

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ

ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЮРІЯ ФЕДЬКОВИЧА

На правах рукопису

МЕШЕКЕЧКО Олександр Юрійович

СИНТЕЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЕПІТАКСІЙНИХ ПЛІВКОВИХ СТРУКТУР НА ОСНОВІ
СУЛЬФІДУ ТА СЕЛЕНІДУ ЦИНКУ

01.04.07. - фізика твердого тіла

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Чернівці-1993

№ 27.171

Робота виконана на кафедрі радіоелектроніки
Дніпропетровського державного університету.

Науковий керівник:

кандидат фізико-математичних наук, доцент
КОВАЛЕНКО О.В.

Офіційні опоненти:

доктор фізико-математичних наук, професор
КОВАЛЮК З.Д.

доктор фізико-математичних наук
САВЧУК А.Я.

Провідна установа:

Інститут Фізики Академії Наук України, м. Київ

Захист відбудеться "21."...*травня*... 1983 р.

0 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради
Д 088.18.01. Чернівецького державного університету імені
В.Федьковича (274012 м.Чернівці, вул. Коцюбинського, 2).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ЧДУ.

Автореферат розісланий "13."...*квітня*... 1983 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради. КУРГАНЕЦЬКИЙ М.В.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00803156 (N)

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Успішний розвиток галузей сучасної техніки, таких як оптоелектроніка, мікроелектроніка, телевізійна і лазерна техніка, неможливий без теоретичних, експериментальних досліджень процесів синтезу якісних напівпровідників і вивчення їх фундаментальних властивостей. Це визначає постійне удосконалення існуючих та розробку нових методик синтезу структур, реалізуючих технічні досягнення та наукові передбачення. Перспективними матеріалами для подальшого рішення питань фізики твердого тіла двовимірних структур та розробки нової елементарної бази сучасної техніки є кристалофосфори сульфідів та селенідів цинку, які можуть служити основою для створення блакитних світлодіодів, оптичних хвильоводів з малими втратами, мішеней напівпровідникових лазерів з електронним накачуванням та інших.

Розвиток фізики напівпровідників стимулює не тільки технологічні досягнення по епітаксійному росту плівок, але й передбачає науковий та промисловий попит на багаточастотні періодичні структури – надграти та одинокі квантові ями. Спільний розвиток фізики надграт та технологій їх виробництва сприяє розробці та втіленню нового покоління оптоелектронних приладів. Таки: чином, відпрацювання технологічних засобів одержання якісних епітаксійних шарів та квантово-розмірних структур поряд із з'ясуванням механізму росту та фізичних процесів випромінювальної рекомбінації в надтонких плівках є задачею, яка відноситься до важливих напрямків розвитку сучасної науки та техніки. Багато питань, стосовно фізики напруженої двовимірної структури і екситонних станів у неї з'являються маловивченими.

З'ясування впливу лазерного діяння на кінетику та форму агрегації актуально, становить наукове значення і перспективу технічного використання.

Мета праці - дослідження технології зрощування високоякісних епітаксійних шарів ZnS , $ZnSe$, ZnS_xSe_{1-x} та квантово-розмірних структур $ZnS-ZnSe-ZnS$ на альтернативній підкладці $GaAs$; вивчення впливу лазерного діяння на механізм росту; з'ясування фундаментальних оптичних властивостей епітаксійних структур і також деяких аспектів їх практичного використання.

Наукова новизна даної праці полягає в наступному.

- Детально вивчено вплив технологічних параметрів росту на спектр фотолумінесценції (ФЛ) гетероструктури $ZnSe/GaAs$. Показані широкі можливості контролю структурного удосконалення півки, що визначає оптичні характеристики (спектри відбиття, ФЛ) епітаксійних шарів.

- Вперше зроблені дослідження фотостимульованого (ФС) росту із газової фази з'єднання $ZnSe$ з використанням порошкоподібних джерел сировини із різними приладами монохроматичного випромінювання.

- Одержані нові експериментальні дані про присутність двоелектронних сателітних ліній в спектрі ФЛ від розщепленої смуги зв'язаних екситонів на нейтральному донорі.

- Уточнені коректні значення коефіцієнтів твердості $ZnSe$, які дозволяють зробити розрахунок із запропонованої лінійної залежності компоненти тензору деформації та оцінку товщини шару із даних лумінесцентного аналізу.

