

АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВЧЕНА РАДА КО16.25.01

На правах рукопису

БОЖКО ВОЛОДИМИР ВАСИЛЬОВИЧ

**ЕЛЕКТРИЧНІ ТА ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ
ВЛАСТИВОСТІ МОНОКРИСТАЛІВ
І ТОНКИХ ШАРІВ
АНТИМОНІДІВ ІНДІЮ І КАДМІЮ**

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

ЛУЦЬК—1994

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00777798 (2)

АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ
СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВЧЕНА РАДА КО16.25.01

На правах рукопису

ВОЙКО Володимир Васильович

**ЕЛЕКТРИЧНІ ТА ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ
ВЛАСТИВОСТІ МОНОКРИСТАЛІВ І ТОНКИХ ШАРІВ
АНТИМОНІДІВ ІНДІЮ І КАДМІЮ**

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

Луцьк - 1994

ІНБ ім. В. Стефаника
АН України

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Волинському державному університеті /м.Луцьк/,
Інституті загальної і неорганічної хімії АН Росії /м.Москва/.

Науковий керівник:

кандидат фізико-математичних наук, доцент
Давидюк Георгій Євlampієвич.

Офіційні опоненти:

доктор фізико-математичних наук, професор
Любченко Олександр Вікторович,
доктор фізико-математичних наук
Тартачник Володимир Петрович.

Провідна організація:

Інститут проблем матеріалознавства АН України
ім. І.М.Францевича, м.Київ

Захист відбудеться "___" березня 1994 р.
на засіданні Спеціалізованої вченої ради К 016.25.01
в Інституті фізики напівпровідників АН України
/252028, Київ-28, проспект Науки, 45/

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Інституту
фізики напівпровідників АН України

Автореферат розісланий "___" лютого 1994 р.

ВЧЕНІЙ СЕКРЕТАР
СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ВЧЕНОЇ РАДИ

БЕЛЯЄВ О.Є.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ТВ - 20.207

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

Актуальність теми. Вирощування напівпровідникових матеріалів на ізолюючих підкладках є однією з найактуальніших проблем сучасного матеріалознавства. Такі матеріали широко використовуються в сучасній мікроелектроніці для створення на їх основі різних приладів. Антимонід індію, завдяки високій рухливості носіїв струму, значній fotocутливості, простій технології вирощування, знаходить широке практичне використання: для виготовлення фотоприймачів всіх трьох типів, датчиків Холла, тунельних діодів і ряду інших приладів. Вирощування цього матеріалу на ізолюючих підкладках дає можливість застосовувати методи групової технології при виготовленні приладів, полегшує механічну і хімічну обробку матеріалу, забезпечує більш надійний тепловий контакт між матеріалом і підкладкою. Особливо актуальним є питання про вирощування монокристалічного антимоніду індію на ізолюючих підкладках, оскільки монокристали мають значно кращі параметри в порівнянні з полікристалічними зразками: вищу рухливість носіїв струму, більшу fotocутливість, меншу концентрацію неконтрольованих домішок.

Важливе місце в фізиці напівпровідників займають локалізовані стани, які знаходяться на значних відстанях від країв доволених зон. Проблема глибоких центрів (ГЦ) в теоретичному плані вивчена і зараз, незважаючи на наявність значної кількості методів їх дослідження. Роль глибоких рівнів необхідно враховувати при аналізі електричних, оптичних, флуктуаційних, резонансних і інших фізичних явищ в напівпровідниках.

Домішкові центри з глибокими рівнями визначають спектри випромінювання світлодіодів, є центрами швидкої рекомбінації, значно впливають на fotocутливість напівпровідникових матеріалів. Для вивчення хімічної природи таких центрів використовують магніто-резонансні методи досліджень: ЕПР, оптично детектований магнітний резонанс, електронний спіновий резонанс. Проте в літературі немає

даних по використанню цих методів для досліджень ГЦ у напівпровідниках з вузькою забороненою зоною. Очевидно причиною цього є трудність вирощування об'ємних монокристалів з достатньо низькою концентрацією носіїв. В зв'язку з цим метод нестационарної спектроскопії глибоких центрів (НСГЦ) є одним із найбільш перспективних методів дослідження ГЦ у вузькозонних напівпровідниках.

Одним з елементів, які забезпечують надійну роботу волоконно-оптичних ліній зв'язку є малоінерційні фотоприймачі, які сприймають інформацію, перетворюючи її в електричний сигнал для дальшої обробки. Тому питання дослідження основних фотоелектричних властивостей матеріалів, на основі яких можна виготовляти такі фотоприймачі, є актуальним. Особливо це відноситься до матеріалів, фоточутливих в інфрачервоній області спектру, наприклад, InSb, CdSb, так як оптичні волокна, що працюють в цій області, мають втрати в кілька разів менші, ніж кварцові.

