

На правах рукопису

ТЮТЬКО ІГОР ОЛЕГОВИЧ

ТЮТЬКО

Ігор Олегович

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук

спеціальності 01.04.10 — фізика напівпровідників і діелектриків

Львів, 1995

УДК 621.315.592

# ЗМІНИ ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДІОДНИХ СТРУКТУР НА БАЗІ $ZnS$ ТА $CdS$ , ІНДУКОВАНІ РЕНТГЕНІВСЬКИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

01.04.10 — фізика напівпровідників і діелектриків

А в т о р е ф е р а т

дисертації на здобуття вченого ступеня  
кандидата фізико-математичних наук

Д 6 31 560

АНКАУФ І. М. ТЕТНОЧЕВИЧУ ВНИВАЖЕНІД ПИЖОЧЕНІД

Університетський архів

Роботу виконано у Львівському державному університеті імені Івана Франка. Дисертація є рукописом.

Науковий керівник: кандидат фізико-математичних наук, доцент **Павлик Богдан Васильович**

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук, професор **Лискович Олексій Борисович**  
кандидат фізико-математичних наук, доцент **Лихобабин Микола Павлович**

Провідна організація: Інститут фізики напівпровідників НАН України

Захист дисертації відбудеться *11 січня* 1995 року

о *15* год. на засіданні спеціалізованої Ради Д 068.26.05 при Львівському державному університеті ім. І. Франка (290005 Львів, вул. Кирила і Мефодія, 8, Велика фізична аудиторія).

З дисертацією можна ознайомитись в науковій бібліотеці Львівського університету (вул. Драгоманова, 5).

Відгуки на автореферат у двох примірниках, завірені печаткою, просимо надсилати за адресою: 290005, м. Львів, вул. Кирила і Мефодія, 8, фізичний факультет, вченому секретарю.

Автореферат розіслано *9 грудня* 1994 року.

Вчений секретар спеціалізованої Ради 068.26.05 доктор фіз.-мат. наук, професор

НОСЕНКО А.Є.

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00777239 (Z)

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми досліджень.** Широкозонні сполуки  $A^2B^6$  володіють рядом властивостей, що роблять їх перспективними для використання в опто- та мікроелектроніці. Зокрема, велика ширина забороненої зони, висока фоточутливість та імовірність випромінювальної рекомбінації дозволяють використовувати ці матеріали як джерела або приймачі видимого та ультрафіолетового випромінювання [1]. Висока радіаційна стійкість робить широкозонні напівпровідникові сполуки  $A^2B^6$  перспективними для створення датчиків іонізуючих випромінювань. Проте давно зауважено, що опромінювання цих матеріалів або приладів на їх базі рентгенівськими квантами, ультрафіолетовим, видимим чи, навіть, інфрачервоним світлом викликає стійкі (хоча і зворотні) зміни їх властивостей. Причиною цих ефектів є зумовлена збудженням генерація нерівноважних носіїв струму, які, взаємодіючи з дефектами, стають причиною протікання фотохімічних реакцій. Якщо перебіг згаданих процесів у самих сполуках  $A^2B^6$  досліджено достатньо повно, то вплив іонізуючого опромінювання на прилади на основі цих напівпровідників (діоди Шотткі, структури метал-діелектрик-напівпровідник і т. д.) вимагає подальшого вивчення. Слід також зауважити, що радіаційна стійкість приладів електроніки, які, як правило, є просторово-неоднорідними структурами, суттєво нижча, ніж стійкість їх складових частин. Враховуючи це, а також велику різноманітність електрично-активних дефектів у напівпровідниках  $A^2B^6$ , можна очікувати, що суттєві зміни фізичних параметрів приладів на їх базі відбуватимуться при значно нижчих експозиційних дозах порівняно з дозами опромінювання, при яких відбуваються зміни властивостей самих матеріалів. Тому дослідження впливу іонізуючого опромінювання на прилади на базі сполук  $A^2B^6$  як у плані вивчення процесів деградації, так і в плані можливості цілеспрямованого управління дефектною структурою матеріалу є актуальною проблемою.

