ СТРУКТУР

Спеціальність 05.27.03 - Технологія, обладнання та ви-
робництво матеріалів і пристроїв електронної техніки

А в т о р е ф е р а т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

ЛЬВІВ-1996

AB 35.967

Дисертацією в рукопис

Робота виконана на кафедрі фізики Дрогобицького педагогічного інституту ім.Ів. Франка та кафедри напівпровідникової електроніки Державного університету "Львівська політехні"

Наукові керівники: доктор технічних наук, професор
ДРУЖИНИН А.О.
кандидат фізико-математичних наук, професор ЦЮЦЮРА Д.І.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук,
професор Пашковський М.В.
доктор технічних наук,
с.н.с. Ашеулов А.А.

Провідна установа - Інститут прикладних проблем механіки і математики НАН України
ім. Я.С.Підстригача, м. Львів

Захист відбудеться 5 грудня 1996р. о 15 год.
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 04.06.18 при Державному університеті "Львівська політехніка" (290846, Львів-13, вул.С.Бандери,12).

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці університету (290013, м.Львів, вул. Професорська,1).

Автореферат розісланий "2" "XI" 1996 року

Вчений секретар
спеціалізованої ради



Вайнсар Р.І.

ЛІНБ України ім.В.Стефаніка



00753761 (T)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасний рівень розвитку мікроелектроніки та застосування її досягнень у найрізноманітніших областях науки і техніки вимагає постійного пошуку нових технологій для створення більш надійних приладів і схем. Одним з таких наукових напрямків є лазерні методи обробки напівпровідникових матеріалів, які на теперішній час знайшли застосування для вирішення різних технологічних задач в галузі напівпровідникового приладобудування, таких як отримання тонких плівок стехіометричного складу випаровування матеріалу, відпал радіаційних дефектів і т.п. У згаданих технологічних процесах найчастіше використовуються потужні імпульсні лазери з довжиною хвилі, що відповідає енергії кванта, більшій від ширини забороненої зони напівпровідникового матеріалу ($h\nu > E_g$).

Не менш важливим напрямком у напівпровідниковій технології є вивчення дії неперервного лазерного випромінювання, що відповідає енергії кванта, меншій від ширини забороненої зони напівпровідникових матеріалів ($h\nu < E_g$). Дія такого випромінювання на напівпровідники пов'язана з особливостями поведінки коефіцієнта поглинання, що залежить від концентрації вільних носіїв заряду, попереднього стану взаємодіючої поверхні та концентрації об'ємних дефектів. Така залежність коефіцієнта поглинання дозволяє керувати процесами нагріву, плавлення, випаровування та утворення дефектів як в приповерхневій, так і в об'ємній областях взаємодіючих матеріалів і є новим технологічним напрямком, що дає змогу на основі напівпровідникових матеріалів А²В⁶ отримувати бар'єрні структури. АН України

Результати дослідження впливу CO₂ лазерного випроміню-

вання на матеріали A^2B^6 , які є в літературі, в основному, проведені з часом дії до секундної тривалості і не містять даних про формування бар'єрних структур на їх основі. Отже, проблема, яка пов'язана з дослідженням дії неперервного лазерного випромінювання на напівпровідникові матеріали, що відповідають співвідношенню $h\nu < E_g$, є актуальною.

Наукові дослідження, закладені в дану дисертаційну роботу виконувалися у відповідності з Державною науково-технічною програмою Мінвузу УРСР "Розробка і впровадження у народне господарство лазерних технологій і опромінення матеріалів з попередньо заданими властивостями" (наказ N143 від 3.07.1986 р. та N229 від 29.07.1986 р.)