Вивченню процесів, які відбуваються в напівпровідниках при переключеннях, присвячується значна кількість як теоретичних, так і експериментальних досліджень. Це зв'язано з тим, що на ефекті переключення працює цілий ряд приладів: ключів, елементів пам'яті, генераторів і підсилювачів НВЧ. Крім того, утворення низькоомного каналу струму в напівпровіднику є нерівноважним процесом. В теоретичному плані такі процеси є досить цікавими, оскільки в цьому випадку можна отримати інформацію про значно тонші ефекти, ніж при вивченні малих відхилень від термодинамічної рівноваги.

Безперервно зростаючи масштаби використання напівпровідникових приладів в ядерній і космічній техніці, а також в інших областях, де вони експлуатуються в умовах радіаційного опромінення, являються, безперечно, стимулюючим фактором для вивчення впливу випромінювання на фізичні властивості напівпровідникових матеріалів. Саме тому розв'язання проблеми радіаційної стійкості електричних, оптичних і інших технічно актуальних параметрів напівпровідникових матеріалів, а також проблема найважливіших причин і механізмів їх деградації в полі іонізуючих випромінювань, знаходиться в ряду

найбільш актуальних і злободенних в напівпровідниковій науці і техніці.

Мета роботи. Дані дослідження були направлені на розробку технології вирощування монокристалічних тонких шарів (ТШ) антимоніду індію на сапфірових підкладках, дослідження їх основних електричних і фотоелектричних властивостей, а також вивчення ефекту від'ємної фотопровідності в монокристалах CdSb:Te і впливу випромінювання на електричні і фотоелектричні параметри монокристалів CdSb. У відповідності із загальною постановкою задачі проводились дослідження по наступних конкретних напрямках:

- досліджувались параметри глибоких центрів (ГЦ) в монокристалах і тонких шарах антимоніду індію;
- проводилось вимірювання основних параметрів фоторезисторів на основі ТШ InSb;
- вивчався ефект від'ємної фотопровідності в монокристалах CdSb:Te;
- досліджувався вплив гамма і нейтронного випромінювання на електричні і фотоелектричні властивості монокристалів CdSb.

Наукова новизна.

Вперше отримано і досліджено монокристалічні ТШ InSb:

- виміряно основні електричні параметри ТШ InSb: концентрацію і рухливість носіїв струму, густину поверхневих станів і інші;
- проведено дослідження основних характеристик фоторезисторів на основі ТШ InSb.

Визначено методом НОГЦ основні параметри ГЦ, що знаходяться в забороненій зоні монокристалів і ТШ InSb;

Виявлено і досліджено ефект від'ємної фотопровідності в монокристалах CdSb:Te.

Вперше вивчено вплив гамма і нейтронного опромінення на фізичні властивості CdSb.

Практична цінність результатів роботи.

1. Розроблена технологія вирощування монокристалічних ТШ $InSb$ методом направленої кристалізації розплаву на сапфірових підкладках.

2. Показана можливість використання ТШ антимоніду Індію в якості матеріалу для виготовлення малоінерційних фотоприймачів у волоконно-оптичних лініях зв'язку.

3. На основі ТШ антимоніду Індію розроблені фоторезистори, які працюють при кімнатній температурі і по деяких параметрах перевищують інші фотоприймачі у відповідному спектральному інтервалі.

4. Резистори із вертикальною ділянкою ВАХ, виготовлені на основі ТШ $InSb$ можна використовувати для стабілізації напруги в електричних колах.

5. Залежність напруги переключення в низькоомний стан монокристалів $CdSb:Te$ від інтенсивності світлового потоку дає можливість розробляти на основі цього ефекту нові електронні прилади, керовані світлом.

Основні підключення, що виводяться на захист.

1. На основі розробленої нової технології методом направленої кристалізації розплаву вирощено монокристалічні ТШ $InSb$ на сапфірових підкладках. Встановлено оптимальні умови росту, виміряно основні електричні параметри матеріалу.

2. Виміряно основні характеристики фотоприймачів на основі ТШ $InSb$: спектральний розподіл фотопровідності, вольт-вотну чутливість, виявляючу здатність, спектральну густину шуму в залежності від товщини зразків, час життя нерівноважних носіїв струму. Знайдено оптимальні співвідношення параметрів фотоприймачів для використання їх в якості детекторів у волоконно-оптичних лініях зв'язку, для визначення спектрального розподілу густини випромінювання джерел світла.

3. Вперше методом нестационарної спектроскопії глибоких

центрів встановлено параметри ГЦ в монокристалах $InSb$ n і p -типу провідності і ТШ антимоніду індію. Підтверджено існування відомих ГЦ в монокристалах $InSb$, а також виявлено нові ГЦ в енергетичним положенням $E_v + 0,05$ еВ в монокристалах n -типу і $E_v + 0,120$, $E_v + 0,020$ еВ в монокристалах p -типу провідності.