- Вперше для структури $ZnSe/GaAs$ у спектрах відбиття зареєстрований стан вільних екситонів із квантовим числом $n=2$.

- Запропонована модель процесу ΦC синтезу. $ZnSe$ із газової фази.

- Вперше методикою ΦC газофазної епітаксії із порошкоподібних джерел сировини синтезовані одинокі квантові ями $ZnS-ZnSe-ZnS/GaAs(100)$ і виміряні їх спектри відбиття.

Практична цінність роботи. Розроблені порівняно дешеві конкурентноздатні засоби одержання високоякісних епітаксійних плівок та квантово-розмірних структур на основі халькогенідів цинку по технології ΦC епітаксії. Запропоновані конкретні приклади використання зрощених шарів в якості багатофункціональних покриттів на активній поверхні сонячних елементів, що спряє покращення характеристик перетворювачів енергії. Показано аспект використання шару селеніду цинку, як робочого тіла в напівпровідниковому хімічному сенсорі на водень.

Результати дослідження впливу ΦC діяння на механізм росту мають, окрім наукового значення, інтерес для технологів, вирішувачих проблему покращення якості епітаксійних шарів, досягнення чіткої межі шар-підкладка і високої хімічної чистоти з'єднання. Запропоновано метод оцінки товщини шару $ZnSe$ по даним люмінесцентного аналізу.

На захист пропонуються наступні положення.

1. Способи отримання високоякісних епітаксійних шарів ZnS , $ZnSe$, ZnS_xSe_{1-x} методом газофазного осадження на альтернативній підкладці $GaAs(100)$.
2. Методика розрахунку значення тензору деформації та прогнозування величини розщеплення валентних зон.
3. Модель механізму фотостимульованого росту $ZnSe$ із газової фази.

4. Технологічні умови синтезу квантово-розмірних структур ZnS-ZnSe-ZnS/GaAs.

Апробація роботи. Основні результати доповідались і обговорювались на VI и VII Всесоюзній - I Міжнародній нараді "Фізика, хімія та технологія люмінофорів" / Ставрополь, 1989 р. і 1992 р./, III Всесоюзній конференції "Матеріалознавство халькогенідних напівпровідників" / Чернівці, 1991 р./, VIII Всесоюзній конференції по росту кристалів / Харків, 1992 р./, V Українській конференції "Фізика і технологія тонких плівок складних напівпровідників" / Ужгород, 1992 р./, наукових семінарах кафедри радіоелектроніки Дніпропетровського держуніверситету та Інституту Фізики АНУ.

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані в 5 наукових статтях і 8 тезах перерахованих вище конференцій. Список робіт наданий в кінці автореферату.

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, основних результатів і висновків, додатку та списку літератури. Вона містить 130 сторінок, 44 рисунки, 12 таблиць. Список літератури включає 188 найменувань.

СТИСЛИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дана загальна характеристика роботи: обґрунтована актуальність теми і мета роботи, оцінена новизна і практичне значення отриманих результатів, сформульовані захищені положення.

Розділ I. Апаратура та методика отримання халькогенідних шарів. Приводиться опис особливостей горизонтального ростового

реактора з двома незалежними потоками газу-носія(водню), призначеного для синтезу бінарних з'єднань методом газофазного осадження (vapor phase epitaxy- VPE). Відсутність печі в зоні росту, наявність примусового водяного охолодження безпосередньо в області розміщення підкладки GaAs(100) сприяли установленню великого температурного градієнту (до $\sim 250^\circ\text{C}/\text{см}$), що привело до ефекту викристалізації домішок на стінці реактора. Температура росту (t_p) визначалась переміщенням підкладки вздовж осі реактора. Описаний чотирьохувідний реактор та комп'ютеризована газофазна ростова система, забезпечуюча синтез змішаних та квантово-розмірних структур по технології ФС газофазної епітаксії (photo-assisted vapor phase epitaxy- PAVPE) із використанням розсіяного випромінювання He-Ne($h\nu \sim 2,0$ eV), He-Cd($h\nu \sim 2,8$ eV) лазерів і ртутної лампи($h\nu \sim 3,4$ eV). Обтічний вхід та симетричне розташування трьох каналів розміщення та випаровування сировини дозволило добитися стійких ламінарних газових потоків. Четвертий канал водню призначається для перемішування реагентів перед підкладкою. Передбачено постійний продув трубопроводів, що запобігає застою газів та знімає ударну хвилю на момент відчинення клапанів при здійснюванні ростової програми, заданої персональним комп'ютером.