**Мета роботи.** Встановити закономірності зміни дефектної структури приконтактних областей поверхнево — бар'єрних діодів  $Au-ZnS$  та  $Au-CdS$  під дією підпорогових рентгенівських квантів.

Для досягнення даної мети в роботі вирішувались наступні завдання:

- аналіз особливостей, які виникають при дослідженні адмітансу (повної провідності) контактів «метал — широкозонний напівпровідник класу  $A^2B^6$ » на основі вдосконаленої методики, яка враховує вплив процесів переносу вільних носіїв заряду на повну провідність;
- дослідження енергетичного спектру поверхневих станів (ПС) контактів Au-ZnS та AuCdS, спектру, кінетичних параметрів та профілів концентрації глибоких рівнів у приповерхневих шарах ZnS та CdS;
- дослідження радіаційно і термостимульованих змін фізичних параметрів діодних структур;
- розробка методики аналізу експериментальних результатів, яка дозволяє однозначно встановити першопричину радіаційно-стимульованих змін характеристик діодних структур (зміна спектру чи параметрів об'ємних глибоких рівнів, зміна спектру ПС, зміна величини дисперсії поверхневого потенціалу).

#### **Наукова новизна.**

1. Вперше показано, що наявність плитких донорних центрів прилипання у ZnS та CdS зумовлює виникнення надлишкової ємності на високочастотних вольт-фарадних характеристиках діодних структур Au-ZnS та Au-CdS.

2. Показано, що низькодозне рентгенівське опромінення зумовлює зменшення концентрації плитких донорних центрів прилипання у приповерхневому шарі ZnS та ефективної густини ПС у контакті Au-ZnS, у структурах Au-CdS внаслідок опромінення спостерігається тільки зменшення концентрації плитких донорних центрів прилипання у приповерхневому шарі CdS.

3. Запропоновано методику аналізу експериментально виміряних складових адмітансу та модуляційних спектрів діодних структур, яка дозволяє однозначно встановити першопричину радіаційно-індукованих змін електрофізичних параметрів діодів.

**Практичне значення** роботи зумовлено актуальністю проблем радіаційної фізики напівпровідників, зокрема, розширенням елементної бази електроніки, забезпеченням надійності та довговічності роботи напівпровідникових приладів та вивченням можливостей цілеспрямованого керування параметрами цих приладів з допомогою іонізуючого випромінювання.

Результати роботи знайдуть застосування при створенні теорії радіаційно-стимульованих процесів у просторово-неоднорідних структурах. Вони можуть виявитись корисними при конструюванні дозиметрів іонізуючого випромінювання та для підвищення надійності напівпровідникових приладів.

#### **Положення, що виносяться на захист:**

1. Максимум на високочастотних вольт-фарадних характеристиках (ВЧ ВФХ) діодних структур Au-ZnS та Au-CdS в області малих прямих зміщень, а також поява надлишкової високочастотної ємності в області великих прямих зміщень зумовлені наявністю у приконтактних шарах ZnS та CdS плитких донорних центрів у забороненій зоні.

2. Відхилення експериментальних ВЧ ВФХ діодів Au-ZnS та Au-CdS в області зворотніх зміщень від теоретично розрахованих зумовлено наявністю поверхневих електронних станів бар'єрного контакту, а не флуктуаціями поверхневого потенціалу.

3. Низькодозне рентгенівське опромінення діодів Au-ZnS та Au-CdS зумовлює протікання процесів впорядкування в області бар'єрного контакту, а саме: зменшення ефективної густини поверхневих станів контакту Au-ZnS та зменшення концентрації плитких донорних центрів у приконтактному шарі як ZnS, так і CdS.

