

АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ

На правах рукопису

УДК 621.315.592

ДРОЗДОВА ІЛГА АНАТОЛІВНА

ЕЛЕКТРИЧНІ І ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ ЕФЕКТИ В КРИСТАЛАХ CdS ,
ПОВ'ЯЗАНІ З НАЯВНІСТЮ РУХОМИХ І МЕТАСТАБІЛЬНИХ ЦЕНТРІВ

01.04.10 – фізика напівпровідників
та діелектриків

АВТОРЕФЕРАТ

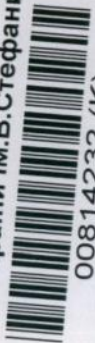
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Київ - 1983

AB 27.06

Роботу виконано в Інституті фізики напівпровідників Академії наук України

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00814232 (K)

керівник: доктор фізико-математичних наук
Корсунська Н.О.

опоненти: доктор фізико-математичних наук
Шепельський Г.А.

кандидат фізико-математичних наук
Верцимаха Я.І.

провідна організація: Київський державний університет
ім. Т.Г.Шевченка

Зехист відбудеться "16" 04 1983р. о 14¹⁵ год. на засіданні
Спеціалізованої наукової ради К 016.25.01 при Інституті фізики
напівпровідників АН України за адресою:
252650, Київ-28, проспект Науки, 45.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ІФН АН України.

Відгуки на автореферат у двох примірниках, засвідчені
печаткою, прохання надсилати за вказаною адресою на ім'я вченого
секретаря Спеціалізованої ради.

Автореферат розіслано "15" 03 1983р.

Вчення секретар Спеціалізованої ради
доктор фізико-математичних наук

Беляев О.Є.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В теперішній час метастабільні та рухомі дефекти є об'єктами інтенсивного вивчення з усього світу. Такий інтерес дослідників обумовлений, в першу чергу, тим, що присутність цих дефектів може приводити до зміни практично важливих характеристик напівпровідникових матеріалів (провідності, фоточутливості, люмінесцентних та оптичних властивостей) під дією різних зовнішніх факторів. Ці зміни можуть грати як негативну роль, приводячи до деградації приладів, так і позитивну, тому що можуть бути використані для виготовлення матеріалів із заданими властивостями, а також, наприклад, для запису інформації.

З другого боку, великий інтерес викликають природа і механізм вказаних явищ. Встановлено, що, як правило, причинами змін властивостей матеріалів є викликані дією яких-небудь зовнішніх факторів зміна положення дефекта в ґратці, утворення чи розпад комплексів, відхід дефектів від стоків чи повернення до них, а також перерозподіл дефектів по об'єму кристала під дією електричних або механічних полів. Протікання цих процесів зумовлено двома факторами: зміною взаємодії між дефектами, або дефектами та атомами ґратки, а також наявністю рухомих дефектів, які є складовою частиною комплексів або основою метастабільних центрів. В літературі описані процеси перебудови та перерозподілу дефектів в різних напівпровідниках (Si , A_2B_6 , A_3B_5) під дією світла, жорсткого випромінювання, зовнішнього електричного поля, акустичних хвиль. Нещодавно в кристалах cds було відкрито ще одне незвичайне явище, коли перебудова центрів стимулюється охолодженням [1]. Було показано, що на поверхні грані (0001) кристалів cds існують метастабільні центри, які в процесі охолодження перетворюються в водневоподібні донори, що приводить до різкого зростання провідності грані при пониженні температури від 300 до 77К (аномальної температурної залежності провідності - АТЗП).

Разом з тим, ряд питань стосовно природи та механізму таких процесів а також можливих наслідків присутності рухомих дефектів залишився не з'ясованим. До них належать:

1.З'ясування умов та механізму формування метастабільних центрів, перебудова яких приводить до появи водневоподібних донорів на базисній грані кристалів CdS при охолодженні.

2.З'ясування впливу на процеси перебудови та перерозподілу дефектів факторів, що діють на кристал під час підготовки та проведення експерименту, а також в процесі виготовлення приладів, зокрема, нанесення електродів.

