

ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ім. Ю. Федьковича

На правах рукопису

МЕЛЬНИК

Володимир Васильович

ОПТОЕЛЕКТРОННІ ВЛАСТИВОСТІ ДІОДНИХ СТРУКТУР
НА ОСНОВІ СУЛЬФОСЕЛЕНІДІВ ЦИНКУ

01.04.10 – фізика напівпровідників та діелектриків

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

ЧЕРНІВЦІ - 1995

ДВ 32, 06 /

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі оптоелектроніки Чернівецького державного університету імені Ю.Федьковича.

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук,
професор Махній Віктор Петрович

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук,
професор Корбутяк Дмитро Васильович

доктор фізико-математичних наук,
головний науковий співробітник
Савчук Андрій Йосипович

Провідна організація: Чернівецьке відділення Інституту
проблем матеріалознавства НАН
України, м. Чернівці

Захист дисертації відбудеться 28 червня 1995 р. о 14.00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 07.01.06 при Чернівецькому державному університеті ім. Ю.Федьковича (274012 м. Чернівці, вул. Університетська, 19, велика фізична аудиторія).

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці Чернівецького державного університету (вул. А.Українки, 23).

Автореферат розіслано "24" травня 1995 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради

Курганецький М.В.

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00779089 (/)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми досліджень. Задачі сучасної оптоелектроніки вимагають суттєвого покращення параметрів та розширення функціональних можливостей її елементів. Насамперед це стосується підвищення температурної та часової стабільності, радіаційної стійкості, швидкодії, розширення спектрального діапазону в короткохвильову область. Один з шляхів досягнення цих вимог – заміна комерційно доступних матеріалів (Si, GaAs, GaP, тощо) більш широкозонними, зокрема, ZnS та ZnSe. Характерною особливістю даних сполук є наявність в них різноманітних точкових дефектів (власних, домішкових та їх асоціатів), що з одного боку обумовлює широкий спектр їх властивостей, а з іншого – ускладнює цілеспрямоване керування останніми. Крім того, схильність до самокомпенсації та яскраво виражена електронна провідність кристалів ZnS та ZnSe не дозволяє традиційними методами створювати на їх основі випрямляючі структури з р-п-переходом, які є важливим елементом багатьох електронних приладів. Для більшості ж приладів на базі достатньо простого у виготовленні контакту метал – сульфоселенід цинку характерний "мікроплазмовий" пробій, що значно знижує їх стабільність. Вказані технологічні труднощі та різноманітність фізичних процесів, які обумовлюють оптоелектронні властивості розроблюваних приладів на основі сульфоселенідів цинку – основна причина обмеженої кількості публікацій з даної тематики.

Таким чином, з викладеного вище слідує, що розробка технологічних методів керування параметрами кристалів сульфоселенідів цинку та діодних структур на їх основі, а також дослідження їх фізичних властивостей є актуальною науковою та технічною задачею.

Мета роботи – встановлення технологічних умов легування кристалів сульфоселенідів цинку для отримання необхідних величини і типу провідності, створення діодних структур на основі виготовлених кристалів, дослідження їх основних оптоелектронних властивостей та визначення можливостей практичного використання.

Для досягнення поставленої мети необхідно зробити наступне:

1. Визначити препаративні умови для підвищення електронної або діркової провідності шляхом відпалу кристалів в парах відю-

відних елементів.

2. Встановити режими створення поверхнево-бар'єрних структур на основі сульфоселенідів цинку, які б були позбавлені "мікроплазмового" та крайового пробітів.

3. Дослідити основні електрофізичні та оптоелектронні властивості кристалів і діодів на їх основі.

4. Визначити можливості практичного використання досліджуваних матеріалів та діодних структур в напівпровідниковій електроніці.

Приведені в даній роботі результати досліджень властивостей сульфоселенідів цинку та діодних структур на їх основі отримані з використанням незалежних взаємодоповнюючих методик, а розрахунки параметрів і характеристик проведені на основі сучасних модельних уявлень і теорій з застосуванням апробованих методів.

Наукова новизна.

1. Встановлені технологічні умови виготовлення поверхнево-бар'єрних структур та анізотипних гет-переходів на основі сульфоселенідів цинку.