Метою роботи є комплексне дослідження зміни структурних та електрофізичних властивостей напівпровідникових матеріалів A^2B^6 та створення на їх основі бар'єрних структур під дією неперервного лазерного випромінювання.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- дослідження зміни коефіцієнта поглинання неперервного CO_2 -лазерного випромінювання в напівпровідникових матеріалах A^2B^6 від часу дії та густини потужності випромінювання для керування процесами нагріву, плавлення та випаровування;

- дослідження впливу лазерного випромінювання на електрофізичні властивості матеріалів типу A^2B^6 , структурні зміни поверхні зоні опромінення, визначення типу об'ємних, поверхневих дефектів, зміни їх концентрації в залежності від зміни параметрів випромінювання та вихідного матеріалу;

- розробка технологічних основ виготовлення бар'єрних

структур в напівпровідникових матеріалах A^2B^6 з використанням дії лазерного випромінювання та встановлення кореляції властивостей створених приладів з електрофізичними параметрами вихідного матеріалу;

- дослідження електричних та фотоелектричних характеристик запропонованих приладів та механізмів формування бар'єрних структур.

На захист вносяться:

1. Встановлені закономірності у змінах коефіцієнта поглинання, об'ємного нагріву, плавлення та випаровування напівпровідникових матеріалів A^2B^6 від часу дії та густини потужності CO_2 -лазерного випромінювання.

2. Виявлені особливості зміни структурних та електрофізичних властивостей приповерхневих шарів напівпровідникових матеріалів типу A^2B^6 , у яких в результаті дії лазерного випромінювання відбувається направлена зміна концентрації власних дефектів.

3. Фізичні і технологічні основи виготовлення бар'єрних структур на основі напівпровідникових матеріалів типу A^2B^6 під дією випромінювання CO_2 -лазера.

4. Результати досліджень характеристик бар'єрних структур у матеріалах типу A^2B^6 та фізична модель їх формування тепловою дією неперервного CO_2 -лазерного випромінювання.

Характеристика методології, методу дослідження предмета і об'єкта:

У роботі використані методи дослідження хімічного складу, структурної досконалості, електричних та фотоелектричних характеристик бар'єрних структур з метою комплексного вив-

чення їх фізичних властивостей отриманих неперервною дією лазера ЛГ-25. Параметри та характеристики бар'єрних структур визначали методами вимірювання вольт-амперних, та вольт-фарадних характеристик, термостимульованої провідності та фотоелектричної метрології.

Об'єкти досліджень - монокристалічні зразки матеріалів A^2B^6 : CdS, ZnSe, $Cd_xHg_{1-x}Te$ p-типу провідності, CdTe, ZnTe r-типу провідності та монокристалічні леговані зразки $CdTe<In>$, $CdTe<Zn>$ p-типу провідності, які широко використовуються в оптоелектроніці.

Наукова новизна полягає в отриманні і узагальненні наукових результатів, які стосуються закономірностей структурних перетворень під дією лазерного випромінювання в напівпровідниках типу A^2B^6 та розробки технологічних основ виготовлення бар'єрних структур на їх основі. До найбільш важливих результатів дисертаційної роботи необхідно віднести:

1. Зміна коефіцієнта поглинання CO_2 -лазерного випромінювання з густиною потужності у межах $10 + 10^3$ Вт/см² в напівпровідникових матеріалах A^2B^6 залежить від часу дії, розмірів, коефіцієнта тепловіддачі та вихідних властивостей опромінюваного матеріалу. В межах густини потужності $3 \cdot 10^2 + 10^3$ Вт/см², неперервна дія CO_2 -лазерного випромінювання приводить до плавлення та випаровування матеріалів типу A^2B^6 .

2. При опроміненні широкозонних матеріалів A^2B^6 можливим є направлена зміна концентрації власних дефектів на поверхні зони дії випромінювання за рахунок взаємодії з паровою фазою, розділення концентрації дефектів між приповерхне-

вою та об'ємними областями завдяки різниці температур між цими областями.

3. Вперше встановлені закономірності взаємодії випромінювання з широкозонними матеріалами використані для формування напівпровідникових структур з нелінійними вольт-амперними характеристиками. Запропоновано фізичну модель формування бар'єрних структур в матеріалах A^2B^6 , на основі якої розроблено ефективну технологію створення фоточутливих p-n-переходів.

4. Розроблені технологічні основи виготовлення напівпровідникових структур з нелінійними вольт-амперними характеристиками з коефіцієнтом випрямлення до 10^7 та показана можливість формування на їх основі багатоелементних матриць з однозначними вихідними електрофізичними параметрами кожного елемента.