**Апробація роботи.** Матеріали дисертації доповідались та обговорювались на III конференції молодих вчених Львівського університету (Львів, 1988 р.), Всесоюзній нараді по радіаційній фізиці твердого тіла (Львів, 1990 р.), семінарі молодих вчених «Радіаційна фізика і хімія твердого тіла» (Львів, 1990 р.), III Всесоюзній конференції «Матеріалознавство халькогенідних та кисневмісних напівпровідників» (Чернівці, 1991 р.), Ювілейній науковій конференції до 40-річчя фізичного факультету Львівського університету (Львів, 1993 р.), міжнародній школі — конференції «Передові дисплеїні технології» (Львів, 1994), I міжнародній конференції «Матеріалознавство алмазоподібних і халькогенідних напівпровідників» (Чернівці, 1994), а також на щорічних наукових конференціях викладачів та співробітників Львівського університету (1986—1994 рр.).

**Публікації та внесок автора.** За матеріалами дисертації опубліковано 8 робіт, список яких наведено в кінці автореферату. В цих роботах авторові належать результати і висновки, які опубліковано в дисертації та авторефераті. Всі експериментальні дослідження виконані особисто автором.

**Структура роботи.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку літератури і містить 125 сторінок машинопису, 39 рисунків, 118 бібліографічних посилань.

## КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету роботи, основні завдання, наукову новизну, практичну цінність результатів і положення, що виносяться на захист, коротко викладено зміст роботи по розділах.

**Перший розділ** містить огляд робіт, присвячених впливу іонізуючого опромінення на широкозонні сполуки класу  $A^2B^6$  та напівпровідникові прилади. Відзначено, що визначальною для радіаційного дефектотворення у кристалах  $A^2B^6$  є генерація нерівноважних вільних носіїв заряду, які, взаємодіючи з дефектами ґратки, зумовлюють протікання фотохімічних реакцій (ФХР). Зміна дефектної структури широкозонних напівпровідників  $A^2B^6$  відбувається і внаслідок їх опромінення світлом видимого чи, навіть, ІЧ-діапазону, а також інжекції нерівноважних носіїв через контакт. Коротко описано відомі типи та механізми ФХР у кристалах  $A^2B^6$ .

Друга частина розділу містить аналіз літературних даних, присвячених питанням впливу іонізуючого опромінення на поверхнево-бар'єрні структури (діоди Шоткі, структури метал—діелектрик—напівпровідник). Відзначено, що межі поділу у таких структурах, як правило, характеризуються наявністю значних механічних напружень та поступовою зміною хімічного складу. Внаслідок цього межі поділу виявляються «слабкою ланкою» з точки зору радіаційного впливу на напівпровідникові прилади. Коротко описано основні процеси, що відбуваються у поверхнево-бар'єрних структурах (ПБС) під дією іонізуючого опромінення: накопичення фіксованого заряду в діелектричному шарі, утворення поверхневих станів, радіаційно стимульована дифузія.

У другому розділі описано методику визначення фізичних параметрів бар'єрних структур. Ці параметри визначались з аналізу вольт-амперних характеристик (ВАХ), вольт-фарадних характеристик на високій частоті (ВЧ ВФХ), залежностей ВЧ активної провідності діода від постійного зміщення. Всі названі експериментальні залежності реєструвались при температурах зразків з інтервалу 77-400 К. Для дослідження енергетичного спектру, параметрів та профілів по глибині концентрації глибоких рівнів (ГР) у приповерхневих шарах

напівпровідників застосовано метод модуляційної емнісної спектроскопії (МЕС). Суть методу полягає в тому, що до досліджуваної бар'єрної структури одночасно прикладаються постійне зміщення та дві малосигнальні гармонічні напруги: ВЧ (125 кГц) і НЧ (10 Гц — 20 кГц). Реєструються дійсна та уявна складові сигналу модуляції ВЧ емності зразка низько-частотною напругою. Відношення уявної складової до дійсної пропорційне концентрації ГР, які перезаряджаються на частоті модуляції  $\omega_a$ . Кінетичні параметри ГР знаходяться з температурних залежностей уявної складової, отриманих при різних  $\omega_a$ . Проведено порівняння методу МЕС з двома іншими широко застосовуваними зараз методами емнісної спектроскопії ГР: адмітанс — спектроскопії (АС) та нестационарної спектроскопії глибоких рівнів (НСГР). Відзначено, що на відміну від методу АС, чутливість якого до ГР падає із збільшенням зворотнього зміщення на діоді, чутливість МЕС при цьому, навпаки, зростає. Крім того МЕС дозволяє знаходити профіль розподілу легуючої домішки і є менш чутливою до активних втрат бар'єрних структур. У порівнянні з методами НСГР метод МЕС виграє у простоті реалізації, а також у тому, що вимірювання проводяться в квазістационарних умовах.