2. Вперше запропонований метод одержання шарів з дірковою провідністю шляхом відпаду спеціально не легованих кристалів ZnSe та ZnS в парах In.

3. Методом квазіхімічних реакцій проведений термодинамічний розрахунок концентрацій рівноважних дефектів в кристалах pZnSe:In в залежності від температури відпаду та концентрації Індію.

4. Встановлена природа центрів, які обумовлюють діркову провідність кристалів ZnSe:In і запропонована схема випромінювальних переходів в них.

5. Вперше досліджені фотоелектричні властивості контактів метал-ZnSe та встановлені механізми генерації носіїв заряду, що їх обумовлюють.

Практична цінність роботи.

1. На основі низькоомних кристалів сульфідів і селенідів цинку

виготовлені поверхнево-бар'єрні діоди та анізотипні гетеропереходи з відтворюваними та стабільними параметрами і характеристиками.

2. Вперше виготовлені шари сульфоселенідів цинку з відносно високою ($\sigma = 10^9 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ при 300К) дірковою провідністю.

3. На базі контактів Ni-ZnSe та Ni-ZnS створені детектори ультрафіолетового випромінювання з монохроматичною чутливістю в максимумі не гірше 0,1А/Вт для спектрального діапазону 0,20+0,47мкм та 0,20+0,34мкм відповідно.

4. На рівні винаходу запропонований спосіб виготовлення інжекційних та передпробієних світлодіодів на базі контакту метал-ZnS з однорідним по всій площі випрямляючого контакту свіченням.

5. На основі гетеропереходу pZnSe-nZnS виготовлені інжекційні світлодіоди з блакитним ($\lambda_{\text{max}} \approx 0,47 \text{ мкм}$) кольором свічення та зовнішньою ефективністю $\sim 10^{-3}$ квант/електрон при 300К.

На захист виносяться:

1. Лабораторна технологія виготовлення контактів нікель-сульфоселенід цинку та анізотипних гетеропереходів сульфід-селенід цинку.

2. Термодинамічний розрахунок концентрацій рівноважних дефектів та схема випромінювальних переходів в кристалах pZnSe:In.

3. Узагальнені результати досліджень фотоелектричних та випромінювальних властивостей виготовлених низькоомних кристалів сульфоселенідів цинку та діодних структур на їх основі.

4. Рекомендації по практичному використанню створених діодних структур в оптоелектроніці.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідались і обговорювались на: Всесоюзній школі "Фізико-хімічні основи електронного матеріалознавства" (Новосибірськ, 1988р.); VII Всесоюзній конференції по хімії, фізиці і технічному застосуванню халькогенідів (Київ, 1988р.); Всесоюзній конференції "Оптико-електронні вимірні пристрої та системи" (Томськ, 1989р.); розширеному засіданні секції електролюмінесценції Наукової ради по люмінесценції АН СРСР (Вільнюс, 1989р.); I Всесоюзній конференції

ції "Физические основы твердотельной электроники" (Ленінград, 1989р.); Всесоюзній конференції по електролюмінесценції (Ангарськ, 1991р.); V міжнародній конференції по II-VI-сполуках (Тамано, Окаяма, Японія, 1991р.); Ювілейній конференції ІЕФ'93 (Ужгород, 1993р.); V міжнародній конференції "Матеріалознавство халькогенідних і алмазоподібних напівпровідників" (Чернівці, 1994р.); VIII науково-технічній конференції "Хімія, фізика і технологія халькогенідів і халькогалогенідів" (Ужгород, 1994р.).

Публікації та особистий вклад автора. По темі дисертації опубліковано 18 робіт, в тому числі і авторське свідчення на винахід, список яких приведений в кінці автореферату. Дисертантом проведені технологічні роботи і експериментальні та теоретичні дослідження, результати яких описані в дисертаційній роботі.

Структура і об'єм дисертації. Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку літератури і містить 125 сторінок машинописного тексту, 43 рисунки, 5 таблиць, 100 найменувань цитованих робіт.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, формулюється мета та основні задачі роботи, наукова новизна, практична цінність, основні положення, які вносяться на захист, приводиться інформація про апробацію роботи та публікацію матеріалів дисертації.