Практичне значення. Експериментально визначені параметри часу дії та густини потужності лазерного випромінювання для керування процесами нагріву, плавлення і випаровування широкозонних напівпровідникових матеріалів A^2B^6 та розроблені технологічні рекомендації для формування на їх основі бар'єрних структур.

Реалізація роботи. Результати дисертаційної роботи використані при виготовленні давачів температури, вологості та фотовольтаїчних приймачів у видимій області спектру (Бориславський хімічний завод). Практична цінність роботи підтверджена актом про використання.

Апробація роботи:

Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і

обговорювалися на Всесоюзних науково-технічних конференціях: "Застосування лазерів в науці і техніці", (Ленінград, 1985); "Застосування лазерів у народному господарстві", (Шатура, 1989, 1995); Міжвузівській конференції з матеріалознавства та фізики напівпровідникових фаз змінного складу, (Ніжин, 1991, 1994); Міжнародній конференції з фізики і технології тонких плівок, (Івано-Франківськ, 1995). Крім того, результати досліджень доповідалися на наукових семінарах Львівського державного університету ім. Ів.Франка, Дрогобицького педагогічного інституту та Державного університету "Львівська політехніка".

Публікації. Результати виконаних досліджень відображені в 12 наукових працях.

Конкретний особистий внесок дисертанта в одержанні наукових результатів. Дисертант провів дослідження впливу неперервного CO₂-лазерного випромінювання на структурні та електрофізичні властивості матеріалів A²B⁶, розробив технологію формування бар'єрних структур і дослідив їх електричні характеристики.

Структура і обсяг дисертації: Дисертація складається із вступу, п'ятих розділів, основних результатів та висновків, списку літератури і додатка. Загальний обсяг роботи 160 сторінок машинописного тексту, включаючи 49 рисунків, 2 таблиці. Список літератури складається з 102 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подана загальна характеристика роботи, обґрунтована актуальність проблеми і вибір об'єкта дослідження, сформульовані мета і задачі роботи, указані наукова новизна, практична цінність, основні положення і результати досліджень, які виносяться на захист.

У першому розділі проаналізовані літературні дані щодо використання лазерного випромінювання в напівпровідниковій технології, та обговорюються загальні закономірності взаємодії такого випромінювання з напівпровідниковими матеріалами. Наведені експериментальні результати досліджень впливу імпульсного лазерного випромінювання з $h\nu > E_g$ на широкозонні матеріали A^2B^6 та викладені основи теорії досліджень теплових процесів, що відбуваються при взаємодії лазерного випромінювання з напівпровідниками. У літературі мало даних щодо зміни електрофізичних властивостей матеріалів при дії випромінювання з $h\nu < E_g$, зокрема при опроміненні CO_2 -лазерним випромінюванням, що підтверджує актуальність проблеми.

У другому розділі на основі рівняння теплопровідності розглянуто загальні закономірності взаємодії лазерного випромінювання з широкозонними матеріалами типу A^2B^6 при $h\nu < E_g$. Враховано, що коефіцієнт поглинання є нелінійною функцією температури і залежить від попереднього стану матеріалу та параметрів лазерного випромінювання.

Показано, що для широкозонних напівпровідникових матеріалів A^2B^6 досягнення високої температури розігріву довгохвильовим лазерним випромінюванням залежить від геометричних розмірів матеріалу та коефіцієнта теплопередачі. Для аналі-

зу такої залежності з розв'язку рівняння теплопровідності використано співвідношення між зміною початкової температури матеріалу та вказаними параметрами:

$$\Gamma = \frac{2I_p \alpha_0 h b}{Q^2 R w}; \quad b = 1 - \exp\left[-\frac{I_p^2 R^2}{2kT}\right], \quad (1)$$

де h, R - розміри опромінюваного матеріалу; w - коефіцієнт тепловіддачі; α - коефіцієнт поглинання; Q - густина потужності випромінювання лазера; I_p - енергія розподілу випромінювання по перерізу лазерного променя.