3.Недостатньо з'ясоване і питання про роль дислокацій в процесах перебудови та дрейфу дефектів, а також в фотопровідності та провідності кристалів. В той же час їх роль може бути вельми різноманітною, наприклад: 1)дислокація може бути причиною метастабільності розташованого поруч дефекту внаслідок порушення регулярності його ґраткового оточення; 2)оскільки дислокація може бути ефективним стоком для дефектів, зміна під дією зовнішніх факторів сил взаємодії між дефектами і дислокаціями може привести до відходу від них дефектів, або, навпаки, до посилення гетерування; 3)поблизу дислокацій внаслідок їх гетеруючої дії збільшується імовірність утворення кластерів дефектів і, отже, імовірність протікання процесів їх розпаду чи утворення; 4)вздовж дислокації може мати місце прискорена дифузія дефектів.

З'ясування вказаних вище питань і є метою даної роботи.

В якості об'єкту дослідження були вибрані кристали CdS , оскільки вони, з одного боку, є основою для цілого ряду приладів, а з другого, - в них існують і добре вивчені рухомі дефекти і цілий ряд процесів їх перебудови, що полегшує розв'язання поставлених завдань.

В роботі були проведені дослідження електричних, фотоелектричних та люмінесцентних властивостей кристалів CdS з різною густиною дислокацій, а також вплив на ці властивості різних зовнішніх факторів: атмосфери, відпалів, травлення, електричного поля, ультразвукових (УЗ) хвиль. Оскільки можна чекати, що ультразвукові хвилі будуть впливати переважно на дислокації, то вивчення їх впливу на кристали з різною густиною дислокацій може сприяти з'ясуванню не тільки питання про внесок дислокацій або придислокаційних областей в електричні та фотоелектричні характеристики кристалів, але й питання про механізм впливу

ультразвука на систему точкових дефектів.

Наукова новизна. При виконанні даної роботи одержано ряд нових результатів. Основні з них такі:

- Встановлено, що відкрито раніше явище аномальної температурної залежності провідності (АТЗП) грані (0001) кристалів CdS відсутнє на свіжосколеній поверхні і виникає внаслідок утворення метастабільних центрів на поверхні грані з часом після скоду. Енергія активації цього процесу становить 0.6- 0.7 еВ.

- Показано, що ці метастабільні центри являють собою скупчення атомів кадмію, що утворюються внаслідок виходу останніх на поверхню з об'єму кристала.

- В кристалах CdS , що містять значну концентрацію рухомих донорів, відкрито ефект формування під дією електричного поля провідних каналів, що обумовлює виникнення анізотропії провідності.

- Показано, що провідні канали являють собою декоровані донорами дислокації, чи їх скупчення. З'ясовано механізм формування каналів.

- Показано, що в кристалах CdS під дією короткого імпульса ультразвуку має місце процес перерозподілу точкових дефектів поблизу дислокація, набагато швидкіший, ніж процеси, обумовлені дифузією рухомих дефектів.

- Встановлено, що наявні в кристалах рухомі донори відіграють суттєву роль в формуванні контакту, обумовлюючи погіршення характеристик омичних і зменшення опору неомичних контактів з часом.

Практична цінність результатів роботи полягає в тому, що

- Проведені дослідження впливу дислокація на провідність та фотопровідність кристалів CdS можуть бути використані при розробці приладів.

- Дослідження впливу рухомих дефектів на процес формування електричних контактів має безпосереднє відношення до питань стабільності та надійності напівпровідникових приладів.

- Одержані в роботі результати по впливу ультразвуку на характеристики кристалів можуть бути використані для діагностики надійності та якості приладів.

1. Явище аномальної температурної залежності провідності грані (0001) кристалів CdS відсутнє на свіжосколеній поверхні і виникає внаслідок утворення метастабільних центрів, що являють собою скупчення атомів кадмію, на поверхні грані з часом після розколювання кристала.

2. Виникнення анізотропії провідності під дією електричного поля в кристалах CdS , що містять рухомі донори, пов'язане з наявністю в них декорованих донорами дислокацій, що утворюють "сітку" провідних ліній, розділених високоомними проміжками.

3. Формування каналів обумовлене дрейфом донорів в електричному полі в високоомних проміжках, що приводить до зменшення їх опору в результаті ієжекції електронів та дірок, а також збільшення провідності придислокаційних областей.

4. Зменшення провідності кристалів CdS під дією короткого імпульса ультразвуку пов'язане зі зменшенням концентрації донорів в придислокаційних областях, при чому цей процес є значно більш швидким, ніж процес дифузії рухомих донорів.