4. В монокристалах $CdSb:Fe$ виявлено і досліджено ефект від'ємної фотопровідності на від'ємній ділянці ВАХ і запропоновано його механізм.

5. Спромінення монокристалів $CdSb$ швидкими нейтронами дозою 10^{18} н/см² вводить донорний рівень $E_d - 0,165$ еВ, з чим зв'язана конверсія типу провідності матеріалу.

Особистий вклад полягає в тому, що автором проведено всі експериментальні дослідження, представлені в даній роботі, зроблено математичну обробку даних експерименту і отримано всі наведені вище результати. Автор приймав участь в обговоренні результатів, вимірювань і висунув основні ідеї для їх пояснення.

Апробація роботи.

Основні результати роботи доповідались на національній науково-технічній конференції "Хімічні продукти для електроніки" (НРБ, м. Пловдив, 1987 р.), на V Всесоюзній школі "Фізико-хімічні основи електронного матеріалознавства" (Іркутськ, 1988 р.), XI Всесоюзна конференція з фізики напівпровідників (Кишинів, 1987 р.), X наукова конференція болгарських аспірантів в СРСР з міжнародною участю (Москва, 1988 р.), на наукових конференціях Волинського державного університету (Луцьк, 1993), II Українській конференції "Матеріалознавство і фізика напівпровідникових фаз змінного складу" (Ніжин, 1993 р.), а також обговорювалась на науковому семінарі відділу №3 ІФН АН України (Київ, 1993 р.).

Публікації.

По матеріалах дисертації опубліковано 11 друкованих робіт у вигляді наукових статей і тез доповідей, список яких приведено в кінці автореферату.

Об'єм і структура дисертації.

Дисертація містить 125 сторінок, включаючи 94 машинописні сторінки і 31 малюнок. По своїй структурі складається із вступу, чотирьох розділів і списку цитованої літератури із 147 найменувань.

Короткий зміст роботи.

У вступі дано короткий аналіз сучасного етапу розробки даної теми, поставлена метя роботи, обгрунтована актуальність теми, наукова новизна і практична цінність отриманих результатів.

Перший розділ є коротким оглядом і аналізом літературних даних по вирощуванню тонких плівок антимоніду індію. Наведені основні методи вирощування, які поділяються на дві групи:

методи нанесення шару з наступним покращенням його структури і методи, які поєднують вирощування шару і створення умов для росту монокристалу.

Розглянуто основні вимоги до діелектричних підкладок, що використовуються для вирощування монокристалів. Приведені основні електричні параметри вирощуваних полікристалічних плівок $InSb$, а також деякі фотоелектричні властивості монокристалів $CdSb$.

Метод НСПЦ значно розширює можливості дослідження глибоких рівнів у напівпровідниках. Особливо це стосується вузькозонних матеріалів, зокрема $InSb$, оскільки тут для такого роду досліджень використовували, в основному, результати вимірювань температурної залежності концентрації і провідності, а також оптичні методи, які по інформативності і чутливості значно поступаються методу НСПЦ.

В розділі розглянуто методи розрахунку фоторезисторів на основі $InSb$, а також приведено їх основні параметри.

Зр'ялено огляд літератури по ефектах, які виникають при переключенні напівпровідника з високоомного стану в низькоомний (вирощування струму), а також впливу радіаційного опромінення на

фізичні властивості напівпровідників, зокрема γ -випромінювання і нейтронів.

В кінці розділу сформульовано висновки по огляду літератури і поставлено завдання даної роботи.

В другому розділі описані методики досліджень, які використовувались при виконанні даної роботи. Для дослідження глибоких центрів в монокристалах і тонких шарах $InSb$ використовувався метод НСПЦ з електричним заповненням ПЦ. Також приведено основні співвідношення для розрахунку параметрів ПЦ. Описано установки і умови досліджень фотоелектричних властивостей. Показано схему установки для вимірювання вольт-фарадних характеристик МДН-структур. Інтервал робочих частот для неї 20 кГц - 10 мГц при чутливості $s=60$ мV/pF. Коротко розглянуто технологічні операції виготовлення зразків для дослідження електричних і фотоелектричних властивостей: механічна поліровка, хімічне травлення, метод фотолітографії і нанесення контактів методом напилення і ультразвукового зварювання. Об'єкти для досліджень глибоких рівнів виготовлялись за допомогою іонної імплантації Be - p^+ -n перехід для матеріалу n-типу і Cl - n^+ -p - перехід для матеріалу p-типу.