В першому розділі зроблений огляд основних властивостей сульфоселенідів цинку, технологічних методів одержання та легування цих матеріалів і створення діодних структур. Розглянуті також їх люмінесцентні та фотоелектричні властивості. Відзначено, що, не зважаючи на певні успіхи, досягнуті в отриманні об'ємних монокристалів сульфиду та селеніду цинку, можливості використання даних сполук для створення ефективних випромінюючих та фоточувливих структур на даний час обмежені в зв'язку з труднощами в керуванні їх електричними властивостями. На основі проведеного аналізу літературних даних формулюється постановка задачі.

В другому розділі приведені параметри та режими обробки вихідних кристалів, розглянуто вплив технологічних факторів на їх

електрофізичні властивості. Описані методи виготовлення діодних структур та методики вимірювань.

Експериментально було встановлено, що відпалу в парах цинку при 800-1000°C на протязі 10-20 годин цілком достатньо для легування всього об'єму кристалу товщиною ~1мм. Енергії активації донорних домішок, знайдені з температурних залежностей електропровідності, становлять 0,03eВ і 0,12eВ для ZnSe і ZnS відповідно.

Відпал ізолюючих кристалів ZnSe та ZnS в насичених парах In приводить до утворення шарів з дірковою провідністю. Енергії активації акцепторних рівнів складають $E_{a1}=0,1eВ$, $E_{a2}=0,2eВ$ та $E_{a3}=0,6eВ$ для ZnSe і $E_{a1}=0,2eВ$ та $E_{a2}=0,6eВ$ для ZnS. Найбільш мілкі рівні E_{a1} мають однакову природу і являють собою асоціативний дефект - негативна двозарядна вакансія цинку та однократно позитивно заряджений донор ($V_{Zn}^{++}In_{Zn}$). Величина E_{a2} корелює з енергетичним рівнем однократно від'ємно зарядженої вакансії цинку V_{Zn} . Рівень з E_{a3} в селеніді цинку пов'язаний з неконтрольованими домішками акцепторного типу, скоріше всього Cu. Максимальна розрахункова концентрація дірок для селеніду цинку при рухливості $\mu_p=30+50\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ становить біля 10^{15}см^{-3} при 300К. Для сульфїду цинку вона на один-два порядки менша, що обумовлено більшою енергією іонізації найбільш мілкого акцепторного рівня.

Шари з дірковою провідністю отримувалися також при відпалі низькоомних підложок в фотоактивованих парах Se. Процес проводився в спеціально сконструйованій для цих цілей пічці, кварцеві стінки якої позорі для ультрафіолетового випромінювання. Мінімальний опір шару, створеного на n-ZnSe складає величину $\rho_p=10^3\text{ом}\cdot\text{см}$. Концентрація дірок при 300°C біля 10^{14}см^{-3} , що майже на порядок менше ніж для шарів ZnSe:In. Температурна залежність провідності шарів ZnSe:Se аналогічна залежності $\sigma(T)$ для ZnSe:In, причому з близькими значеннями енергій активації, хоча природа акцепторних рівнів, крім E_{a2} , дещо інша. Акцептор $E_{a3}=0,6eВ$ обумовлений двозарядною вакансією селену V_{Se}^{++} , а найбільш мілкий рівень $E_{a1}=0,1eВ$ - комплексом ($V_{Zn}^{++}V_{Se}$).

Іонно-леговані шари створювалися на кристалах ізолюючого сульфїду цинку шляхом імплантації іонів В* з енергією 50кеВ і сумарною дозою 50мкКл. Найменші значення поверхневого опору отримуються при температурах відпалу радіаційних дефектів в діапазоні 50-650°C. Концентрація вільних електронів складає при цьому

$10^{13} \pm 10^{14} \text{см}^{-3}$. Енергія активації донорної домішки $E_d \approx 0,1 \text{eV}$ корелює з глибиною залягання мілких донорних рівнів (в тому числі і бору) в ZnS .

Поверхнево-бар'єрні діоди отримувались шляхом термічного розпилення металів у вакуумі на травлені підложки сульфоселенідів цинку. Шари ІТО наліплювались методом магнетронного розпилення.