5. Зміни з часом характеристик контактів до кристалів CdS , що містять рухомі дефекти, пов'язані з дрейфом останніх в полі приконтактного вигину зон.

Апробація роботи. Найбільш важливі результати доповідалися на XVI Міжнародній конференції по дефектам в напівпровідниках (США, 1991), III Всесоюзній конференції "Матеріалознавство халькогенідних напівпровідників" (Чернівці, 1991), II науковій конференції "Фотоелектричні явища в напівпровідниках" (Ашхабад, 1991), наукових семінарах ІФН АН України.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи відображені в 4 опублікованих роботах, список яких наводиться в кінці автореферату.

Структура дисертації. Дисертація складається з вступу, п'яти

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Перший розділ містить огляд експериментальних результатів та існуючих теоретичних уявлень про електронно-стимульовані іонні процеси в напівпровідниках. Розглянуті як локальні процеси структурного перетворення центрів, що мають місце в межах одної чи декількох постійних ґратки (так звана метастабільність дефектів), так і процеси, пов'язані з довгопробіжною міграцією дефектів (розпад та утворення асоціатів, довгопробіжна дифузія і таке інше), а також процеси перерозподілу дефектів під дією механічних напруг та електричних полів.

Другий розділ присвячений з'ясуванню природи метастабільних центрів, що відповідають за аномальну температурну залежність провідності ґрані (0001) кристалів CdS та механізму їх утворення та перебудови. З цією метою були проведені дослідження залежності електричних, фотоелектричних та люмінесцентних властивостей ґрані (0001) високоомних ($\rho = 10^8 - 10^{13} \text{ Ом} \cdot \text{см}$) кристалів CdS від часу, що пройшов після розколювання кристалу, а також під дією різних зовнішніх факторів.

Результати досліджень показали, що на свіжосколеній поверхні метастабільні центри (МЦ) відсутні: якщо одразу після розколювання зразок занурити в рідкий азот, темнова провідність σ_T ґрані (0001), як і інших ґраней кристалу, виявляється невимірно малою, тобто АТЗП відсутня. Витримування зразка після розколювання при 300К на повітрі впродовж часу $\Delta t = 20 - 30 \text{ с}$ приводить до появи помітної темної провідності на ґрані (0001). З ростом Δt σ_T ^{77К} зростає і при $\Delta t = 20 - 30$ годинам досягає насичення (σ_T^{max}). З такою ж швидкістю відбувається зростання $\sigma_T(\Delta t)$ і в тому випадку, коли зразок розколюється і витримується в атмосфері інертного газу (гелію). Підвищення температури приводить до прискорення процесу. Енергія його активації становить 0.6-0.7 еВ.

Зростання σ_T на ґрані (0001) супроводжується збільшенням інтенсивності ліній випромінювання екситонів, зв'язаних на неатомарних водневоподібних донорах (лінія I_2) по відношенню до

інтенсивності лінії випромінювання екситонів, зв'язаних на нейтральних мілких акцепторах (лінія I_T), що свідчить про збільшення концентрації незкомпенсованих донорів в приповерхневому шарі грані (0001) з часом після розколювання кристалу.

Надлінійність вольт-амперних характеристик темного току, вимірною на грані (0001) при 77K, яка спостерігається при малих Δt і перехід її до лінійності по мірі того, як σ_T наближається до σ_T^{\max} , дає змогу припустити, що водневоподібні донори, що утворюються при охолодженні, спочатку розподілені неоднорідно по поверхні грані у вигляді окремих острівців, між якими існують високоомні проміжки. Зі збільшенням Δt кількість таких острівців зростає, і, нарешті, вони зливаються в суцільний провідний шар.

Оскільки при $\sigma_T = \sigma_T^{\max}$ концентрація мілких донорів в приповерхневому шарі грані (0001) приблизно однакова для всіх досліджених кристалів ("чистих", легованих різними домішками, об'ємних і пластинчатих), не залежить від оточуючої кристал атмосфери і досягає значної величини 10^{18} см^{-3} , можна думати, що ці донори не пов'язані з залишковими домішками або адсорбованими поверхнею частками, а являють собою власні дефекти ґратки. Такими дефектами в CdS можуть бути V_S або Cd_i . Останнє є більш імовірним, тому що кристали CdS , як низькоомні, так і високоомні, завжди містять значну кількість атомів Cd_i , які, на відміну від V_S , мають високу рухливість в ґратці CdS і приймають участь в цілому ряді фотостимульованих реакцій дефектів в цих кристалах [2]. З іншого боку, відомо, що на сколеній поверхні CdS звичайно спостерігаються преципітати кадмію, які можуть змінювати свою величину і конфігурацію під дією різних зовнішніх факторів [3].