Запропоновані рівняння відповідності парціальних тисків і констант рівноваги для опису росту бінарних з'єднань та сульфоселенідних шарів. Велика увага приділена вивченню впливу технологічних параметрів росту (витрата газу-носія, t_p) на спектр ФЛ шару ZnSe. Запропоновані гістограми, відображаючі співвідношення спектральних смуг крайового ($\lambda \sim 460$ нм) і самоактивованого випромінювання ($\lambda \sim 610$ нм) в спектрах ФЛ як функції витрати газу-

носія при фіксованих t_p у випадку використання в якості джерел сировини ОСЧ порошку, монокристалу і порошку ZnSe фірми "Merck". Визначені оптимальні технологічні параметри росту, при яких синтезувались моношари ZnS, ZnSe, ZnS_xSe_{1-x} ($0 < x < 1$) на GaAs(100), маючі виключно крайову люмінесценцію. Проведені дослідження морфології поверхні і сколу плівок. По вимірюваній товщині шару (d) визначалась швидкість росту.

Стабільні характеристики одержаних шарів надали змогу практичного використання плівок ZnSe. При епітаксійному нарощуванні ZnSe на активні поверхні сонячних елементів на основі Si та GaAs зокрема захисних функцій реєстрували значний ефект просвітлення у порівнянні з стандартними зразками. Відзначається збільшення чутливості сонячних елементів, визване впливом створених приповерхневих n-p гетеропереходів. Спостерігали розширення спектральної чутливості в довгохвильову область для Si-елементів та в короткохвильову для GaAs-елементів. Другим аспектом використання можуть служити полікристалеві шари ZnSe з розвинутою поверхнею в якості робочого тіла хімічного сенсору на водень. У широкому діапазоні тисків водню відносно змінення опору шару ZnSe досягає 24%, а при нагріванні (70°C) до 50%. Час відклику на присутність водню складає одиниці секунд поряд із швидким відновленням опору при вакуумуванні напускної камери. Запропоновані можливі механізми рекомбінацій атомів, окислення водню і процесів регенерації.

Розділ II. Спектроскопія екситонних станів напруженої гетероструктури ZnSe/GaAs(100). Аналізується ефект пружної деформації в епітаксійному шарі, обумовлений впливом альтернативної підкладки. Обговорюється еволюція зонної структури селеніду

цинку при різних товщинах шару, які визначають вид деформації. Відзначається, що при товщині ZnSe менше 0,88 мкм має місце деформація стиску, викликана решітчною розпобіжністю шару і підкладки, яка розщеплює стан Γ_8 на зону важких дірок (hh) і зону легких дірок (Lh) із позитивним зсувом центру ваги мультиплету $P_{3/2}$ відносно зони провідності. (Розмір розщеплення валентної зони визначений як $2\Delta_e$). При товщинах більше 0,88 мкм з'являється деформація розтягу, обумовлена розпобіжністю коефіцієнтів теплового розширення, зсуваючи валентні зони до зони провідності. В оптичних спектрах напружених шарів реєстрували розщеплення одинокої смуги вільного екситону на лінії екситонів E_{Lh} (електрон із легких дірок) і E_{hh} (електрон із важких дірок). В рамках використовуваного підходу у випадку пружної деформації вважається, що енергії зв'язку екситонів не залежать від деформації та ефективних мас дірок поблизу $\vec{k}=0$ і в силу припущеної сорозмірності ридбергів $R(Lh) \approx R(hh)$ енергетична різниця екситонних термів $|E_{Lh} - E_{hh}|$ розглядається як еквівалент розщеплення валентної зони $2\Delta_e$. Представлені базисні орбітально-деформаційні гамільтоніани для даної розрахункової моделі і лінійні рівняння зсуву трьох валентних зон. Обговорені обмеження застосування даних рівнянь.