Третій розділ присвячений дослідженням випромінювальних властивостей сульфоселенідів цинку та діодних структур на їх основі. Для пояснення аномальної поведінки "типової" донорної домішки Індію в кристалах сульфоселенідів цинку проведений термодинамічний розрахунок концентрації рівноважних дефектів з використанням методу квазіхімічних реакцій. При цьому зроблені наступні допущення: переважне утворення дефектів по Френкелю в катіонній підгратці; дифузія атомів Іп проходить по вакансіях цинку; утворення нейтральних і заряджених асоціатів типу $(V_{\text{Zn}}\text{In}_{\text{Zn}})$; максимальна концентрація введеної домішки C_{max} рівна концентрації однозарядних вакансій цинку V_{Zn} .

Розрахунок показує, що при температурах відпалу $T_p \leq 1200\text{K}$ і $C \leq C_{\text{max}}$ шари ZnSe:In мусять мати діркову провідність. Теоретична залежність концентрації вільних дірок при 300K від T_p в цьому температурному діапазоні добре узгоджується з експериментальною. Їх різке розходження при $T_p \geq 1200\text{K}$ може бути обумовлене декількома причинами. По-перше, Іп може замінювати атоми Zn у вузлах, утворюючи пари In_{Zn} та Zn_i , які мають донорні властивості. При цьому зменшується ймовірність утворення асоціатів $(V_{\text{Zn}}\text{In}_{\text{Zn}})$ (внаслідок припинення генерації V_{Zn}), що приводить до компенсації діркової провідності. По-друге, при таких T_p не виключена можливість утворення дефектів у підгратці селену, які дають мілкі донорні рівні. І, нарешті, в літературі відсутні дані про розчинність Іп в ZnSe , що приводить до невизначеності у виборі C_{max} .

Як слідує з розрахунку, в досліджуваних зразках при 300K присутня значна кількість заряджених V_{Zn} і нейтральних Zn_i та $(V_{\text{Zn}}\text{In}_{\text{Zn}})$ дефектів. Підтвердженням утворення високої концентрації асоціативних центрів є різке збільшення інтенсивності смуги з $\lambda_{\text{max}} \approx 1,95 \text{eV}$ в результаті легування ZnSe Індієм.

Смуга фотолюмінесценції з максимумом при $2,07 \text{eV}$, ймовірніше всього, обумовлена рекомбінацією вільних дірок з захопленими нейтральними центрами Zn_i електронами. Оскільки концентрації центрів

($V_{Zn}In_{Zn}$) та Zn_i при $C_{max}=10^{-6}$ мольн. дол. майже однакові, то при інших рівних умовах інтенсивності смуг з $\lambda_{0,max}=1,95eB$ та $2,07eB$ повинні бути також близькі, що і спостерігається на досліді.

Згідно літературних даних, смуга з $\lambda_{0,max}=2,25eB$ обумовлена нейтральними вакансіями цинку. Оскільки $[V_{Zn}] < [V_{Zn}], [Zn_i]$, то її інтенсивність також повинна бути меншою, ніж інтенсивність смуг з максимумами $1,95$ та $2,07eB$. Це прекрасно корелює з даними вимірювань фотолюмінесценції.

Аналогічний розрахунок концентрації рівноважних дефектів в $ZnS:In$ провести поки що неможливо з ряду причин. По-перше, при вказаних умовах точно не відомий механізм дефектоутворення (Шоттки чи Френкеля). По-друге, відсутня інформація про енергетичне положення міжвузельних атомів та асоціативних дефектів різного типу. Однак, деякі оцінки все ж таки зробити можна. Оскільки добуток ϵR для кубічного ZnS близький до аналогічної величини в $ZnSe$, то ентальпії утворення асоціатив типу V_{AD} мають бути близькі, що означає приблизну рівність концентрацій асоціативних дефектів. Враховуючи максимальне експериментальне значення концентрації вільних дірок $p=10^{13}cm^{-3}$, одержимо $E_a=0,25eB$, що близько до $E_a=0,22eB$, знайденої з вимірювань електропровідності.