Для перевірки наявності зв'язку метастабільних центрів з атомами Cd була проведена обробка кристалу селективним травником, що видаляє кадмій з поверхні CdS . Виявилось, що така обробка приводить до зникнення ефекту АТЗП на грані (0001). З часом ефект відновлюється, однак величина σ_T^{\max} виявляється меншою, ніж до травлення. Повторні обробки приводять до подальшого зменшення σ_T^{\max} . Треба відзначити, що часи утворення МЦ після розколювання кристалу відповідають часу формування збагаченого кадмієм приповерхневого шару в результаті дрейфу атомів Cd_i з об'єму до

поверхні в полі приповерхневого вигину зон [4].

Таким чином, проведені дослідження приводять до висновку, що МЦ мають такі властивості:

1) відсутні на свіжосколеній поверхні і утворюються поступово з кінетикою, що відповідає кінетиці дрейфу атомів кадмію з об'єму до поверхні кристалу в полі приповерхневого вигину зон;

2) зникають після витравлювання преципітатів кадмію з поверхні кристала;

3) поновлюються з часом після травлення, при цьому їх концентрація зменшується з кожним наступним витравлюванням;

4) перетворюються у водневоподібні донори при охолодженні, при цьому області, в яких спочатку з'являються ці донори, являють собою окремі острівці, які зі збільшенням концентрації МЦ зливаються в суцільний провідний шар.

Наведені результати дозволяють зробити висновок, що МЦ являють собою кластери атомів Cd , які утворюються на поверхні внаслідок дифузії кадмію з об'єму кристала. В процесі охолодження, напевне, відбувається їх дисоціація, що приводить до збільшення концентрації атомів Cd_i в області, що оточує кластер, тобто до утворення острівця з підвищеною провідністю.

В третьому розділі представлені результати дослідження впливу зовнішнього електричного поля на характеристики кристалів CdS з різною густиною дислокацій. Кристали CdS з малою густиною дислокацій ($10^2 - 10^3 \text{ см}^{-2}$) були вирощені по технології, розробленій в ІФН АН України.

Було відкрито, що при прикладанні постійного електричного поля $E \sim 10^3 \text{ В/см}$ (тягнучого) при кімнатній чи більш високій температурах в ряді кристалів спостерігається збільшення з часом фотоструму і темного струму, яке потім досягає насичення. При цьому провідність кристалу поперек напрямку тягнучого поля, виміряна при короткочасному прикладанні такого ж по величині поля, змінюється слабо. Таким чином, провідність кристала вздовж напрямку тягнучого поля виявляється суттєво вищою, ніж поперек, тобто виникає анізотропія провідності, яка, однак, часто не спостерігається, якщо виміри проводяться при $E < 10^3 \text{ В/см}$. Цей ефект наведення електричним полем анізотропії провідності спостерігається

незалежно від первісної орієнтації кристалу і визначається тільки напрямком прикладання електричного поля. Нагрівання до 400К або тривале витримання кристала при кімнатній температурі приводить до зникнення наведеної анізотропії провідності.

Для виявлення механізму її формування і природи провідних каналів були проведені дослідження амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) темнкової та фотопровідності таких кристалів, вольт-амперних характеристик (ВАХ) фотоструму і співставлення цих характеристик для кристалів, що відрізняються густиною дислокацій, а також типом та концентрацією рухомих донорів (Ca_i та Li_i).