На основі розгляду пакету сигналів, що прикладаються до досліджуваного діода при реалізації методу МЕС отримано еквівалентну схему бар'єрного контакту та відповідні співвідношення для аналізу МЕС-спектрів, в яких враховано вплив перезарядки поверхневих станів (ПС).

У третьому розділі описано методику виготовлення бар'єрних структур. Було використано монокристалічний ZnS з концентрацією некомпенсованої донорної домішки  $N_d \sim 10^{16} \text{ см}^{-3}$  та монокристалічний CdS двох типів ( $N_d \sim 10^{16} \text{ см}^{-3}$  — «високоомний» та  $N_d \leq 10^{18} \text{ см}^{-3}$  — «низькоомний»). Після механічної обробки поверхні кристалів зазнавали хімічного травлення із використанням травників, звичайно застосовуваних для матеріалів класу  $A^2B^6$  [2]. Матеріалом для виготовлення омичних контактів служив In (CdS) та сплав «In + 10% Cd» (ZnS).

Бар'єрний контакт виготовлявся термічним напленням золота у вакуумі  $\sim 10^{-6}$  Торр. Вибір Au в якості матеріалу для робочого електрода обгрунтовано двома фактами [2]: а) саме у контактах Au-ZnS та Au-CdS досягається максимальна висота потенціального бар'єру, що дозволяє в широкому діапазоні зміни температур та постійних зміщень застосовувати методи емнісної спектроскопії; б) енергетична структура контактів Me-ZnS та Me-CdS (де Me — Au, Ag, Ni, Pt) слабо залежить від природи металу.

Аналіз ВАХ, ВЧ ВФХ та залежностей ВЧ активної провідності діодів від постійного зміщення показав, що, незалежно від типу хімічного травника, в процесі виготовлення діодних структур між робочим електродом та напівпровідником виникає діелектрична плівка товщиною 30—50 нм, що узгоджується з літературними даними, присвяченими дослідженню контактів Me-ZnS та Me-CdS, отриманих із застосуванням хімічного травлення. Визначено фізичні параметри контактів (товщину діелектричного шару між Au та напівпровідником, профілі по глибині  $N_d(x)$ , густину ПС у забороненій зоні напівпровідника). Встановлено, що густина ПС є суттєво вищою в контактах Au-CdS (порядку  $10^{13} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ) проти  $10^{12} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  у випадку Au-ZnS. ВЧ ВФХ як діодів Au-ZnS, так і діодів Au-CdS характеризуються двома особливостями (рис. 1, 2): а) наявністю «горба» в області малих прямих зміщень; б) виникненням надлишкової ємності в області великих прямих зміщень при вимірюваннях на частоті 125 кГц порівняно з випадком, коли частота становить 2,2 МГц. В області великих прямих зміщень спостерігається також зростання активної складової повної провідності, виміряної на частоті 125 кГц. Показано, що ці особливості зумовлені присутністю на межі поділу «діелектричний шар — напівпровідник» (МП) та у шарі діелектрика, що безпосередньо межує з МП, плитких донорних центрів захоплення. Особливість (а) зумовлена збільшенням величини від'ємного заряду, захопленого на ПС контакту, внаслідок заповнення вказаних донорних центрів електронами при подачі на діод малих прямих зміщень. Особливість (б) зумовлена тією обставиною, що ширина забороненої зони як ZnS, так і CdS є співмірною з шириною забороненої зони діелектричного шару між випрямляючим електродом та напівпровідником, а тому перенос вільних носіїв через цей шар не може бути істотно утрудненим. Наявність значної концентрації вільних носіїв у діелектрику при великих прямих зміщеннях зумовлює перезарядку плитких донорів поблизу МП на частоті 125 кГц, а отже і виникнення надлишкових ємності та провідності. Ці ж стани на частоті 2,2 МГц перезаряджались не встигають.