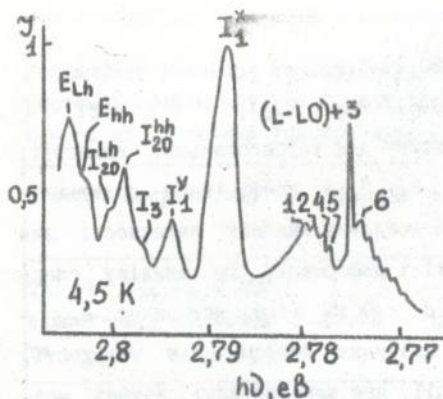
Вимірні спектри відбиття та ФЛ плівок ZnSe з різними товщинами при екситонному збудженні He-Cd лазером. Значення екситонних термів визначали енергією максимуму випромінювання ФЛ. Для дослідження особливостей методики ФС осадження були зроблені тестові зразки при ідентичних умовах росту. Спектр ФЛ VPE- шару містив розщеплені смуги вільних екситонів, лінії випромінювання зв'язаних екситонів на донорі Ga ($h\nu = 2,7985$ eV), акцепторах Na

($\hbar\omega = 2,7835$ eV), Li ($\hbar\omega = 2,7890$ eV) і власному дефекті - $I_1(V_{Zn})$ ($\hbar\omega = 2,7802$ eV). Також виділена лінія $I_V(\hbar\omega = 2,7740$ eV) - результат неекситонної рекомбінації на локалізованих дефектах, можливо на місці Se. Зрощений шар ZnSe методом MOC епітаксії з наведеною потужністю He-Cd лазеру на підкладку $\sim 0,8$ мВт/см² характеризувався покращенням морфології (дзеркальності) поверхні, а в спектрі ФЛ - відносним зростанням інтенсивності вільних екситонів і гашенням ліній $I_1(V_{Zn})$, I_V (рис. 1). Більша різниця $|E_{Lh} - E_{hh}|$ свідчить про зменшення швидкості росту. Крім того, реєстрували розщеплення зв'язаного екситону внаслідок рекомбінації на одному нейтральному донорі Ga в залежності від ефективних мас дірок. Підтвердженням даної ідентифікації можуть служити спостережанні двоелектронні (two electron-TE) переходи від ліній $I_{20}^{Lh}(\hbar\omega = 2,7998$ eV) та $I_{20}^{hh}(\hbar\omega = 2,7988$ eV), обумовлені випромінювальною рекомбінацією зв'язаного екситону, який знаходиться в збудженому стані 2s, 2p, 3p. При тривалому відлягу сировини і найбільш оптимальних умовах синтезу зрощені шари, маючи тільки люмінесценцію вільних екситонів (див. табл. 1., N 255:Ph; індекс "Ph" вказує на MOC).

Зрощені шари ZnS/GaAs також характеризувались наявністю в спектрах ФЛ інтенсивної екситонної структури.

Екстремуми на спектрах відбиття (рис. 2, а) корелюють із максимумами екситонних смуг ФЛ, і вперше для гетроструктури ZnSe/GaAs(100) зареєстровано збуджений стан $n = 2$ екситонної серії. Представлений спектр відбиття надтонкої плівки товщиною порядку 10 атомарних шарів ZnSe з очікуваним розщепленням екситонних термів.

Запропонована лінійна залежність при вирішенні системи рівнянь зсуву валентних зон типу $2\Delta_e = Ae$ ($A = \text{const}$, e - значення



TE переходи:

- 1) 2,7797 eВ- I_{2s}^{Lh} (20,1 меВ);
- 2) 2,7792 eВ- I_{2p}^{Lh} (20,6 меВ);
- 3) 2,7753 eВ- I_{3p}^{Lh} (24,5 меВ);
- 4) 2,7787 eВ- I_{2s}^{hh} (20,1 меВ);
- 5) 2,7781 eВ- I_{2p}^{hh} (20,7 меВ);
- 6) 2,7743 eВ- I_{3p}^{hh} (24,5 меВ).

В дужках на дана енергетична відстань до смуг I_{20}^{Lh} , I_{20}^{hh} , відповідно.

Рис.1. Спектр фл шару ZnSe/GaAs N 273:Ph.