Виявилось, що кристали, в яких формуються провідні канали, характеризуються такими особливостями: 1) в них є низькоомні провідні ділянки, розділені високоомними проміжками, про що свідчить надлінійність ВАХ з нахилом $1 < \alpha < 2$ при $E < 10^2$ В/см і вигляд АЧХ (провідність спочатку зростає зі збільшенням частоти прикладеної напруги, а потім виходить на полку; тобто кристал можна уявити як сукупність послідовно включених ємностей, що відповідають високоомним проміжкам, та омичних опорів, що відповідають низькоомним ділянкам); 2) спостерігається залишкова провідність на високочастотній ділянці АЧХ; 3) присутня значна концентрація рухомих донорів, які спостерігались як за допомогою спектрів люмінесценції зв'язаних екситонів, так і по наявності їх дрейфу в електричному полі; 4) температурні інтервали формування та розсмоктування анізотропії провідності відповідають температурним інтервалам дрейфу рухомих донорів; 5) формування провідних каналів приводить до збільшення провідності на високочастотній ділянці АЧХ і зростання величини послідовно включених ємностей, про що свідчить зміна нахилу АЧХ.

Наявність залишкової провідності свідчить про те, що провідні ділянки являють собою ділянки достатньо тонких провідних ниток чи площин.

Як випливає з пунктів 3 та 4, формування провідних каналів пов'язане з дрейфом рухомих донорів в електричному полі, що приводить до двох процесів: збільшення провідності низькоомних ділянок та збільшення ємності високоомних проміжків, що відповідає зменшенню їх ефективної товщини. Поява крутих ділянок ВАХ фото-

струму ($\alpha \sim 3$) після проведення дрейфу та формування каналів, а також збільшення ємності високоомних проміжків свідчать про те, що причиною появи каналу є виникнення подвійної інжекції носіїв струму до високоомних ділянок, що обумовлюється модуляцією їх провідності та товщини внаслідок дрейфу та перерозподілу в них рухомих донорів. При цьому високоомний проміжок стає неоднорідним: в ньому виникає вузька область із значно зниженою провідністю, на якій відбувається основне падіння напруги, в той час як провідність іншої частини підвищується. Це створює умови для виникнення подвійної інжекції. Під час виникнення подвійної інжекції опір високоомних проміжків зменшується, що і дає можливість спостерігати канали. З цими уявленнями узгоджується і той факт, що канали часто не спостерігаються при $E < I_{0B}/cm$. Це відповідає випадку, коли ВАХ при $E < I_{0B}/cm$ має нахил $\alpha < 2$ і подвійна інжекція не має місця. Як свідчать наведені нижче результати впливу ультразвуку на провідність каналів, збільшення провідності низькоомних ділянок канала може бути пов'язане зі збільшенням в них концентрації водневоподібних донорів.

Як показали досліди, канали не спостерігаються в високоомних, одержаних відпалом в сірці або вирощених при підвищеному тиску сірки кристалах, в яких, як показують досліди по дрейфу, концентрація рухомих донорів незначна. З іншого боку, в кристалах із значною концентрацією Li_i або Cd_i , але малою густиною дислокацій ($\rho \sim 10^2 cm^{-2}$) канали також не утворюються. Крім того, виявилось, що із зростанням густини дислокацій в кристалах з приблизно однаковою концентрацією рухомих дефектів величина провідності низькоомних ділянок зростає. Ці факти, а також мала товщина каналів дають змогу припустити, що вони пов'язані з декорованими донорами дислокаціями, або їх скупченнями. Для перевірки цього припущення ми зменшували (шляхом низькотемпературних відпалів) концентрацію рухомих донорів в кристалах з каналами, або підвищували густину дислокацій в малодислокаційних кристалах із значною концентрацією рухомих донорів, в яких канали не спостерігались. Виявилось, що в першому випадку канали переставали спостерігатись, а в другому - з'являлись при прикладанні електричного поля.

Таким чином, виникнення провідних каналів і поява наведеної електричним полем анізотропії провідності пов'язані з провідністю придислокаційних областей і являють собою ще один наслідок наявності в кристалі рухомих дефектів, що не спостерігався раніше.

Як випливає з наведених вище результатів, дислокації при наявності рухомих донорів можуть давати суттєвий внесок в провідність і фотопровідність кристалів CdS .

Виявлена наявність кореляції між змінами провідності грані кристала, що була катодом або анодом, після проведення дрейфу і змінами спектрів домішкової люмінесценції та випромінювання зв'язаних екситонів з цієї грані. Це свідчить про те, що дрейф дефектів з малими енергіями активації (0.3-0.4 eV), відповідає їх руху в "об'ємі" кристалу, а не вздовж дислокації, тому що за проведеними оцінками площа перерізів придислокаційних провідних областей складає незначну частину ($\sim 10^{-3}$ - 10^{-5}) площі грані, з якої рєструється люмінесценція.

