

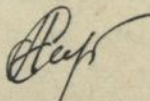
На правах рукопису

Сирота Олексій Володимирович

ГАЛЬВАНОМАГНІТНІ ТА НВЧ ВЛАСТИВОСТІ НЕЛЕГОВАНОГО
АНТИМОНІДУ КАДМІЮ ПРИ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

01.04.07. - фізика твердого тіла

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук





00756852 (X)

А 6 29009

Інститут радіофізики та електроніки АН України

Науковий керівник - кандидат фізико-математичних наук, с.н.с.

Халамейда Дмитро Дмитрович

Офіційні опоненти - Заслужений діяч науки України,

Лауреат Державної премії України,

доктор фізико-математичних наук,

член-кореспондент АН України

Королик Олексій Полікарпович

доктор фізико-математичних наук, професор

Пугачов Анатолій Тарасович

Провідна організація - Інститут фізики напівпровідників АНУ

Захист відбудеться "27" січня 1994р. о 14³⁰ години

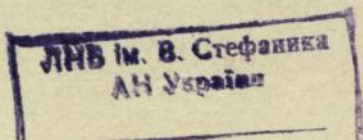
на засіданні спеціалізованої вченої ради К 068. 39. 02 у
Харківському політехнічному інституті /ЗІ0002, Харків-2, МСП,
вул.Фрунзе, 21/.

З дисертацій можна ознайомитися в бібліотеці Харківського
політехнічного інститута.

Автореферат розісланий "23" грудня 1993р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

[Handwritten signature]
Сокол А.О.



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сполука $CdSb$ – представник групи напівпровідників A^2B^5 , які володіють вираженою анізотропією фізичних властивостей. З наукової точки зору інтерес до вивчення анізотропних напівпровідників викликаний можливістю спостереження нових фізичних явищ, відсутніх в ізотропних матеріалах. Рекордне значення анізотропії термо-е.р.с. та висока прозорість в ІЧ діапазоні визначають основні галузі практичного застосування антимоніду кадмія – в ІЧ оптиці і термоелектриці. При низьких температурах $CdSb$ має високу фоточутливість до випромінювання в області довжин хвиль, де існує власне та домішкове поглинання. Виявляючи здатність приймача випромінювання на довжину хвилі 2,0 мкм не поступає відомим приймачам на основі PbS та $InAs^I$. Оцінка граничної чутливості приймача субміліметрового діапазону довжин хвиль /200 та 360 мкм/ для кращих зразків показує, що вона знаходиться на рівні максимальної чутливості приймачів цього діапазону хвиль на основі $n-InSb$ та $n-GaAs^I$. В теперішній час на Україні освоєно виробництво матеріалу в промисловому масштабі та постійно проводяться роботи по удосконалюванню методів його одержання². Розроблена технологія вирощування нелегованого антимоніду кадмію з низькою концентрацією точкових дефектів $\sim 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ та маловустиною дислокацій /менше ніж $5 \cdot 10^2 \text{ см}^{-2}$ /. Відомо, що структурні дефекти у $CdSb$ утворюють акцепторні стани, які визначають дірочний тип провідності при температурах нижче 250 К.

^IЛазарев В.Б., Шевченко В.Я., Гринберг Я.Х., Соболев В.В. Полупроводниковые соединения группы A^2B^5 . -М.: Наука, 1978. -255 с.

²Трицюк Б.Н.// Автореферат диссертации на соиск. уч. ст. кандидата фіз.-мат. наук. - Черновці, 1988. - 16 с.

Більшість досліджень нелегованого антимоніду кадмію проведено на зразках з високою концентрацією структурних дефектів в області температур вище азотної. Проте, уявляє значний інтерес всебічне вивчення структурно досконалого матеріалу. Внаслідок низької концентрації акцепторів, їх енергетичні рівні є локальними дискретними рівнями і домішкова зона не утворюється. Гальваномагнітні вимірювання при низьких температурах в таких зразках дозволяють визначити кількість акцепторних рівнів в забороненій зоні CdSb /в літературі обмірковується питання про існування двох, близько розташованих по енергії, акцепторних рівнів/. Відсутність провідності по домішковій зоні дає можливість коректно визначити енергію іонізації акцепторів та механізми розсіювання вільних дірок. Мала концентрація електрично активних структурних дефектів також спричиняє велику рухливість дірок, що значно полегшує вивчення ефектів, зв'язаних з квантуванням спектра дірок у сильному магнітному полі, з розігрівом дірок у сильному електричному полі, яке у CdSb проведено недосить повно /наприклад, поведінка гарячих дірок у магнітному полі практично не вивчалась/. Яскраво виявлена анізотропія ефективної маси дірок, енергії оптичних фононів робить антимонід кадмію зручним модельним матеріалом для цих досліджень.