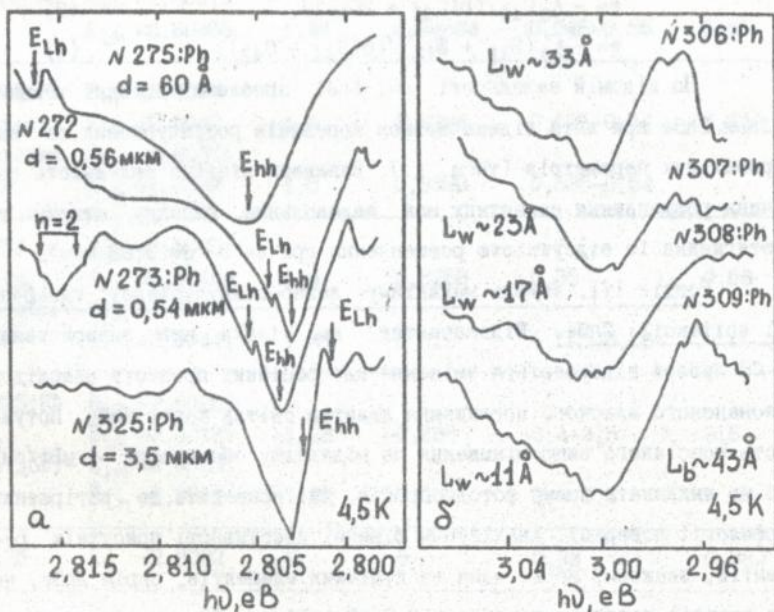


Рис.2. Спектри відбиття ZnSe/GaAs (а) і ОКЯ ZnS-ZnSe-ZnS/GaAs (б).

тензору деформації):

$$2\Delta e = -2be(C_{41} + 2C_{42})/C_{41}, \quad (1)$$

$$2\Delta e = -2be(S_{41} - S_{42})/(S_{41} + S_{42}), \quad (2)$$

де b - потенціал деформаційного зсуву для тетрагональної симетрії; C_{41}, C_{42} - коефіцієнти твердості; S_{41}, S_{42} - коефіцієнти податливості. Були зроблені розрахунки 24 можливих значень залежності для всіх відомих параметрів твердості і деформації. Із аналізу спектрів відбиття надтонких шарів ($d < 0,15$ мкм), для яких $e_{\max} = 2,77 \cdot 10^{-3}$, уточнені коректні значення коефіцієнтів твердості, податливості і параметр деформації, при використанні котрих можливо з достатньою точністю визначити компоненту тензору деформації:

$$e = -\Delta e C_{41} / (b(C_{41} + 2C_{42})), \quad (3)$$

$$e = -\Delta e (S_{41} + S_{42}) / (b(S_{41} - C_{42})) \quad (4)$$

По відомій залежності $d = f(e)$ зроблена оцінка товщини плівки ZnSe при якій відзначається кореляція розрахункових та вимірювальних параметрів (табл. 1.). Виявлена лінійна залежність величини розщеплення валентних зон задовольняє випадку стиску та розтягнення із відсутністю розщеплення при $e = 0$ ($d = 0,88$ мкм).

Розділ III. Модель механізму лазер-стимульованої газофазної епітаксії ZnSe. Відзначається, що тільки при використанні He-Cd лазера відбувається зміння адсорбційних процесів внаслідок резонансного власного поглинання квантів світла шаром ZnSe. Потужність розсіяного випромінювання на підкладку обмежували ~ 1 мВт/см², щоб не викликати пряму фотодесорбцію, яка приводить до погіршення морфології поверхні. Аналізуючи фізичні властивості присутніх реагентів, вважаємо, що ні один із хімічних елементів, окрім ZnSe, не має енергії поглинання поблизу 2,8 еВ. Ефект ФС не пояснюється

Таблиця 1.

Розрахунок значення тензору деформації по формулі (3) при використанні коефіцієнтів : $C_{44} = 8,10 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$, $C_{42} = 4,9 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$, $b = -1 \text{ эВ}$ і оцінка товщини шару ZnSe.