В четвертому розділі наведені результати дослідження впливу короткого (10^{-5} с) пугу ультразвукових імпульсів на фотоелектричні та люмінесцентні характеристики кристалів CdS . Імпульс ультразвуку утворювався імпульсом світла рубінового лазера при ударі через мідну фольгу, наклеєну на поверхню зразка. Виявилось, що в результаті дії таких імпульсів зменшується величина фотоструму, низькотемпературного ($\sim 80\text{K}$) піку термостимульованої провідності, пов'язаного з водневоподібними донорами, співвідношення інтенсивностей випромінювання екситонів, зв'язаних на нейтральних донорах та акцепторах.

Величина ефекту залежить від концентрації рухомих донорів N_d : зменшення N_d в результаті термічних обробок (напівне, внаслідок збирання на "стоки") приводить до зменшення відношення фотострумів до і після ультразвукової обробки.

Прогрівання до 400K або тривале витримування при 300K приводить до відновлення вихідного стану кристала. При цьому час відновлення виявився близьким до часу процесів, пов'язаних з дифузєю рухомих донорів в полі приповерхневого вигину зон.

Наведені результати свідчать про те, що причиною зменшення величини фотоструму при ультразвуковій обробці є зменшення

концентрації водневоподібних донорів.

Величина зменшення фотоструму під дією ультразвуку залежить не тільки від N_d , але й від густини дислокацій в кристалі: при густині дислокацій $\sim 10^2 \text{ см}^{-2}$ ефект не спостерігається.

Суттєвим є також те, що в кристалах, в яких під дією електричного поля виникає анізотропія провідності і збільшується провідність придислокаційних областей, дія ультразвуку приводить до стирання цієї підвищеної провідності. Обидва ці факти свідчать про те, що ультразвук викликає зміни в ансамблі точкових дефектів через вплив на дислокації.

Оскільки, як випливає з результатів впливу ультразвуку на провідність каналів, зменшення концентрації донорів відбувається поблизу дислокацій, можна думати, що в цьому випадку не відбувається їх стікання в придислокаційну область, як це спостерігалось в [5]. Можливо, що в дослідженому випадку під дією ультразвуку має місце утворення асоціатів донорів або їх стікання на інші стоки.

Треба відзначити, що цей процес як при 300К, так і при 77К відбувається за час, не більший за 20с (час, що пройшов від моменту опромінювання до моменту вимірювання), тобто, напевне, має безактиваційний характер і не залежить від температури УЗ обробки.

В п'ятому розділі розглянуто вплив наявності в кристалі рухомих дефектів на характеристики контактів. Для цього на зразки, що містять і не містять рухомі донори (що контролювалося за допомогою методу дрейфу) достатньо швидко (за 30с) наносились як антизапірні (In-Ga паста), так і запірні (Cu) електроди і досліджувались зміни вольт-амперних характеристик і величини фотоструму з часом. Другий контакт завжди був зроблений з наплавленого In. Виявилось, що в кристалах, що не містять рухомих дефектів, у випадку, коли один електрод зроблено з In-Ga паста, а інший - з In, ВАХ є лінійними, симетричними і не змінюються з часом. У випадку запірного контакту (один електрод з In, другий - з Cu) ВАХ має характерний для запірного контакту вигляд і також не змінюється з часом.

В кристалах, що містять рухомі дефекти, як ВАХ, так і величина фотоструму змінюються з часом після нанесення контакту. У

випадку електродів з In та $In-Ga$ пасти величини фотострумів в "прямому" та "оберненому" напрямку не однакові за величиною і зменшуються з часом в обох напрямках не однаково, так що з часом величини струмів в "прямому" та "оберненому" напрямку зрівнюються (напруга $U=2В$ подавалася тільки в момент вимірювання, щоб запобігти дрейфу дефектів в зовнішньому полі). Порівняння часів цих процесів в кристалах, що містять різні рухомі дефекти (Li_i , в легованих, та Cd_i - в нелегованих кристалах) виявляє кореляцію з рухливістю дефектів: у випадку кристалів, легованих Li , процес протікає за кілька хвилин, а в нелегованих - за кілька годин, що відповідає більшій рухливості Li_i [6]. У випадку запірного контакту струм через кристал, що містить рухомі дефекти, з часом зростає, тобто опір запірного контакту зменшується. Відповідно зменшується з часом і величина фото-в.р.с., що обумовлена бар'єром на цьому контакті. Зміни характеристик контактів з часом можна пояснити дрейфом рухомих дефектів в полі приконтактного вигину зон. Таким чином, присутність в кристалі рухомих дефектів утруднює одержання омичного контакту.