Зроблено висновок про те, що при слабопоглиначій взаємодії випромінювання з матеріалами A^2B^5 основними параметрами матеріалу, які впливають на зміну коефіцієнта пропускання є тип провідності, величина концентрації вільних носіїв заряду, неконтрольованої домішки та власних дефектів структури, що частково підтверджується даними рис.1.

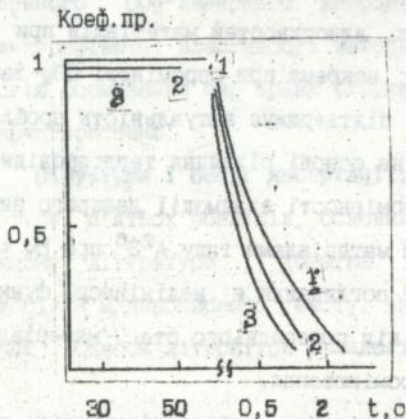


Рис.1 Залежність коефіцієнта пропускання від часу дії лазерного випромінювання для: 1 - n - CdS ($n = 10^{14} \text{см}^{-3}$); 2 - p - CdTe ($p = 10^{14} \text{см}^{-3}$); 3 - n - CdTe<In> з концентрацією легуючої домішки 10^{17}см^{-3} .

Для вивчення можливості використання CO_2 -лазера в технології створення бар'єрних структур на основі матеріалів

типу A^2B^6 досліджено вплив випромінювання на їх об'ємні та приповерхневі властивості з густиною потужності в межах $40 + 10^3$ Вт/см² та часу дії більше 10 с для широкозонних і-до 40 Вт/см² для вузькозонних напівпровідників.

Лазерна обробка матеріалів проведена при нормальних умовах і кімнатній температурі. Для порівняння впливу атмосфери деякі з матеріалів опромінювали у вакуумі або інертному газі. Проведено також відпал досліджуваних матеріалів у кварцевих ампулах. При порівнянні електричних та фотоелектричних властивостей опромінених та відпалених матеріалів встановлено, що зміна цих параметрів у об'ємі в обох випадках є близькою. Значну увагу приділено дослідженням приповерхневих властивостей матеріалів.

Виявлено, що при лазерній обробці легованих та нелегованих матеріалів CdTe з густиною потужності $40 + 100$ Вт/см² протягом $15 + 30$ с утворюються дефекти у вигляді виступів циліндричної форми різних розмірів, що є наслідком взаємодії лазерного випромінювання з включеннями другої фази.

Опромінення CdS неперервним CO₂-лазерним випромінюванням показало, що в залежності від параметрів опромінення можливим є збільшення концентрації металеві компоненти на поверхні та ріст поверхневої плівки з випаровуючих компонентів.

При опроміненні легованих та нелегованих матеріалів ZnTe густиною потужності $1 + 3 \cdot 10^2$ Вт/см² протягом $15 - 40$ с спостерігали в області опромінення частини поверхні з неоднорідним випаровуванням складових елементів. Повторне опромінення досліджуваних зразків призвело до розкладу матеріалу.

на глибину, яка залежить від тривалості дії лазерного випромінювання і обмежувалась утворенням металізованої поверхні в зоні взаємодії. Пошарове стравлювання опромінених зразків ZnTe показало, що переважаючими дефектами є випаровування Te із зони взаємодії та окислення металу.

Подібні порушення поверхні виявлено в ZnSe при дії на ці матеріали випромінюванням з густиною потужності $6 + 8 \cdot 10^2$ Вт/см² та часом дії 60 + 100 с. При повторному опроміненні зразків з дефектною поверхнею у вигляді включень цинку, що утворювалися при лазерній обробці, спостерігали плавлення матеріалу.

Розміри опромінюваних неперервним CO₂-лазерним випромінюванням зразків були в межах $h - (0,5 - 1)$ мм, $a, b - (2 - 5)$ мм.

Досліджували можливості легування CdTe, ZnTe, CdS за допомогою лазерного випромінювання при сплавленні їх з Te. Показано, що в залежності від параметрів опромінення можна отримати леговані телуром приповерхневі шари та гетероструктури CdTe/CdS.