В третьому розділі описана технологія вирощування монокристалічних ТШ $InSb$, наводяться результати досліджень глибоких центрів монокристалів і ТШ $InSb$, а також результати досліджень основних фотоелектричних параметрів фоторезисторів, виготовлених на основі ТШ $InSb$.

Вирощування ТШ $InSb$ проводилось на установці, яка складається із п'ятизонної печі, редуктора для зміни швидкості кристалізації, системи для очистки інертним газом, системи терморегулювання, кристалізаційної комірки і кварцового реактора. Для вирощування використовувався монокристалічний $InSb$ з концентрацією $(1-2) \cdot 10^{19}$ см⁻³ і рухливістю $6,2 \cdot 10^5$ см²/В·с при $T=77$ К.

Подрібнений монокристалічний $InSb$ завантажувався в кварцовий циліндр, а діелектрична підкладка і затравочний монокристал - в графітову форму, яка за допомогою танталової пружини притискалась

до пластини циліндра. Після цього кристалізаційна осмірка поміщала в іварцовий реактор, де спочатку продувалася аргоном без нагріву, а потім проводилось плавлення завантаженого матеріалу. Щоб відвернути термоудар в момент торкання затравки з розплавом, піч встановлювалась так, щоб частково підплавлялась і затравка. Дослідження структурних властивостей і електричних параметрів вирощуваного матеріалу показало, що найбільш структурно досконалі ТШ *InSb* отримуються при вирощуванні по напрямку $\langle 100 \rangle$, з швидкістю кристалізації 2,3 мм/год. Об'ємна концентрація і рухливість носіїв заряду в них при $T=77\text{K}$ відповідно складали $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $2 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.

Таблиця I
Параметри ГЦ в монокристалах і ТШ *InSb*

	Енергія рівня еВ	Переріз захвату см^2	Концент- рація см^{-3}	
E_1	$E_2 - 0,120$	$5 \cdot 10^{16}$	$5 \cdot 10^{12}$	p+n діод
E_2	$E_2 - 0,101$	$1 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{13}$	<i>InSb</i> n-тип
H_1	$E_V + 0,050$	$3 \cdot 10^{16}$	$5 \cdot 10^{12}$	
H_1	$E_V + 0,100$	$7 \cdot 10^{16}$	$2 \cdot 10^{13}$	
H_2	$E_V + 0,108$	$1 \cdot 10^{15}$	$2 \cdot 10^{13}$	p+n діод
H_3	$E_V + 0,120$	$1 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{13}$	<i>InSb</i> p-тип
H_4	$E_V + 0,047$	$4 \cdot 10^{15}$	$4 \cdot 10^{12}$	
H_5	$E_V + 0,020$		$4 \cdot 10^{12}$	
E_1	$E_2 - 0,175$	$2 \cdot 10^{15}$	$8 \cdot 10^{13}$	p+n діод
E_2	$E_2 - 0,085$	$2 \cdot 10^{14}$	$2 \cdot 10^{14}$	ТШ <i>InSb</i>
H_1	$E_V + 0,055$	$7 \cdot 10^{13}$	$8 \cdot 10^{13}$	n-тип
H_2	$E_V + 0,044$	$1 \cdot 10^{16}$	$1 \cdot 10^{14}$	

В табл. I подано параметри ГЦ в монокристалах і ТШ *InSb*, визначені методом НОЦ. З результатів експерименту випливає, що в монокристалах *InSb* n-типу провідності виявлено два глибокі центри E_1 , E_2 - уловлювачі електронів і H_1 , H_2 - уловлювачі дірок. В *InSb* p-типу провідності (в якості ле увної домішки використовували Ge)

було виявлено 5 глибоких рівнів $H_1 - H_5$ - уловлювачів дірок і один E - уловлювач електронів. Із аналізу результатів експерименту і врахування ширини забороненої зони $InSb$ випливає, що ГЦ E_1 , E_2 і H_1 в матеріалі n -типу і, відповідно, H_1, H_3, H_4 в матеріалі p -типу є одними і тими ж рівнями, обумовленими структурними дефектами в монокристалах $InSb$. В матеріалі p -типу ще виявлено рівень H_2 з енергетичним положенням $E_V + 0.106$ eV, який очевидно утворений домішкою Ge . Слід особливо відмітити, що в монокристалах $InSb (Ge)$ близько середини забороненої зони знаходиться три глибоких рівні H_1, H_2, H_3 , а не два, як вважалось до цього часу. Очевидно роздільна здатність методик, які використовувались для досліджень була недостатня, щоб розділити ці рівні. ГЦ H_1, H_2 в n -типі, а також H_3, H_5 в матеріалі p -типу провідності були виявлені вперше, параметри останніх ГЦ підтверджуються результатами досліджень з допомогою інших методик.