Наслідком виникнення бар'єрів з часом після нанесення антизапірних контактів в кристалах з рухомими дефектами є також відкрита нами залежність величини та спектру фотоструму від способу їх освітлення: з того боку, на який нанесені контакти, чи з протилежного. В останньому випадку величина фотоструму виявляється помітно більшою, що обумовлено зникненням приконтактних бар'єрів під дією світла, коли освітлюється приелектродна область.

В загальних висновках сформульовані результати, що одержані в дисертаційній роботі:

1. Встановлено, що відкриті раніше метастабільні центри, які відповідають за ГЗП грані (0001) кристалів CdS , відсутні на свіжосколеній поверхні і утворюється з часом після розколювання кристала.

2. Показано, що ці метастабільні центри являють собою скупчення атомів кадмію, що утворюються внаслідок виходу останніх на поверхню з об'єму кристала.

3. Встановлено, що перебудова метастабільних центрів на грані

(OOOI) кристалів CdS при охолодженні відбувається під дією пірполя.

4. Показано, що виникнення анізотропії провідності в кристалах CdS під дією електричного поля пов'язане з присутністю в них декорованих донорами дислокація, що утворюють "сітку" провідних ліній, які розділені високоомними проміжками.

5. Встановлено, що формування провідних каналів обумовлене зменшенням опору високоомних проміжків, що розділяють провідні ділянки, в результаті інжекції електронів та дірок.

6. Показано, що дрейф міжвузлових дефектів з малими енергіями активації (0.3-0.4 eV), що спостерігався раніше, відповідає їх дрейфу через об'єм кристала, а не вздовж дислокація.

7. Показано, що в результаті дії імпульсів ультразвуку має місце швидке ($\tau < 20\text{с}$) зменшення концентрації водневоподібних донорів в придислокаційних областях кристала.

8. Встановлено, що рухомі дефекти, які присутні в кристалі, відіграють суттєву роль в формуванні контакта внаслідок їх дрейфу в полі приконтактного вигину зон. В результаті цього опір омичного контакту збільшується, а запірного - зменшується.

9. Встановлено, що при освітленні кристала CdS , що містить рухомі дефекти, світлом з області прозорості величина фотоструму залежить від того, з якого боку освітлюється кристал: з боку електродів, чи з протилежного, що обумовлено модуляцією висоти приконтактних бар'єрів при освітленні.

ПЕРЕЛІК РОБІТ, ЩО ВВИШИЛИ ДО ДИСЕРТАЦІЇ

1. N.E.Korsunskaya, I.V.Markevich, E.P.Shulga, I.A.Drozdova and M.K.Sheinkman. Generation of metastable shallow donors under cooling in hexagonal semiconductors. Mat. Sci. Forum, v.83-87, part 3, p.1265-1270.

2. И.А. Дроздова, Н.Е. Корсунская, И.В. Маркевич, Е.П. Шульга, М.К. Шейнкман. Образование структуры, ответственной за аномальную температурную зависимость проводимости грани (OOOI) кристаллов CdS . ФТП, 1991, т.25, в.9, с.1629-1633.

З.И.А.Дроздова, Н.Е.Корсунская, И.В.Маркэвич, Е.П.Шульга. Свойства сколотых поверхностей базисных граней кристаллов CdS . Материалы III Всесоюзной конференции "Материаловедение халькогенидных полупроводников". Черновцы, 1991, часть 2, с.23.

4.И.А.Дроздова, Н.Е.Корсунская, И.В.Маркэвич, Е.П.Шульга. Фотостимулированное усиление и гашение "аномальной" проводимости кристаллов CdS . Материалы 2-я научной конференции "Фотоэлектрические явления в полупроводниках", Ашхабад, 1991, с.58.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1.N.E.Korsunskaya, I.V.Markevich, E.P.Shulga and M.K.Sheinkman. Generation of metastable shallow donors induced by cooling in hexagonal II-VI semiconductors. *Semicond. Sci. Tech.*, 1992, v.7, p.92-96.