Як слідує з результатів попередніх досліджень, крайове випромінювання в кристалах $ZnSe$ при $300K$ значно подавлене. Шляхом відпалу низькоомних підложок селеніду та сульфїду цинку в активованих парах Se нами отримані шари $p-ZnSe$, в спектрах фотолюмінесценції при $300K$ яких присутня смуга з $\lambda_{0,max}=2,67eB$. Інтенсивність останньої максимальна при температурах відпалу $\sim 1000K$.

В цьому розділі описані також результати досліджень інжекційної електролюмінесценції контактів метал - сульфоселенід цинку, гетеропереходів $pZnSe-nZnS$ і $p-n$ -гомпереходів на основі $ZnSe$ та передпробійної електролюмінесценції вказаних структур на прикладі поверхнево-бар'єрних діодів $Ni-ZnSe$.

В четвертому розділі розглянуті основні фізичні процеси, які визначають спектральні та інтегральні характеристики фотодіодів на основі сульфоселенідів цинку. Проведений аналіз впливу ряду параметрів поверхнево-бар'єрних структур (природи випрямляючого контакту та його товщини, матеріалу і рівня легування підложки) на їх основні фотоелектричні властивості.

Встановлено, що збільшення товщини металевої плівки контак-

тів нікель-сульфоселенід цинку приводить до зменшення чутливості в короткохвильовому діапазоні спектру і зміщення максимуму в область більших довжин хвиль. Зменшення товщини приводить з одного боку до збільшення пропускання, а з другого - до зростання поверхневого опору. Крім того, при дуже малій товщині (≤ 10 нм) в плівці можливі розриви, в результаті чого різко зменшується чутливість у всьому спектральному діапазоні за рахунок зменшення ефективної площі фотодіоду. Альтернативним варіантом є використання плівок ІТО, які мають добру електропровідність і зберігають високу прозорість до товщин в кілька мікрметрів. Разом з тим, низька висота бар'єру структур ІТО-ZnSe (на відміну від ІТО-ZnS) обмежує їх використання в якості фотодіодів.

Параметри підложки (матеріал, рівень легування) впливають головним чином на довгохвильову ділянку спектральних характеристик. Зокрема, при зміні ZnSe на ZnS довгохвильовий край зміщується в область менших довжин хвиль, причому величина зсуву рівна різниці ширин заборонених зон цих напівпровідників. Зменшення концентрації основних носіїв в підложці приводить до збільшення величини ϕ_0 , як наслідок, до спаду чутливості в області енергій фотонів, менших ширини забороненої зони використовуваного напівпровідника. Встановлені зв'язки основних параметрів і характеристик поверхнево-бар'єрних структур з технологією їх виготовлення дозволяють керувати властивостями фотодетекторів. Результати досліджень показують, що інтегральні та спектральні характеристики таких структур адекватно описуються в рамках діодної теорії випрямлення контактів метал-напівпровідник.

Встановлено, що гетеропереходи pZnSe-nZnS та польові транзистори з бар'єром Шотткі на основі ZnS можуть працювати в режимі інжекційного підсилення фотоструму. Темнові та світлові характеристики таких структур визначаються струмами, обмеженими просторовим зарядом.

В п'ятому розділі обговорюються можливості практичного застосування виготовлених діодних структур. Вони можуть використовуватися насамперед в якості приймачів ультрафіолетового випромінювання, основні експлуатаційні параметри яких приведені в таблиці.

Таблиця

Структура	$\Delta\lambda$, мкм	λ_{\max} , мкм	$S_{\lambda_{\max}}$, А/Вт	D^* , Вг ⁻¹ ·см·Гц ^{1/2}
Ni-ZnSe	0,2-0,47	0,4	0,2	10^{13}
Ni-ZnS	0,2-0,34	0,33	0,15	10^{13}
pZnSe-nZnS польовий	0,3-0,5	0,33	10	10^{13}
транзистор	0,2-0,34	0,33	1	10^{12}
ITO-ZnS	0,2-0,34	0,33	0,14	10^{12}

Тут $\Delta\lambda$ -область спектральної чутливості, обмежена довжинами хвиль, на яких монохроматична струмова чутливість S_{λ} рівна 0,1 від її максимального значення $S_{\lambda_{\max}}$, λ_{\max} - довжина хвилі, яка відповідає максимуму S_{λ} , D^* - виявляюча здатність. Вказані структури можуть використовуватися: в якості детекторів бактерицидної, еритемної та загарної областей УФ діапазону спектру (Ni-ZnSe); для реєстрації високоінтенсивного, зокрема, лазерного, випромінювання (pZnSe-nZnS); для реєстрації слабких потоків ультрафіолетового випромінювання на фоні потужних засвіток видимої області спектру (ITO-ZnS).