В табл. I також приведені параметри двох ГЦ - уловлювачів електронів E_1, E_2 і уловлювачів дірок H_1, H_2 , виявлених в ТШ $InSb$. Причому вони значно відрізняються від параметрів ГЦ, сформованих нами в монокристалах $InSb$ n -типу. Крім того параметри ГЦ виж. різні в різних частинах ТШ $InSb$ також відрізняються. Це може бути пояснено механічними напруженнями, які виникають в ТШ $InSb$ внаслідок різниці коефіцієнтів термічного розширення ТШ і сапфірової підкладки і підтверджуються результатами досліджень селективного хімічного травлення і низькотемпературної люмінесценції ТШ $InSb$.

В роботі вивчалась можливість використання ТШ $InSb$ в якості матеріалу для виготовлення на його основі фотоприймачів близької ІЧ частини спектру. Для фоторезисторів різної товщини проводили дослідження спектрального розподілу фотопровідності, спектральної густини шуму, часу життя нерівноважених носіїв, а також залежності від прикладеної до зразка напруги вольт-ватної чутливості, виявляючої здатності і напруги шумів. Експериментально показано, що із зменшенням товщини фотопровідність зразків набуває неселективного характеру і при товщині $d=1$ мкм їх фоточутливість практично зали-

пається сталю в інтервалі 0,4-5,5 мкм. Час життя нерівноважних носіїв струму становить 0,1-5 нс, що є непоганою передумовою їх практичного використання.

Із аналізу типових залежностей спектральної густини шуму від частоти для зразків різної товщини слідує, що в області низьких частот вони описуються законом $f^{-\beta}$, де $\beta=1,02-1,28$. Із зменшенням товщини (з 5 до 1 мкм (на високих частотах) напруга шумів в частоту спадає значно швидше $\beta=2,57$, при цьому вольт-ватна чутливість збільшується від $S=1,3 \cdot 10^5$ В/Вт при $d=11$ мкм до $S=5,2 \cdot 10^4$ В/Вт при $d=1$ мкм, але за рахунок зростання напруги шумів виявляюча здатність зменшується від $D^*=4,3 \cdot 10^9$ см·Гц^{1/2}/Вт при $d=11$ мкм до $D^*=2,8 \cdot 10^8$ см·Гц^{1/2}/Вт при $d=1$ мкм.

Слід відмітити, що в цьому випадку можна збільшити виявляючу здатність шляхом збільшення частоти модуляції падаючого випромінювання. Із зростанням частоти від 200 Гц до 20 кГц напруга шумів зменшується приблизно в 100 разів для зразків товщиною 1 мкм і в 10 разів для зразків товщиною 11 мкм, при цьому в стільки разів збільшується виявляюча здатність.

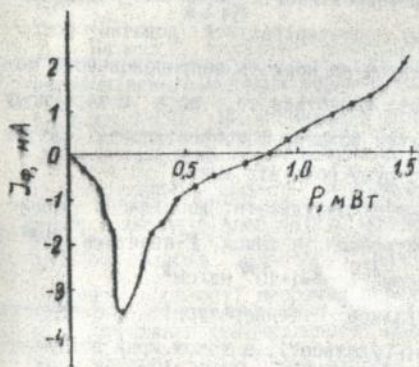
Неселективність спектральної характеристики тонких зразків очевидно можна пояснити слідуючим чином. При товщині зразків $d > 6$ мкм, основна частина короткохвильового випромінювання поглинається в приповерхневому шарі напівпровідника і доля об'єму, в якому генеруються нерівноважні носії, незначна. Для тонких зразків $d \leq 6$ мкм, генерація носіїв відбувається у всьому об'ємі зразка, у зв'язку з цим їх фоточутливість в короткохвильовій частині спектру зростає швидше, ніж в довгохвильовій.

ВАХ зразків розміром приблизно $4 \cdot 40 \times 100$ мкм при температурі рідкого азоту мали S-подібний вигляд. На від'ємній в'єтці виникали розриви, в яких було зафіксовано періодичні коливання амплітудою 0,25-6 В, частотою 3-50 мГц. Після від'ємної ділянки ВАХ були майже вертикальними, що очевидно зв'язано з розширенням шунта струму, який виникає в зразках з S-подібною ВАХ.

Четвертий розділ присвячено вивченню ефекту від'ємної

фотопровідності в монокристалах $CdSb:Te$, а також впливу нейтронного γ -випромінювання на деякі фізичні властивості монокристалів $CdSb$. Як відомо в монокристалах $CdSb:Te$ в області азотних температур спостерігається температурно-електричне нестійкість, яка полягає в різкому збільшенні сили струму при деякому критичному значенні напруги на зразку. Причиною переключення зразка в низькоомний стан являється іонізація донорного рівня Te ($E_d = 0,12$ eВ).