2.Физика соединения A_2B_3 . Под ред. Георгобиани А.Н., Шейнкмана М.К. М.: Наука, 1986, 320 с.

3.В.С.Бабинчук, В.В.Сердик. Электронномикроскопическое исследование монокристаллов CdS , подвергнутых термической обработке. ФТТ, 1988 т.10, в.26, с.645-647.

4.А.П.Ахоян, Н.Е.Корсунская, И.В.Маркэвич. Эффект аккумуляции дефектов на поверхности полупроводника вследствие их дрейфа в поле приповерхностного изгиба зон. Письма в ЖТФ, 1985, т.11, в.1, с.41-46.

Б.А.П.Здэбский, Н.В.Миронюк, С.С.Остапенко, А.У.Савчук, М.К.Шейнкман. Механизм стимулированного ультразвуком изменения фотоэлектрических и люминесцентных свойств сульфида кадмия. ФТП, 1988, т.20, в.10, с.1861-1867.

6.Н.Е.Корсунская, И.В.Маркэвич, И.Ю.Шабалин, М.К.Шейнкман. Дрейф междоузельных атомов в электрическом поле в чистых и легированных CdS кристаллах. ФТП, 1981, т.15, в.2, с.279-282.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Підписано до друку 04.03.93. Формат 60x84 I/16. Папір офс.
Офсетний друк. Ум.друк. арк. 0,93. Тираж 100 прим. Зам. 598в.

Інститут напівпровідників АН України, 252650, Київ 28,
пр. Науки, 45.

ВПП корпорації УкрНТІ, 252171, Київ 171, вул. Горького, 180.

1.1.1. Давидов, С.И. Косович, С.П. Косович, С.И. Косович. Очерки истории культуры и искусства народов Севера. М.: Советский Союз, 1987, 120 с.

1.1.2. Давидов, С.И. Косович, С.П. Косович, С.И. Косович. Искусство народов Севера. М.: Советский Союз, 1987, 120 с.

ИСТОРИЯ ИСКУССТВА

1.1.3. Давидов, С.И. Косович, С.П. Косович, С.И. Косович. Искусство народов Севера. М.: Советский Союз, 1987, 120 с.

1.1.4. Давидов, С.И. Косович, С.П. Косович, С.И. Косович. Искусство народов Севера. М.: Советский Союз, 1987, 120 с.

1.1.5. Давидов, С.И. Косович, С.П. Косович, С.И. Косович. Искусство народов Севера. М.: Советский Союз, 1987, 120 с.

1.1.6. Давидов, С.И. Косович, С.П. Косович, С.И. Косович. Искусство народов Севера. М.: Советский Союз, 1987, 120 с.

1.1.7. Давидов, С.И. Косович, С.П. Косович, С.И. Косович. Искусство народов Севера. М.: Советский Союз, 1987, 120 с.

1.1.8. Давидов, С.И. Косович, С.П. Косович, С.И. Косович. Искусство народов Севера. М.: Советский Союз, 1987, 120 с.

1.1.9. Давидов, С.И. Косович, С.П. Косович, С.И. Косович. Искусство народов Севера. М.: Советский Союз, 1987, 120 с.

1.1.10. Давидов, С.И. Косович, С.П. Косович, С.И. Косович. Искусство народов Севера. М.: Советский Союз, 1987, 120 с.

1.1.11. Давидов, С.И. Косович, С.П. Косович, С.И. Косович. Искусство народов Севера. М.: Советский Союз, 1987, 120 с.

1.1.12. Давидов, С.И. Косович, С.П. Косович, С.И. Косович. Искусство народов Севера. М.: Советский Союз, 1987, 120 с.

1.1.13. Давидов, С.И. Косович, С.П. Косович, С.И. Косович. Искусство народов Севера. М.: Советский Союз, 1987, 120 с.

1.1.14. Давидов, С.И. Косович, С.П. Косович, С.И. Косович. Искусство народов Севера. М.: Советский Союз, 1987, 120 с.

1.1.15. Давидов, С.И. Косович, С.П. Косович, С.И. Косович. Искусство народов Севера. М.: Советский Союз, 1987, 120 с.

465286

AB 27.064