Цікавим з практичної точки зору являється використання досліджуваних структур в якості зелено-блакитних світлодіодів. Головною відмінністю таких структур від існуючих аналогів є однорідність свічення по всій площі випрямляючого контакту як при прямому так і при оберненому з'єднанні. Це дає змогу різко підвищити часову стабільність експлуатаційних характеристик світлодіодів. Зовнішня ефективність передпробної електролюмінесценції поверхнево-бар'єрних структур на основі сульфоселенідів цинку у видимій області спектру не гірша 10⁻³%, чого цілком достатньо для їх використання в пристроях візуального відображення інформації. Крім того, їм притаманні надзвичайно широкий спектр випромінювання, високі швидкодія та температурна стабільність ($\pm 0,1\%$ /град.). Сукупність цих властивостей дозволяє використовувати передпробні-

ні світлодіоди в якості швидкодіючих джерел з суцільним спектром випромінювання в оптико-електронній апаратурі, метрології та інших областях науки і техніки.

У висновках сформульовані основні результати роботи:

1. Досліджено вплив деяких хімічних елементів (Zn, Se, In, B) та способів їх введення (термодифузія, іонна імплантація, відпал в фотоактивованих парах халькогену) на тип і величину провідності кристалів сульфоселенідів цинку. В кожному випадку знайдені умови отримання низькоомного матеріалу та визначені енергетичні положення електрично активних центрів. На основі низькоомних кристалів селеніду та сульфїду цинку виготовлені поверхнево-бар'єрні діоди і p-n-гомо- та гетеропереходи з відтворюваними та стабільними параметрами і характеристиками.

2. Вперше в кристалах сульфоселенідів цинку шляхом відпалу в парах індію отримана діркова провідність. В області кімнатних температур її величина контролюється акцепторними рівнями з $E_a \approx 0,2$ і $0,1$ eV для ZnS та ZnSe відповідно, які обумовлені комплексом (V_{Zn}^{2+}, In_{Zn}) . Встановлені природа центрів та механізми випромінювальної рекомбінації в отриманих кристалах. Методом квазіхімічних реакцій проведений аналітичний розрахунок концентрацій рівноважних дефектів в кристалах ZnSe:In при допущенні переважаючого утворення пар Френкеля в катіонній підґратці. Концентрації дефектів та їх енергетичне положення узгоджуються з результатами вимірів електропровідності та фотолюмінесценції.

3. Експериментально показано, що при 300K смуга фотолюмінесценції з максимумом біля 2,6eV домінує в низькоомних кристалах n-ZnS та шарах p-ZnSe, одержаних відпалом підложок в фотоактивованих парах селену. Дана смуга спостерігається також у спектрах інжекційної електролюмінесценції діодів, активними областями яких є вказані матеріали.

4. Досліджено вплив параметрів поверхнево-бар'єрних структур (типу підложки і концентрації основних носіїв в ній, природи і товщини випрямляючого контакту) на їх фотоелектричні властивості. Встановлено, що зменшення концентрації вільних електронів у базі діодів Ni-ZnSe приводить до збільшення висоти потенціального бар'єру і зменшення фоточутливості в низькоенергетичній області

спектру. В діапазоні енергій фотонів $\hbar\omega < E_g$ фотострум зумовлений емісією електронів з металу в зону провідності напівпровідника, а при $\hbar\omega > E_g$ - генерацією електронно-діркових пар в околі бар'єрної області кристалу. Експериментальні залежності струму короткого замикання та напруги холостого ходу узгоджуються з теоретичними, отриманими в рамках діодної теорії випрямлення. Встановлено, що темнові та світлові вольтамперні характеристики фотоприймачів з внутрішнім підсиленням (гетеропереходи pZnSe-nZnS і польові транзистори на основі ZnS) описуються теорією струмів, обмежених просторовим зарядом.