Дальші дослідження даного ефекту показали, що підля стрибка сили струму для невеликих інтенсивностей світлового потоку, фотопровідність зразка стає від'ємною, тобто при освітленні його опір зростає. В той же час при значних інтенсивностях освітлення вона знову буде додатною. Залежність фотоструму від інтенсивності світлового потоку подано на мал.1.



Мал.1. Залежність фото-струму монокристалів $CdSb:Te$ від потужності падаючого на зразок світлового потоку з $\lambda = 2,04$ мкм при $T = 77K$ після переключення в низькоомний стан.

Також проведено дослідження спектрів додатної і від'ємної фотопровідності в різних криогенних рідинах: азоті ($T = 77K$), аргоні ($T = 87K$) і кисні ($T = 90K$), залежність напруги переключення від температури і вплив одновісної пружної деформації до 1000 квз/см² на від'ємну фотопровідність і напругу переключення.

Аналізуючи результати проведених експериментів можна зробити наступні висновки:

1. Червона межа додатної і від'ємної фотопровідності, а також їх відповідні спектри співпадають.

2. Не виявлено оптичного гашення фотопровідності або його аналога при комбінованому зона-зонному і домішковому освітленні.

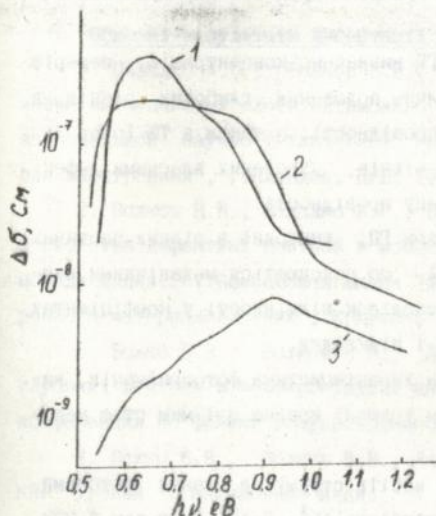
3. Відсутній фотовідгук в домішковій області $\lambda > 3$ мкм, який можна було б зв'язати з глибокими акцепторними рівнями.

4. Додатно і від'ємну фотопровідність можна спостерігати на одному зразку в залежності від інтенсивності освітлення.

Ці факти дозволяють зробити висновок про те, що механізм від'ємної фотопровідності зумовлений взаємодією низькоомного шнура струму з високоомним об'ємом напівпровідника. Частина дірок, що утворюються при освітленні зразка, дифундує в область шнура і рекомбінує з електронами. В результаті концентрація електронів в шнурі зменшується, що приводить до збільшення загального опору зразка. При великих інтенсивностях освітлення процес збільшення провідності об'єму за рахунок фотопровідності переважає над процесом рекомбінації в шнурі і тому спостерігається додатня фотопровідність. Додатковим аргументом на користь запропонованого механізму від'ємної фотопровідності являється те, що в поперечному напрямку ми спостерігаємо тільки додатню фотопровідність, в той час як у напрямку проходження струму вона від'ємна.

В цьому розділі також наведені результати досліджень монокристалів CdSb, опромінені нейтронами, а також γ -квантами Co^{60} дозами, відповідно, $\Phi \approx 1 \cdot 10^{18}$ н/см² і $\Phi \approx 1 \cdot 10^{19}$ кв/см².

Експериментально досліджувались температурні залежності провідності, коефіцієнта Холла, рухливості, а також край поглинання і спектральний розподіл фотопровідності для опромінені і неопроміненого монокристалів CdSb. По результатах дослідження температурних залежностей встановлено, що нейтронне опромінення веде до р-п конверсії типу провідності спеціально недегованих монокристалів CdSb, вводиться донорний рівень з енергетичним положенням $E_c - 0,165$ еВ, яким, очевидно, обумовлена конверсія типу провідності. В монокристалах, опромінені γ -квантами, коефіцієнт Холла змінює знак при $T = 140$ К.



Мал.2. Спектральний розподіл фотопровідності монокристалів CdSb:

- 1 - неопромінений,
- 2 - опромінений γ -квантами,
- 3 - опромінений нейтронами.

На мал.2 показано спектральний розподіл фотопровідності для неопроміненого, а також опромінених γ -квантами і нейтронами монокристалів CdSb. Як випливає з наведених залежностей, опромінення γ -квантами веде до зменшення фоточутливості, розширення і зсуву в короткохвильову область максимуму фотопровідності, а опромінення нейтронами ще більше зміщує максимум фотопровідності в короткохвильову область і одночасно значно зменшує фоточутливість зразків, особливо в області непрямих переходів.

Зменшення фоточутливості монокристалів CdSb може бути обумовлене рекомбінацією через глибокі рівні, які вводяться при опроміненні зразків і врахуванням переходів, які відбуваються між зоною провідності і різними вітками валентної зони.