N шару	Енергія, еВ	$2\Delta_e, \text{мэВ}$	$e \cdot 10^{-3}$	d, мкм оцінка	d, мкм вимір
275:Ph відбит- тя	$E_{hh} = 2,80452$ $E_{Lh} = 2,81625$	11,73	2,77	0,008	0,008
282:Ph	$E_{hh} = 2,80379$ $E_{Lh} = 2,80552$	1,73	0,3914	0,510-0,515	0,52
255:Ph	$E_{hh} = 2,80315$ $E_{Lh} = 2,80483$	1,48	0,34884	0,545-0,55	0,55
273:Ph (тест) відбит- тя	$E_{hh} = 2,8034$ $E_{Lh} = 2,8049$ $E_{hh} = 2,80351$ $E_{Lh} = 2,8050$	1,5	0,3394	0,535-0,54	0,540
272 (тест) відбит- тя	$E_{hh} = 2,8030$ $E_{Lh} = 2,80440$ $E_{hh} = 2,8030$ $E_{Lh} = 2,80441$	1,4	0,3258	0,55	0,58
325:Ph відбит- тя	$E_{hh} = 2,80258$ $E_{Lh} = 2,80129$ $E_{hh} = 2,80237$ $E_{Lh} = 2,8011$	-1,28	-0,288	3,4-3,5	3,5
175	$E_x = 2,8002$	0	0	0,88	0,88

термічною десорбцією, так як перегрів структури складає менше $0,01^{\circ}\text{C}$.

У відповідності із запропонованою моделлю, при поглинанні квантів світла створюємою структурою ZnSe чиниться закид електронів із валентної зони в зону провідності із появою вільних (e-h) пар, що ослаблює іонний зв'язок та збурює sp^3 -конфігурацію. Поряд із дегібридизацією, здійснюється перехід системи з основного незбудженого терму в електронно-збуджений стан із можливим спотворенням форми кривої потенціальної взаємодії при зміщенні уверх по енергетичній осі. Розсіяння енергії збудження може проходити по механізму внутрішньозонної релаксації через рекомбінацію (e-h) пар та міжзонної релаксації, яка визначається процесами безвипромінювальної рекомбінації. Вважаємо, що при даних умовах ФС має місце переважний канал дисипації енергії через поступовий рух (міграцію по поверхні внаслідок зниження теплоти адсорбції) та десорбції визначеного сорту атомів.

Селективна десорбція Se, яка зміщує стехіометрію в сторону металу, відзначена нами як причина гашення лінії $I_1 (V_{Zn})$, може бути трактована різною деформацією sp^3 - зв'язку. У випадку ФС при приєднанні Se до поверхні росту з пониженням ступеню усуспільнення електрону кристалеві решітці відбувається перезарядка комплексу від "зарядженої" форми до нейтральної слабкої форми хемосорбції. Зниження теплоти адсорбції приводить до збільшення швидкості десорбції Se. При ФС у випадку адсорбції Zn, навпаки, відбувається затягування електрону із кристалеві грати, яка приводить до стабілізації металу на поверхні в порівнянні з Se у новій якості "зарядженої" сильної форми хемосорбції.

Також відзначається вибірковість впливу ФС по різних ста-

нам агрегації. Теплота адсорбції менше на власних дефектах упаковки, чим на упорядкованій кристалевій терасі. Внаслідок цього, при ФС із зниженням енергії зв'язку з поверхнею буде відбуватися міграція або десорбція слабозв'язаних станів порівняно з більш стабільною упорядкованою агрегацією.

Таким чином, експериментальні результати збільшення кристалічного удосконалення структури, яка синтезується ФС епітаксією, пояснюється вилученням дефектних формувань, зниженням швидкості росту із зростанням часу адсорбції і установаженням двовимірного зародкування, забезпеченого механізмом руху ступенів.

Розділ IV. Зрощування і дослідження оптичних характеристик квантово-розмірних структур. Розглядаються особливості синтезу періодичних надтонких структур із урахуванням ініційованих ФС процесів міграції та десорбції шляхом уведення в ростову програму часу "затримки". Протягом даного часу перекривався потік газу-носія на 5 секунд після зрощування кожного шару напівпровідника. Потім робили обдув воднем, очищаючи поверхню плівки і ростовий реактор для напуску другого реагенту.