5. На основі досліджуваних діодних структур розроблені та створені лабораторні зразки: фотодетекторів з квантовою ефективністю 0,4+0,5 електрон/квант для спектрального діапазону 0,2+0,47 мкм; детекторів бактерицидної, еритемної та загарної областей УФ-діапазону; "сонячно-сліпих" фотоприймачів з коефіцієнтом перекрытия спектрів fotocутливості і сонячного випромінювання в умовах освітленості АМ 1,5 не більше 10^{-3} ; інжекційних світлодіодів з зовнішньою квантовою ефективністю 10^{-4} - 10^{-3} квант/електрон при 300К для блакитної смуги з максимумом біля 2,6 еВ.

Основні результати опубліковані в наступних роботах:

1. Махний В.П., Мельник В.В., Стахира П.И. Получение и свойства слоев сульфоселенидов с дырочной проводимостью. // Физико-химические основы электронного материаловедения. Тез. докл. Новосибирск. - 1988. - с. 105.
2. Махний В.П., Мельник В.В., Козак Е.Н. Диодные структуры на основе халькогенидов кадмия и цинка. // 7 Всесоюз. конф. по химии, физике и техническому применению халькогенидов. Тез. докл. Киев. - 1988. - с. 196.
3. Барчиук В.Е., Махний В.П., Мельник В.В. Фотоприемники на основе широкозонных соединений A^2B^6 . // Всесоюз. конф. "Оптико-электронные измерительные устройства и системы". Тез. докл. Томск. - 1989. - с. 38.
4. Махний В.П., Мельник В.В., Собищанский Б.М., Стахира П.И. Электролюминесцентные диоды на основе сульфоселенидов цинка. // Расширенное заседание секции электролюминесценции Научного совета по люминесценции АН СССР. Тез. докл. Вильнюс. - 1989. - с. 30.

5. Махний В.П., Мельник В.В. Оптоэлектронные свойства полевых транзисторов на сульфиде цинка. // I Всесоюз. конф. "Физические основы твердотельной электроники". Тез. докл. Ленинград. - 1989. - т.А. - с.281.
6. Махний В.П., Малик А.И., Мельник В.В. "Солнечно-слепой" фотодиод на основе гетероструктуры ITO-ZnS . // ЖТФ. - 1990. - т.60, вып.9. - с.146-147.
7. Баранюк В.Е., Махний В.П., Мельник В.В. Широкополосные электролюминесцентные излучатели на основе сульфоселенидов цинка. // ПТЭ. - 1991. - N2. - с.235.
8. Махний В.П., Баранюк В.Е., Мельник В.В. Предпробойная электролюминесценция поверхностно-барьерных диодов на основе сульфоселенидов цинка. // Всес. конф. по электролюминесценции. Тез. докл. Ангарск. - 1991. - с.44.
9. L.A.Kosyachenko, V.P.Makchniy, V.Ye.Baranyuk, V.V. Melnik. Optoelectronic properties of diode heterostructures based on ZnS and ZnSe . // Collected abstracts fifth international conference on II-VI compounds. - September 8-13, 1991. - Tamano, Okayama, Japan. - p.172.
10. Способ изготовления инжекционного светодиода. Махний В.П., Мельник В.В. А.с. N1764474 от 22.05.92.
11. Махний В.П., Мельник В.В., Собищанский Б.М. Оптоэлектронные свойства селенида цинка, легированного индием. // ФТП. - 1992. - т.26, вып.6. - с.1140-1141.
12. Козак Е.П., Махний В.П., Мельник В.В. Люминесценция монокристаллических слоев селенида цинка р-типа проводимости. // Фотоэлектроника. - 1992. - вып.5. - с.14-18.
13. L.A.Kosyachenko, V.P.Makchniy, V.Ye.Baranyuk, V.V. Melnik. Optoelectronic properties of diode heterostructures based on ZnS and ZnSe . // J. of Cryst. Growth. - 1992. - v.117. - p.583-586.
14. Махний В.П., Мельник В.В. Детектор ультрафиолетового излучения. // ПТЭ. - 1993. - N1. - с.245.
15. В.Е.Баранюк, М.М.Березовський, А.І.Воевідко, А.А.Косяченко, В.П.Махній, В.В.Мельник. Одержання та властивості фотодетекторів на основі широкозонних сполук A^2B^6 . - Зб. доп. міжн. конф. ІЕФ'93. - Ужгород. - 1993. - с.87-90.
16. Баранюк В.Е., Махний В.П., Мельник В.В., Рижиков В.Д. Детектори іонізуючого та ультрафіолетового випромінювання на основі