Основні результати і висновки.

1. Розроблено технологію вирощування монокристалічних тонких плівок арсениду Індію методом направленої кристалізації розплаву:
 - а) встановлено, що ТШ InSb, вирощені по напрямку $\langle 100 \rangle$ в швидкості кристалізації 2,3 мм/год, найбільш структурно досконалі.

б) визначено основні електричні параметри вирощуваного матеріалу.

2. Використовуючи метод НСПЦ визначено концентрацію, переріз захвату носіїв струму і енергетичне положення глибоких рівнів в монокристалах InSb n- і p-типу провідності, а також в ТШ InSb .

3. Проведено ідентифікацію рівнів, утворених власними дефектами для монокристалів n- і p-типу провідності.

4. Встановлено, що параметри ПЦ, виміряні в різних частинах ТШ InSb , відрізняються на 20-30 %, що пояснюється механічними напруженнями, які існують в ТШ InSb внаслідок відмінності у коефіцієнтах термічного розширення матеріалу і підкладки.

5. Показано, що спектральна характеристика фотоприймачів, виготовлених на основі ТШ InSb , при товщині зразка $d \geq 1$ мкм стає неселективною в області 0,4-5,5 мкм.

6. Ча. життя нерівноважних носіїв струму в таких фотоприймачів 5-0,1 нс, вольт-ватна чутливість 10^5 - $5 \cdot 10^4$ В/Вт при $T=77\text{K}$, що робить їх перспективними для використання у волоконно-оптичних лініях зв'язку. Їх виявляюча здатність для $T=300\text{K}$ $D^* = 10^3$ см 2 /Вт і при значно меншій інерційності вони мають перевагу в практичному використанні порівняно з болометрами.

7. На від'ємній бітлі ВАХ резисторів на основі ТШ InSb при $T=77\text{K}$ виявлено періодичні коливання струму амплітудою 0,25-6 В, частотою 3-50 мГц.

8. В монокристалах CdSb:Te при $T=77\text{K}$ виявлено від'ємну фотопровідність, що виникає при невисоких інтенсивностях освітлення після переключення зразка в низькоомний стан.

9. Ефект від'ємної фотопровідності пояснено на основі взаємодії низькоомного каналу струму з високоомним об'ємом монокристала.

10. Нейтронне опромінення монокристалів CdSb приводить до p-n к. ввертї типу провідності монокристалів CdSb і зміщення максимуму фотопровідності в короткохвильову область.

11. При нейтронному опроміненні монокристалів CdSb вводиться дощодний рівень з енергетичним положенням $E_c - 0,165$ еВ.

Основні результати дисертації опубліковані в роботах:

1. Падалко А.Г., Волков В.В., Божко В.В., Санцян В.П. Получение высококачественных слоев антимонида индия на сапфире. - Тезисы национальной научно-технической конференции "Химические продукты для электроники", г.Пловдив, НРБ, 1987, с.131-132.

2. Волков В.В., Падалко А.Г., Божко В.В., Лазарев В.В. Состав и свойства дефектных центров в монокристаллах и тонких слоях антимонида индия. V Всесоюзная школа "Физико-химические основы электронного материаловедения", Иркутск, 1988 г., с.93.

3. Божко В.В., Волков В.В., Лазарев В.В. Некоторые свойства глубоких центров в монокристаллах антимонида индия. XI Всесоюзная конференция по физике полупроводников, Кишинев, 1988г., т.2, с.147.

4. Божко В.В., Волков В.В., Лазарев В.В., Падалко А.Г. Глубокие уровни в антимониде индия. X научная конференция болгарских аспирантов в СССР с международным участием, Москва, 1988 г., с.249.

5. Волков В.В., Падалко А.Г., Божко В.В., Белотелов С.В., Лазарев В.В. Глубокие центры в монокристаллах и тонких слоях антимонида индия. - ФТП, 1989, т.23, в.8, с.1400-1405.

6. Божко В.В., Давидюк Г.Б. Фотоелектричні властивості тонких шарів антимоніду Індію. - Матеріали звітної наукової конференції Луцького державного педагогічного інституту, Луцьк, 1993, с.56.

7. Божко В.В., Давидюк Г.Б. Від'ємна диференціальна провідність тонких шарів InSb. - Матеріали звітної наукової конференції Луцького державного педагогічного інституту, Луцьк, 1993, с.55.