У третьому розділі описано технологічні основи отримання напівпровідникових структур із нелінійними вольт-амперними характеристиками. При використанні неперервної дії лазерного випромінювання для отримання таких структур наведено дані про межі параметрів випромінювання для кожного з досліджуваних матеріалів. Наводяться результати технологічної лазерної обробки зразків для отримання структур на цих матеріалах.

Списано основні вимоги для правильного вибору парамет-

рів випромінювання для отримання якісних структур на матеріалах з металевою компонентою Cd. Показано, що для CdTe та CdS технологічною основою отримання структур з нелінійними ВАХ є нарощування в паровій фазі надповерхневого шару з вихідними властивостями відмінними від об'ємних. Для матеріалів з металевою компонентою Zn отримання бар'єрних структур є обмежене неоднорідним випаровуванням складових елементів, що приводить до утворення на поверхні взаємодії плівки з металевої компоненти, яка затримує випаровування халькогена.

У четвертому розділі наводяться результати експериментальних досліджень електричних та фотоелектричних властивостей сформованих бар'єрних структур за допомогою лазерного випромінювання на основі широкозонних матеріалів. Більшу увагу приділено встановленню механізму формування таких структур.

При лазерній обробці CdTe виявлено, що коефіцієнт випрямлення бар'єрних структур залежить від концентрації включень телурової компоненти, провідності вихідного матеріалу та стану поверхні. При вимірюванні електричних та фотоелектричних властивостей приповерхневого шару в зоні опромінення встановлено, що провідність цього шару є меншою від об'ємної, а фотопровідність зростає в 5 - 8 разів. Для CdTe, легovanого індієм та цинком, провідність опроміненої приповерхневої області зростає за рахунок збільшення концентрації легуючої домішки. Виявлено, що при великих концентраціях легуючої домішки коефіцієнт випрямлення зменшується. Сплавлення цих матеріалів з телуром збільшує величину фотопровідності та фото-е.р.с.

Дослідження електричних та фотоелектричних властивостей CdS показало, що на його основі можна формувати бар'єрні структури з коефіцієнтом випрямлення до 10^7 . На вихідному CdS з $n = 10^{17} \text{ см}^{-3}$ дія лазерного випромінювання приводить до формування приповерхневого фоточутливого шару з провідністю на 4 - 7 порядків меншою від провідності вихідного матеріалу. Встановлено, що зміна цих властивостей залежить від вихідної концентрації носіїв заряду опромінюваного матеріалу, що показано на рис.2

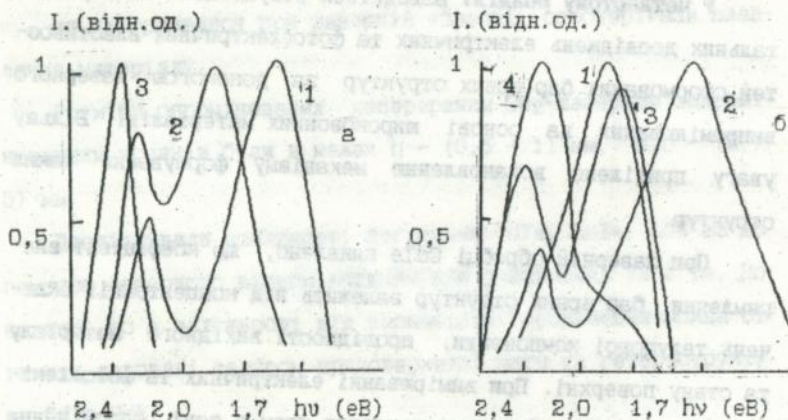


Рис.2. Фотоелектричні характеристики опроміненого матеріалу CdS: (а) вихідний матеріал ($n = 4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$) нефоточутливий, 1-перше опромінювання, 2,3 друге і третє; (б) це ж, ($n = 6 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$), 4 - фоточутливий до опромінювання.