Досліджено вплив підпорогового рентгенівського опромінення (сумарні експозиційні дози  $D$  — до 10 Кл/кг) на ВАХ та ВФХ діодних структур. Показано, що опромінення діодів Au-ZnS зумовлює зменшення висоти «горба» на ВФХ, а також зменшення надлишкової ємності на частоті 125 кГц в області великих прямих зміщень (рис. 1). На основі цього зроблено висновок про зменшення внаслідок опромінення концентрації

плитких донорних центрів захоплення на МП. Зменшується і розрахована з ВЧ ВФХ ефективна густина ПС у забороненій зоні сульфїду цинку. Після опромінення спостерігається також зростання прямого струму через діод, що пояснюється зменшенням абсолютної величини від'ємного заряду, захопленого на ПС, внаслідок радіаційно-стимульованого зменшення густини ПС. Починаючи з експозиційних доз порядку 3 Кл/кг, подальших змін ВАХ та ВЧ ВФХ не спостерігається.

При опроміненні діодів AuCdS (як «високоомних», так і «низькоомних») теж спостерігається зменшення висоти «горба» на ВЧ ВФХ із зростанням експозиційної дози аж до повного його зникнення та зменшення надлишкової ємності в області великих прямих напруг (рис. 2). Вказані зміни відбуваються при експозиційних дозах нижчих, ніж 1 Кл/кг. Ефективна густина ПС у забороненій зоні CdS, визначена з ємнісних вимірів, після опромінення не міняється. Зроблено висновок про те, що опромінення діодів на основі CdS зумовлює лише зменшення концентрації плитких донорних центрів в області випрямляючого контакту. Цей висновок, враховуючи незмінність густини ПС у забороненій зоні, підтверджується тим, що після опромінення зменшується прямий струм через діоди на основі «високоомного» CdS. Оскільки аналіз ВАХ «низькоомних» діодів Au-CdS вказує на тунельний механізм переносу вільних носіїв, то індуковане опроміненням зменшення характерної зворотної напруги пробою в таких діодах (рис. 3) теж можна пояснити пониженням концентрації донорних центрів в області контакту (тобто збільшується по абсолютній величині сумарний від'ємний ефективний заряд, захоплений на ПС).

**У четвертому розділі** наведено визначені з допомогою методу МЕС кінетичні параметри (глибина залягання —  $E_1$  та ефективний переріз захоплення основних носіїв —  $\sigma_{n1}$ ) глибоких рівнів (ГР) в забороненій зоні ZnS та CdS, а також профілі по глибині концентрації цих ГР у приповерхневому шарі. Параметри ГР у сульфїді кадмію в межах точності експерименту не залежать від глибини, на якій вони визначаються, тоді як для ГР у сульфїді цинку спостерігається протилежна картина. При наближенні до МП числові значення  $E_1$  та  $\sigma_{n1}$  зменшуються (табл. 1, с. 13). Крім того, профілі по глибині наймілкішого із ГР у ZnS залежать від частоти модуляції (рис. 4). Показано, що спостережувані залежності зумовлені впливом перезарядки ПС на модуляційні спектри. При частотах модуляції  $\omega_a > 500$  Гц ПС контакту Au-ZnS беруть участь у перезарядці, даючи тим самим вклад у дійсну та уявну складові сигналу модуляції ВЧ ємності. Цей вклад буде тим більшим,