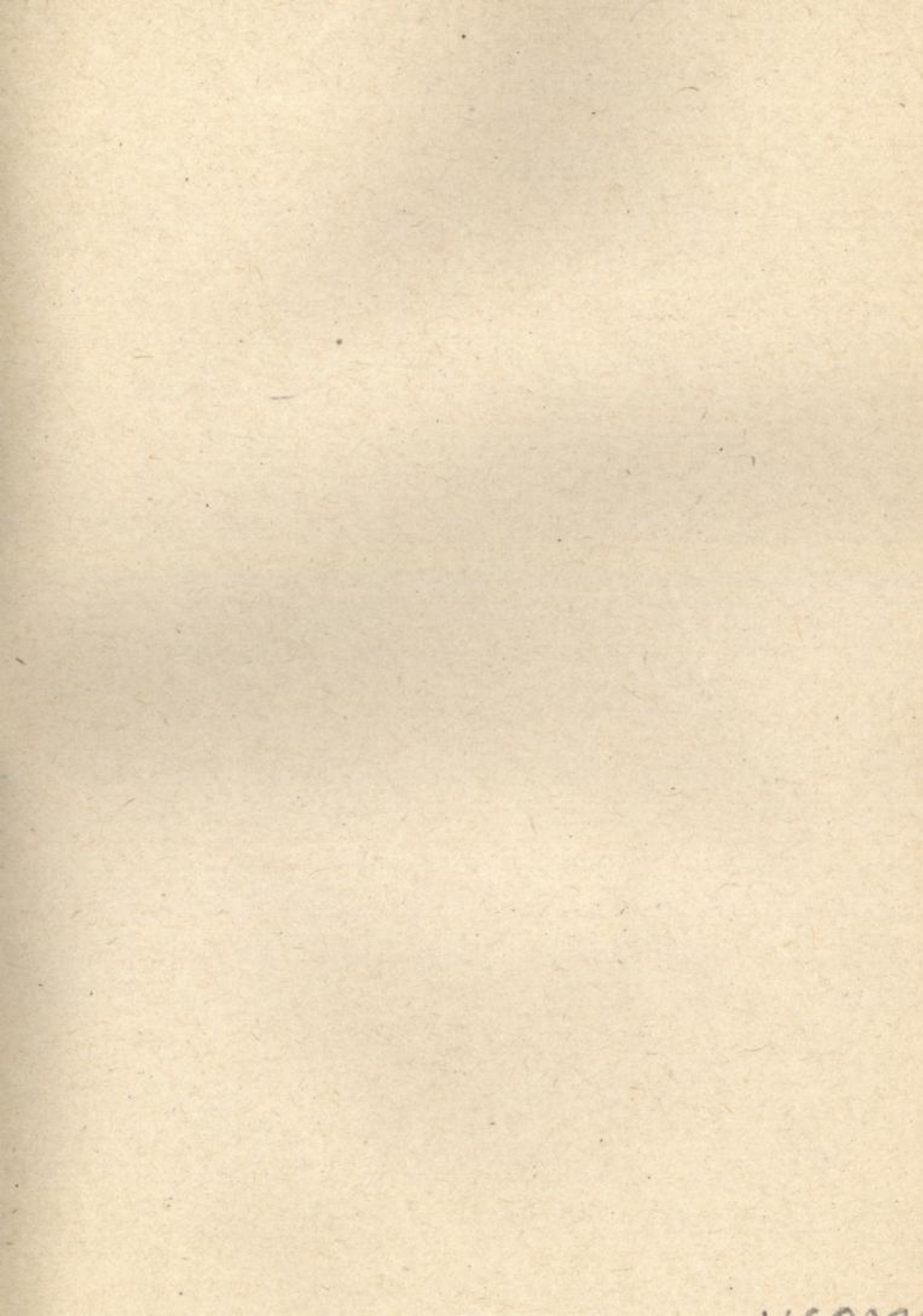
8. Богданюк М.С., Божко В.В., Доскоц В.П., Назарчук П.Ф., Федосов А.В. Особливості вольтамперних характеристик антимоніду кадмію. Наукові нотатки (серія фізико-математична). Луцький індустріальний інститут. Луцьк, 1993, в.1, с.35-36.

9. Богданюк М.С., Божко В.В., Доскоц В.П., Назарчук П.Ф.; Федосов А.В. Дослідження температурно-електричної нестійкості в монокристаллах антимоніду кадмію сильно легованих домішкою Те. Тези

Довідка II Української конференції "Матеріалознавство і фізика напівпровідникових фаз змінного складу". Ніжин, 1993, ч.2, с.205.

10. Богданюк М.С., Божко В.В., Доскош Б.П., Панкевич В.З. Отрицательная фотопроводимость в антимониде кадмия. Деп. в ГНТБ України, 4.03.93, N 1659, Ук.93.

11. Давидюк Г.Е., Божко В.В., Падяко А.Г. Особенности фотопроводимости тонких слоев антимонида индия. Деп. в ГНТБ України, 16.11.93, N 2284, Ук.93.



AB 29.287