Для зразків ZnTe встановлено, що формування бар'єрних структур дією лазерного випромінювання є можливим лише при сплавленні його з Te. Формування бар'єрних структур на ZnSe

є обмежене неоднорідним випаровуванням складових елементів. При сплавленні цього матеріалу з Te взаємодія цих парів з поверхнею на границі зони опромінення приводить до формування гетероструктур ZnTe/ZnSe.

Для аналізу механізму провідності отриманих структур на CdTe, CdS можна використати наступне співвідношення

$$I-I_0 \exp(qU/kT), \quad (3)$$

де β - коефіцієнт неідеальності; k - стала Больцмана; q - заряд електрона.

На основі аналізу результатів комплексного дослідження електричних та фотоелектричних властивостей отриманих за допомогою лазерного випромінювання бар'єрних структур в матеріалах типу A^2B^6 встановлено механізми їх формування. Одним з таких є генерування вакансій металу і металоїду з різною їх концентрацією у приповерхневій та об'ємній опромінених областях та формування надповерхневого шару зі складових компонент у зоні опромінення. Утворення таких дефектів є наслідком теплової дії випромінювання та взаємодії випаровуючих компонентів з поверхнею. У об'ємній частині переважачими є утворення дефектів тепловою дією випромінювання, а в приповерхневій частині, взаємодія випаровуючих компонентів в зоні опромінення та випаровування складових елементів. Розділення дефектів у процесі взаємодії є наслідком різниці температур між приповерхневою та об'ємною частинами опромінення. При опроміненні легованих матеріалів переважачим є вклад легуючої домішки в зміну провідності об'ємної частини.

У п'ятому розділі розглянуто вплив лазерного випромі-

нювання на властивості структури метал-напівпровідник та деякі особливості взаємодії випромінювання з вузькозонними матеріалами $Cd_xHg_{1-x}Te$, $PbTe$. Встановлено, що при неперервному опроміненні структури метал-напівпровідник з боку металу керування температурою розігріву такої системи є обмежене коефіцієнтом відбивання випромінювання поверхнею металу.

Виявлено також, що в залежності від температури сплавлення для металів, які не утворюють сполук неметалічної компоненти з досліджуваними матеріалами, є можливість змінювати провідність контакту з коефіцієнтом нелінійності до 10^6 . Механізм протікання струму в таких структурах може бути виражений двома компонентами, - тунельною та термоемісійною:

$$I = I_{01} \exp \frac{qU}{kT} + I_{02} \exp \frac{qU}{\beta kT} \quad (4)$$

Дослідженням впливу неперервної дії CO_2 -лазерного випромінювання густиною потужності до 40 Вт/см^2 для $Cd_xHg_{1-x}Te$ виявлено, що при дії випромінювання до 10 Вт/см^2 переважаючими дефектами в приповерхневій області є вакансії ртуті. При вищих інтенсивностях опромінення відбувається розпад матеріалу, що залежить від складу та обробки його поверхні. Також виявлено вплив часу зберігання та складу матеріалу на процес розпаду. При опроміненні механічно пошкодженої поверхні виявлено інтенсивне випаровування складових компонентів. Пшарове стравлювання приповерхневої області показало, що при неперервному опроміненні цих матеріалів з поверхні взаємодії випаровується ртуть. Встановлено, що формування бар'єрних структур на основі цих матеріалів неперервною дією випромінювання обмежується неоднорідністю розподілу

утворених вакансій ртуті по товщині приповерхневої області.

Сплавлення PbTe з широкозонними матеріалами CdTe та CdS показало, що електричні та фотоелектричні властивості утворених структур формуються за рахунок розпаду вузькозонного матеріалу та легування приповерхневої області широкозонного матеріалу компонентами PbTe.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Досліджені загальні закономірності зміни коефіцієнта поглинання CO₂-лазерного випромінювання в напівпровідникових матеріалах типу A²B⁶, виявлена нелінійна залежність його від температури матеріалу та часу дії. Показано, що початкова зміна температури опроміненого матеріалу зумовлена взаємодією випромінювання з поверхневими та об'ємними дефектами і вільними носіями заряду.