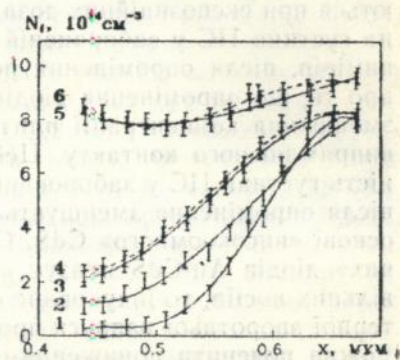
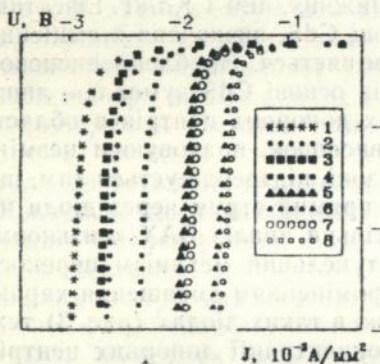
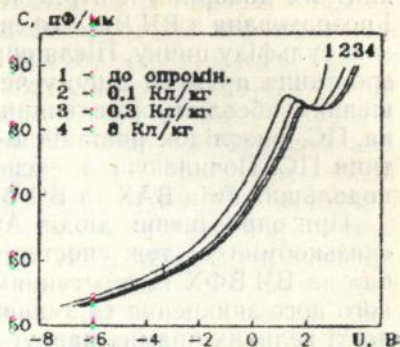
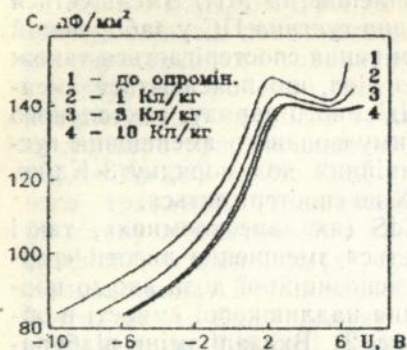


Рис. 1. ВЧ ВФХ діодів Au-ZnS до та після опромінення.

Рис. 2. ВЧ ВФХ діодів Au-CdS до та після опромінення.

Рис. 3. Зворотні ВАХ «низькоомного» діода Au-CdS:

1, 3, 5, 7 —  $T=300$  К; 2, 4, 6, 8 —  $T=90$  К; 1, 2 — до опромін.; 3, 4 — доза  $D=0.1$  Кк/кг; 5, 6 —  $0.3$  Кк/кг; 7, 8 —  $1$  Кк/кг.

Рис. 4. Залежність МЕС-профілів ГР 1 в ZnS, отриманих при різних частотах модуляції, від дози опромінення: (1) — до опромінення,  $f_a = \omega_a / (2\pi) = 100$  Гц; (2) —  $D=1$  Кк/кг,  $f_a=100$  Гц; (3) —  $D=3$  Кк/кг,  $f_a=100$  Гц; (4) —  $D=10$  Кк/кг,  $f_a=100$  Гц; (5) — до опромінення,  $f_a=1$  кГц; (6) —  $D=10$  Кк/кг,  $f_a=1$  кГц;

чим вищою є концентрація вільних носіїв поблизу МП (тобто, при прямих зміщеннях на діоді). Тому температурні залежності уявної складової сигналу модуляції, отримані при низьких  $\omega_a$  для ГР поблизу МП, виявляються спотвореними, що зумовлює заниження експериментально визначених кінетичних параметрів об'ємних ГР в забороненій зоні ZnS. Перезарядкою ПС пояснюється і залежність профілів ГР по глибині від частоти модуляції. Шляхом порівняння експериментальних

МЕС-спектрів із спектрами, розрахованими на основі отриманих у розділі 2 співвідношень, які враховують вплив ПС, виявлено, що ПС у забороненій зоні ZnS характеризуються великими ефективними перерізами захоплення основних носіїв (порядку  $10^{-10}$  см<sup>2</sup>). Тому, незважаючи на відносно невисоку густину, ці ПС суттєво впливають на форму модуляційних спектрів та, відповідно, на параметри та профілі по глибині ГР.

В межах досліджених експозиційних доз (до 10 Кл/кг) рентгенівське опромінення не спричиняє появи нових ГР у забороненій зоні як ZnS, так і CdS. Не змінюються і визначені при високих (вище 500 Гц) частотах модуляції профілі ГР по глибині. Зміни профіля одного з ГР у сульфіді цинку після опромінення при низьких частотах модуляції (нижче 500 Гц) пояснюються стимульованим радіацією зменшенням густини ПС у забороненій зоні.