Параметри одинокої квантової ями (ОКЯ) ZnS-ZnSe-ZnS, що складається із двох шарів ZnS та середнього шару ZnSe, задавали наступними: ширина бар'єру $L_b \sim 43 \text{ \AA}$ (8 атомарних шарів ZnS), ширина ями $L_w \sim 11-33 \text{ \AA}$ (2-8 атомарних шарів ZnSe). Рентгенодифракційний аналіз підтвердив наявність монокристалевих плівок при ФС епітаксії.

Розглядаються енергії станів локалізованої частинки в квантовій ямі, які описуються рішенням стаціонарного рівняння Шредінгера з урахуванням двох механізмів: мінімізацією енергії зон по відношенню до дна ями при збільшенні L_w і залежності зонної структури від деформації, визваної значною розпобіжністю грат

(> 4,7%) в визначених співвідношеннях товщин шарів. Аналізуються різні моделі для опису напружених квантово-розмірних структур. Обговорений стрибок забороненої зони ΔE_g даної ОКЯ і розриви зон ΔE_v , ΔE_c . Запропоновані моделі розрахунку стрибку валентної зони та висоти бар'єру.

В спектрах відбиття ОКЯ ZnS-ZnSe-ZnS/GaAs(100) з товщинами півки ZnSe порядку 2, 3, 4 та 6 атомарних шарів вперше зареєстровано екситонну структуру (рис. 2, б) та виявлено "блакитний" зсув енергетичного положення E_{hh} від 2,9849 eV до 2,9884 eV при зменшенні ширини ями від 33 Å до 11 Å поряд із стабільною шириною бар'єру (43 Å).

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ.

1. Розроблений та створений чотирьохувідний ростовий реактор по технології газофазного осадження з комп'ютеризованим управлінням ламінарних газових течій. Визначені оптимальні технологічні параметри росту, дозволяючі стабільно синтезувати монокристалеві епітаксійні шари ZnSe, ZnS, ZnS_xSe_{1-x} на підкладці GaAs(100) з контролем швидкості росту, морфології поверхні та структурного удосконалення.

2. Використання монокристалевих шарів ZnSe в якості багатофункціональних покриттів сонячних елементів на основі Si та GaAs дозволило покращити їх характеристики по ряду пунктів: захисні властивості; просвітлюючий ефект; розширення області спектральної чутливості; збільшення чутливості елементів внаслідок просторового розподілу електронно-діркових пар електричним полем утворених приповерхневих гетеропереходів n-ZnSe - p-Si та n-ZnSe - p-GaAs. Зроб-

лені дослідження по чутливості до водню полікристалєвої плівки ZnSe/GaAs показують, що дана планарна структура відповідає основним вимогам до напівпровідникових хімічних сенсорів.

3. Виявлено, що при лазер-стимульованій епітаксії з енергією збудження 2,8 еВ та наведеною потужністю на підкладку $\sim 1 \text{ мВт/см}^2$ відбувається зниження швидкості росту з 1,68 до 1,62 мкм/г; покращення морфології поверхні; відносне збільшення в спектрах ФЛ інтенсивності вільних екситонів та гашення ліній $I_1(V_{Zn})$, I_V .

4. Спостереження тільки смуг вільних екситонів в спектрах ФЛ плівок, вирощених по методиці PAVPE, та реєстрація в спектрах відбиття $n = 2$ збудженого стану екситонної серії свідчать про високу якість шару.

5. На основі одержаної лінійної залежності з обґрунтуванням використання уточнених значень коефіцієнтів твердості запропонована методика розрахунку компоненти тензору деформації, оцінки товщини шару по даним люмінесцентного аналізу і прогнозування розміру розщеплення валентних зон.

6. Описана модель механізму фотостимульованого росту ZnSe, основною ідеєю якої є установлення переважного каналу дисипації енергії електронно-збудженого стану частинок через міграційні процеси та селективну десорбцію.

7. Двовимірне зародкування при ФС, забезпечене механізмом руху ступенів, дозволило вперше синтезувати газофазним методом одинокі напружені квантові ями ZnS($\sim 43 \text{ \AA}$)-ZnSe($\sim 11-33 \text{ \AA}$)-ZnS($\sim 43 \text{ \AA}$)/GaAs, в спектрах відбиття яких спостерігали екситонну структуру з виявленням залежності енергетичного положення "важкого" екситону E_{hh} від ширини ями.