2. Встановлено, що для матеріалів з більш однорідним випаровуванням складових компонент досягнення температури плавлення зумовлено збільшенням коефіцієнта поглинання за рахунок підвищення концентрації вільних носіїв заряду; для матеріалів з неоднорідним випаровуванням складових елементів переважаючим є зростання коефіцієнта поглинання в приповерхневій області матеріалу за рахунок утворення дефектів структури.

3. Досліджено характер порушень поверхні напівпровідникових матеріалів A²B⁶ при неперервній дії CO₂ лазерного випромінювання з густиною потужності в межах $10 + 10^3$ Вт/см². Показано, що в залежності від параметрів лазерного випромінювання найчастішими порушеннями є підвищення концент-

рації дефектів у опроміненій частині матеріалу; для матеріалів з металевю компонентю (Cd) переважаючим є взаємодія випромінювання з включеннями другої фази; для матеріалів з металевю компонентю (Zn) - неоднорідне випаровування компонент з поверхні взаємодії.

4. Встановлений механізм утворення бар'єрних структур. Показано, що для матеріалів з телуровою компонентю переважаючим є утворення різної концентрації вакансій у опроміненій приповерхневій та об'ємній областях. Однією з причин зміни концентрації даних дефектів є відмінність значень коефіцієнта поглинання в цих областях. Для матеріалів з більш однорідним випаровуванням компонентів переважаючим є наростання надповерхневого шару з парової фази, для легованих матеріалів - зміна компенсуючої дії легуючої домішки.

5. Розроблено технологічні основи виготовлення напівпровідникових структур з нелінійними вольт-амперними характеристиками на основі матеріалів A^2B^6 . Показано, що розроблена технологія з використанням теплової дії неперервного CO_2 -лазерного випромінювання дає можливість створювати бар'єрні структури з коефіцієнтом випрямлення до 10^7 , а також формувати смічні контакти до широкозонних матеріалів A^2B^6 .

При вимірюванні фотовольтаїчних характеристик бар'єрних структур $CdTe\langle In \rangle/Te$ площею $0,09 \text{ см}^2$ отримано вихідну вольт-ватну чутливість 20 В/Вт , для структур на основі CdS площею $0,05 \text{ см}^2$ при $U_{зв} = 1,5 \text{ В}$ і освітленні лампою з $P = 0,2 \text{ мВт}$ $R_t/R_0 = 10^4$ з постійною часу 10^{-2} с .

6. За результатами дослідження взаємодії CO_2 -лазерного

випромінювання з вузькозонним матеріалом $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ виявлено значну залежність зміни концентрації дефектів у зоні опромінення від методу обробки, складу та часу зберігання вихідного матеріалу. Показано, що сплавлення вузькозонного матеріалу $PbTe$ з широкозонними призводить до розпаду $PbTe$ та легування його компонентами широкозонного матеріалу.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНІ В РОБОТАХ:

1. Цюцора Д.І., Шкумбатюк П.С., Получение р-п переходов на $CdTe<In>$ лазерным отжигом // Физ.и техн.полупр.-1993. -Т.27. N 6. - С.1064-1067.

2. Цюцора Д.І., Шкумбатюк П.С. О возможности получения р-п переходов на $CdTe$ легированного индием // "Письма в ЖТФ"-1993. - Т.19. - N11. - С. 12-14.

3. Дружинін А.О., Цюцора Д.І., Хляп Г.М., Шкумбатюк П.С. Деякі властивості напівпровідникових структур $CdTe/PbTe$, $CdS/PbTe$, отриманих сплавленням CO_2 -лазером // Елементи теорії та прилади твердотільної електроніки. Вісник Державного університету "Львівська політехніка" -1995. N 297 -С.80-83.

4. Вірт І.С., Кузьма М.С., Шеретій Е.М., Шкумбатюк П.С. Твердофазное легирование монокристаллов $Cd_xHg_{1-x}Te$ // Физ.и техн.полупровдн. -1992. - Т.26. -N 3. - С. 556-558.

5. Khlap G.M., Andrukhiv M.G., Shkumbatik P.S., Bochkarova L.V., Characteristics of $Hg_{0,8}Cd_{0,2}Te/PbS$ heterostructures // J.App Phys. 74 (8) 1993. P.208-210.