Показано, що опромінення як діодів Au-ZnS, так і Au-CdS не зумовлює зміну півширини та амплітуди максимумів, що відповідають перезарядці ГР у модуляційних спектрах. Дана обставина є важливою з точки зору врахування впливу флуктуацій поверхневого потенціалу на вигляд ВЧ ВФХ та можливої зміни величини цих флуктуацій внаслідок опромінення. Якщо флуктуації поверхневого потенціалу не є малими, порівняно з його середнім значенням, то це цілком помітно змінює і нахил ВЧ ВФХ навіть при відсутності ПС. Порівняння такої ВФХ з теоретичною, отриманою без врахування неоднорідності розподілу поверхневого потенціалу, зумовить помилковий висновок про наявність на МП квазінеперервного розподілу ПС. Проведений аналіз показав, що існування значних флуктуацій поверхневого потенціалу приводить до збільшення півширини температурних залежностей дійсної та уявної складових сигналу модуляції. Тому було проведено порівняння форми експериментальних МЕС-пиків з теоретично розрахованими за відомими кінетичними параметрами та концентраціями ГР. Виявлено, що навіть до опромінення експериментальні піки за формою практично співпадають із розрахованими, що свідчить про відсутність у виготовлених нами контактах Au-ZnS та Au-CdS істотних флуктуацій поверхневого потенціалу.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

1. Отримано еквівалентну схему бар'єрного контакту та відповідні аналітичні співвідношення для аналізу МЕС-спектрів, в яких враховано вплив перезарядки ПС.

2. Показано, що наявність плитких донорних центрів прилипання у забороненій зоні ZnS та CdS зумовлює виникнення особливостей на ВЧ ВФХ поверхнево — бар'єрних діодів на основі цих напівпровідників.

3. Низькодозне (до 10 Кл/кг) рентгенівське опромінення зумовлює зменшення концентрації плитких донорних центрів прилипання у приповерхневому шарі ZnS та зменшення ефективної густини ПС у контакті Au-ZnS, у структурах Au-CdS внаслідок опромінення спостерігається лише зменшення концентрації плитких донорних центрів прилипання у приповерхневому шарі CdS. Радіаційно-стимульовані зміни в обидвох типах контактів є незворотніми і не усуваються в процесі відпалу.

4. Концентрації донорних пасток та ефективна густина ПС виходять на насичення при дозах опромінення більших, ніж 3 Кл/кг у випадку Au-ZnS та 1 Кл/кг у випадку Au-CdS.

5. В межах досліджених експозиційних доз не відбувається створення нових ГР у забороненій зоні як ZnS, так і CdS. Показано, що спостережувані після опромінення зміни кінетичних параметрів ГР у ZnS та профілів їх концентрацій по глибині можна пояснити радіаційно-стимульованим зменшенням ефективної густини ПС контакту Au-ZnS, тобто зменшенням спотворюючого впливу перезарядки ПС на вказані параметри ГР.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ОПУБЛІКОВАНІ В НАСТУПНИХ РОБОТАХ:

1. Сухоребрій С. П., Павлик Б. В., Тютюко І. О. Дослідження глибоких центрів у ZnS методом модуляційної емісійної спектроскопії. // УФЖ.— 1993.— Т. 38, № 4.— С. 579—582.
2. Сухоребрій С. П., Павлик Б. В., Тютюко І. О., Цибуляк Б. З. Радіаційно-стимульовані зміни у приконтактній області діодів Au-ZnS. // УФЖ.— 1993.— Т. 38, № 10.— С. 1521—1525.
3. Павлик Б. В., Тютюко І. О., Цибуляк Б. З. Зміна фізичних параметрів контактів Au-ZnS та Au-CdS під дією рентгенівського опромінення // Деп. в ДНТБ України 10.03.94, № 406 — Ук-94.
4. Матульський В. Б., Павлык Б. В., Сухоребрій С. П., Тютюко І. О. Влияние обработки поверхности монокристаллов ZnS на параметры диодов Шоттки Au-ZnS. // Материаловедение халькогенидных полупроводников. Тез. док. III Всес. конф. Т. 2. Черновцы.: ЧГУ.— 1991.— С. 137.
5. Матульський В. Б., Павлык Б. В., Сухоребрій С. П., Тютюко І. О. Вплив рентгенівського опромінення на електрофізичні властивості діодів Au-ZnS. // Ювілейна наук. конф. до 40-річчя фізичного факультету. Тези доп. Львів.: ЛДУ.— 1993.— С. 55.
6. Волощук Р. Я., Тютюко І. О. Чисельне моделювання напівпровідникових діодів з центрами рекомбінації складної структури. // Ювілейна наук. конф. до 40-річчя фізичного факультету. Тези доп. Львів.: ЛДУ.— 1993.— С. 10.
7. Павлык Б. В., Тютюко І. О., Цибуляк Б. З., Горинь Я. М. Вплив рентгенівського опромінення на світлоемітуючі діоди Au-ZnS та Au-CdS. // Передові дисплейні технології. Мат. міжнар. школи — конф. Львів, 1994.— С. 29—30.
8. Тютюко І. О. Природа надлишкової емності на високочастотних ВФХ діодних структур Au-ZnS та Au-CdS. // Матеріалознавство алмазоподібних і халькогенідних напівпровідників. Тези доп. I міжнар. конф. Т. 2. Чернівці.: ЧДУ.— 1994.— С. 215.

## ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Полупроводниковые фотоприемники: ультрафиолетовый, видимый и ближний ИК диапазоны спектра / Под ред. В. И. Стафеева.— М.: Радио и связь.— 1984.— 216 с.
2. Милнс А., Фойхт Д. Гетеропереходы и переходы металл — полупроводник / М.: Мир.— 1975.— 405 с.
- Сангвал К. Травление кристаллов / М.: Мир.— 1990.— 406 с.

	0,6 мкм	1 мкм	1,5 мкм
$E_1$ , eV	0,37	0,41	0,44
$\sigma_{ni}$ , $\text{см}^2$	$5,4 \cdot 10^{-16}$	$3,0 \cdot 10^{-15}$	$8,0 \cdot 10^{-15}$
$E_3$ , eV	0,71	0,80	0,88
$\sigma_n$ , $\text{см}^2$	$1,5 \cdot 10^{-14}$	$5,2 \cdot 10^{-13}$	$3,3 \cdot 10^{-12}$

Табл. 1. Залежність кінетичних параметрів ГР у ZnS від глибини визначення (початок відліку по координаті — площа бар'єрного контакту).

Tjutko I. O. Physical parameters changes of ZnS- and CdS-based diode structures, induced by X-irradiation (manuscript).

The dissertation advanced for a degree of Philosophical Doctor in the speciality 01.04.10 — Semiconductor and Insulator Physics, I. Franko Lviv State University, Lviv, 1995.

In the thesis it is shown that crystalline structure ordering processes take place in barrier contact area as a consequence of low-dose X-irradiation of surface barrier diodes based on ZnS and CdS. The peculiarities of the capacitance spectroscopy studies of diode structures based on wide gap semiconductors have been investigated.

Тютко І. О. Змінення фізических параметрів діодних структур на базі ZnS і CdS, індукційовані рентгеновським облученням (рукопись).

Диссертация на соискание ученой степени кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.10 — физика полупроводников и диэлектриков, Львовский государственный университет им. И. Франко. Львов. 1995.

В работе показано, что вследствие низкодозного рентгеновского облучения поверхностно-барьерных диодов на базе ZnS и CdS в области барьерного контакта имеют место процессы упорядочения кристаллической структуры. Изучены особенности, возникающие при исследовании методами емкостной спектроскопии диодных структур на базе широкозонных полупроводников.

Ключові слова: широкозонні напівпровідникові сполуки  $A^2B^6$ , поверхнево-бар'єрні діоди, рентгівівське опромінєння.



ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України



Безплатно.

Ав 31.560