- широкозонних сполук A^2B^6 .//V міжнар. конф. "Матеріалознавство халькогенідних і алмазоподібних напівпровідників". Тез. доп. Чернівці.-1994.-т.І.-с.22.
- 17.Махній О.В., Мельник В.В., Собіщанський Б.М. Властивості кристалів сульфоселенідів цинку, легованих фосфором.//V міжнар. конф. "Матеріалознавство халькогенідних і алмазоподібних напівпровідників" Тез. доп. Чернівці.-1994.-т.ІІ.-с.156.
- 18.Махній В.П., Мельник В.В., Собіщанський Б.М. Природа акцепторних центрів в кристалах сульфоселенідів цинку, легованих Індієм.//VIII наук.-техн. конф. "Хімія, фізика і технологія халькогенідів і халькогалогенідів". Тез. доп. Ужгород.-1994.-с.148.

Мельник В.В. Оптоэлектронные свойства диодных структур на основе сульфоселенидов цинка. (Рукопись)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 - физика полупроводников и диэлектриков, Черновицкий государственный университет им. Ю.Федьковича, Черновцы, 1995.

Защищаются результаты исследований физических свойств кристаллов сульфоселенидов цинка и диодных структур на их основе и технологических методов управления их параметрами - типом и величиной проводимости, высотой потенциального барьера, спектральными диапазонами фоточувствительности и излучения, временной стабильностью. Экспериментально установлены и теоретически обоснованы условия получения дырочной проводимости при отжиге нелегированных кристаллов сульфоселенидов цинка в парах In. Показано, что отжиг низкоомных подложек n-ZnS и n-ZnSe в активированных парах Se приводит к образованию слоев p-ZnSe и увеличению интенсивности полос 2,35 и 2,67эВ при 300К. Установлены механизмы генерации фотоносителей в диодных структурах различного типа на основе низкоомных кристаллов ZnS и ZnSe. Приводятся рекомендации по использованию исследуемых структур в качестве фотодетекторов и электролюминесцентных излучателей.

Ключові слова: сульфоселенід цинку, точкові дефекти, поверхнево-бар'єрні структури, гетероперехід, фоточутливість, люмінесценція.

Melnyk V.V. Optoelectronic properties of the diodes structures on the base zinc sulfoselenides.

Thesis for a Ph. D. degree at field 01.04.10 - physics of semiconductors and dielectrics, Yu. Fed'kovych Chernivtsi State University, Chernivtsi, 1995.

The results of the investigations of physical properties of zinc sulfo-selenides and diode structures on their base and manufacturing methods of direction their parameters - by type and conductivity size, high potential barrier, the spectrum ranges of photosensitivity and radiation, time stability are defended. It is experimentally found and theoretically ground that the conditions of obtainance of p-type conductivity at the annealing

undoped zinc sulfo-selenide crystals in In vapours. The annealing low-Ohmic n-ZnS and n-ZnSe substrates in activatinally Se vapours induce to formation p-ZnSe layers and increase an intensity of the stryep 2,35 and 2,67 eV at 300 K are demonstrated. It is determined that generation mechanisms of photocarriers in various diode structures on the base low-Ohmic ZnS and ZnSe crystals. The recommendations about the using this structures as photodetectors and electroluminescence radiators are induced.

В. Стефанік

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Подписано к печати 22.05.95. Формат 1/16. Физ. печ. л. 1,0
Усл. печ. л. 0,92. Уч. изд. л. 1,4. Тир. 100

ОУС 274018, Черновлы, Лешня, 249-а

AB 32.561

AB 32.561