ІНД ім. В. Стефанька
АН України

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНИЙ В РОБОТАХ:

1. Коваленко А.В., Мекекечко А.Д., Щукін А.И. Синтез и люминесцентные свойства монокристаллических пленок ZnSe, выращенных на подложках GaAs. - В кн.: Материалы твердотельной электроники, Днепропетровск. - 1989. - С. 12-16.
2. Коваленко А.В., Мекекечко А.Д. Оптимизация параметров роста и исследование спектров фотолюминесценции пленок ZnSe. - В кн.: Физика, химия и технология люминофоров, Ставрополь. - 1989. - С. 25.
3. Коваленко А.В., Мекекечко А.Д. Фотостимулированный рост монокристаллических слоев ZnSe на GaAs(100) методом газовой эпитаксии. - В кн.: Материаловедение халькогенидных полупроводников, Черновцы. - 1991. - Т. 1. - С. 154.
4. Коваленко А.В., Мекекечко А.Д., Бондарь Н.В., Тищенко В.В. Люминесцентные свойства эпитаксиальных слоев ZnSe на подложке GaAs(100) при высоких уровнях возбуждения. - В кн.: Материаловедение халькогенидных полупроводников, Черновцы. - 1991. - Т. 2. - С. 68.
5. Бондарь Н.В., Коваленко А.В., Тищенко В.В., Мекекечко А.Д. Фотолюминесценция гетероструктур ZnSe/GaAs(100) // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. - 1991. - Т. 27, N 12. - С. 2520-2522.
6. Коваленко А.В., Мекекечко А.Д., Лиллей П. Эффект влияния фотостимуляции на оптические свойства гетероструктур ZnSe/GaAs(100) // Изв. АН России. Неорганические материалы. - 1993. - Т. 29, N 2. - С. 185-186.
7. Коваленко А.В., Мекекечко А.Д. Выращивание пленок ZnS(x)Se(1-x) на подложках GaAs(100) методом фотостимулированной газовой эпитаксии и исследование их спектров фотолюминесценции. - В кн.: Физика, химия и технология люминофоров, Ставрополь. - 1992. - С. 81.

В.Коваленко А.В., Мекекечко А.Д. Синтез сверхрешеток ZnSe/
/ZnS(x)Se(1-x) на подложках GaAs(100) методом газовой эпита-
таксии и исследование их спектров фотолюминесценции.-В кн.:Физи-
ка, химия и технология люминофоров, Ставрополь.-1992.-С. 82.

Ө.Бродин М.С., Тищенко В.В., Бондарь Н.В., Коваленко А.В.,
Мекекечко А.Д. Резонансная экситонная люминесценция эпитакси-
альных слоев ZnSe/GaAs(100)//Украинский физический журнал.-1992.
-Т.37, N.12. - С. 1802-1808.

10.Коваленко А.В., Мекекечко А.Д., Бондарь Н.В. и др. Исследо-
вание оптических характеристик эпитаксиальных слоев ZnSe/GaAs
выращенные методом молекулярно-лучевой эпитаксии и газовой
эпитаксии//Физика и техника полупроводников.-1992.-Т. 28, N 7.
-С. 1251-1255.

11.Коваленко А.В., Мекекечко А.Д., Катков В.Ф. и др. Влияние
гидростатического давления на свойства эпитаксиальных пленок,
выращенных на альтернативных подложках. -В кн.:Фізика і техно-
логія тонких плівок складних напівпровідників, Ужгород. -1992.
-С. 111.

12.Коваленко А.В., Мекекечко А.Д. Механизм роста слоев ZnSe/
/GaAs(100), синтезированных методом фотостимулированной газовой
эпитаксии. -В кн.:Фізика і технологія тонких плівок складних
напівпровідників, Ужгород. -1992. -С. 118.

13.Коваленко А.В., Мекекечко А.Д., Лиллей П. Выращивание моно-
кристаллических пленок ZnS(x)Se(1-x) и сверхрешеток ZnSe/
/ZnS(x)Se(1-x) на подложках GaAs(100) методом газовой эпитаксии.
-В кн.:Рост кристаллов, Харьков. -1992.-Т. 1. -С. 112-113.

Ротапринт ДГУ Заказ N. 304... Тираж 100

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

AB 27.171

AB 27.171