6. Андрухів М. Г., Григорович Г. М., Цюцора Д. І., Шкумбатюк П.С. Про утворення дефектів в $CdTe<In>$ під дією

CO₂-лазерного випромінювання // Укр.фіз.журн.- 1993. - Т.37. -N 11. - С. 1068-1070.

7.Шкумбатьок П.С., Цюцюра Д.И. Тепловой разогрев широкозонных полупроводниковых материалов CO₂-лазером // Журн.техн.физ. -1995, -Т.65. -N 12. -С. 136-138

8. Khluar G.M., Andriukhiv M.G., Bochkaxiova L.V., Skumbatiuk P.S. Geterostructures PbS/ZnSe, PbS/ZnTe // Physicoin Ukraine 2 International Conference, Kiev, 22-27 gune, 1993, Solid statt physich. P.106-108.

9. Цюцюра Д.И., Шкумбатьок П.С. Образование нелинейной проводимости в CdS при облучении длинноволновим лазерним излучением // "Письма в ЖТФ"- 1994. - Т.20. -N 1. - С. 86-88.

10. Андрухів М.Г.,Цюцюра Д.І., Шкумбатьок П.С. Про взаємодію CO₂-лазерного випромінювання з дефектами в Cd_xHg_{1-x}Te // Теми доп. 1 Міжвуз. конф. Ніжин, Черніг.обл., 1991.- С.12.

11. Дружинин А.А., Цюцюра Д. И., Шкумбатьок П.С. Формирование структур с нелинейными ВАХ в материалах A²B⁵ CO₂ - лазерным излучением // Темы док. Междунар. конф. "Лазерные технологии-95", Шатура, Моск. обл., 1995.- С.24.

12. Цюцюра Д.І., Шкумбатьок П. С., Шуптар Д. Д., Хляп Г.М. Про утворення плівок матеріалів A²B⁵ на взаємодіючій з CO₂ -лазерним випромінюванням поверхні // Теми доп. V Міжнародної конференції з фізики і технології тонких плівок м.Івано - Франківськ, 1995.- С.8.

Шкумбатьок П.С. Структурные изменения в полупроводниках типа A²B⁵ под действием CO₂-лазерного излучения и их использование для получения барьерных структур. Диссертация на со-

искание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.03.- Технология, оборудование и производство материалов и устройств электронной техники. Государственный университет "Львівська політехніка". Львов, 1996 г.

Защищается 12 научных работ, в которых изучено влияние непрерывного CO_2 -лазерного излучения плотностью мощности $10\text{-}10^3$ Вт/см² на структурные и электрофизические свойства материалов A^2B^6 . Исследованы процессы разогрева, плавления и испарения, изменение электрических и фотоэлектрических свойств приповерхностных областей. Разработаны технологические основы изготовления барьерных структур на основании материалов A^2B^6 тепловым действием CO_2 -лазерного излучения.

Shkumbatiuk P.S. The structural investigations in A^2B^6 semiconductor materials on CO_2 -laser irradiation influence and their using for barrier structures fabrication. Thesis for candidate of technical sciences in 05.27.03-the equipment and fabrication technology of materials and devices for electronics. The State university "Lviv Politechnica", Lviv, 1996.

The dissertation is submitted 12 research works with results of the investigation of CO_2 -laser irradiation influence on the structure and electrophysical properties of A^2B^6 materials. The electrical and subsurface layers changes caused by laser irradiation are studied. The technology of barrier structures fabrication is investigated and worked out.

Ключові слова: технологія, лазерне опромінення, матеріали A^2B^6 , бар'єрні структури, коефіцієнт поглинання.

Підписано до друку 25.10.96. Формат 60x84/16. Папір друк. №1.
Друк офсетн. Умовн. друк. арк. 1,5. Умовн. фарб. відб. 1,5.
Обл.-вид. арк. 1,7. Тираж 100. Замовлення 263.

Машинно-офсетна лабораторія Львівського держуніверситету
Ім. І. Франка. 290602 Львів, вул. Університетська, 1.

Ar 32

1850

11580

AB 35.961

AB 35.961