Недостатньо вивчено властивості нелегованого антимоніду кадмію у міліметровому діапазоні довжин хвиль. Човністю відсутні відомості про поведінку НВЧ фотопровідності у магнітному полі. Відомо, що такі вимірювання дозволяють вивчати циклотронний резонанс /ЦР/ носіїв струму, який є методом дослідження зонної структури напівпровідників. У CdSb зонна структура має більш складний характер порівнюючи з такими напівпровідниками, як Ge та Si і її параметри до наступного часу надійно не встановлено /наприклад, немає повної ясності в питанні про

значення ефективних мас дірок/. Раніше ЦР дірок в CdSb вивчався іншими авторами у субміліметровому діапазоні довжин хвиль у зразках з більш низькою рухливістю дірок. В цьому діапазоні енергії кванта випромінювання достатньо для іонізації акцепторів. Внаслідок цього, поряд з лінією, зумовленою циклотронним поглинанням, може виявлятися домішкова лінія, що утруднює інтерпретацію результатів дослідження ЦР. На міліметрових хвилях енергія кванта випромінювання на порядок менше енергії іонізації акцепторів і домішкове поглинання не існує. Цроте, для виконання умов спостереження ЦР треба мати високоякісні зразки з великою рухливістю носіїв та гелієві температури.

Ціль дисертаційної роботи:

1. Вивчення акцепторних станів та механізмів розсіювання дірок у спеціально нелегованих зразках CdSb високої структурної досконалості.
2. Визначення впливу квантуючого магнітного поля на кінетичні ефекти в слабких електричних полях.
3. Визначення впливу сильного магнітного поля на систему гарячих дірок.
4. Вивчення циклотронного резонансу у міліметровому діапазоні довжин хвиль.

Наукова новина.

1. Вперше в $p\text{-CdSb}$ експериментально виявлено і проаналізовано ефект магнітного "виморожування".
2. Вперше в нелегованому антимоніді кадмію експериментально зареєстровано і вивчено оригінальні довгочасові релаксації кінетичних коефіцієнтів.

3. Вперше в $p\text{-CdSb}$ експериментально виявлено стрімінг - сильно анізотропний/голкоподібний/ розподіл гарячих дірок в імпульсному просторі.
4. Вперше встановлено, що в CdSb у кінетичних ефектах при гелієвих температурах приймають участь декілька типів дірок у валентній зоні.
5. Вперше вивчена поведінка НВЧ фотопровідності в нелегованому антимоніду кадмію у магнітному полі. Встановлено, що фотопровідність в міліметровому діапазоні довжин хвиль при гелієвих температурах зумовлена розігрівом дірок валентної зони. Методом фотопровідності вивчено циклотронний резонанс дірок. Виявлена та вивчена трансформація лінії ЦР при збільшенні постійного електричного струму, що протікає через зразок.

Наукова та практична цінність роботи.

Одержані в дисертаційній роботі результати поглиблюють знання про CdSb , тому що визначено такі параметри, як енергія іонізації акцепторів, циклотронні ефективні маси дірок, концентрація легких дірок при 4,2 К, зроблена оцінка енергії оптичних фононів. Проведені дослідження уявляють також й загальнофізичний інтерес. Виявлений ефект магнітного "виморожування" зумовлений зміною спектра дірок у сильному квантуємому магнітному полі. Теорія³ не тільки підтверджена експериментально, але й розвинута для випадку частково компенсованих напівпровідників. Збільшення енергетичного зазору між валентною зоною та акцепторним рівнем за допомогою магнітного поля може бути застосовано для створення на основі нелегованого антимоніду кадмію приймача випромінювання субміліметрового діапазону довжин хвиль, перебу-

³Клингер М.И., Вороник П.И.// ЖЭТФ.-1957. -33, № 1/7/.-С.77-87.

довуемого по частоті. У міліметровому діапазоні CdSb може використовуватися як циклотронний приймач випромінювання.

У CdSb в сильних електричних полях виявлено сильно анізотропний розподіл гарячих дірок в імпульсному просторі /стрімінг/. Інтерес до такого розподілу зумовлений великим спектром фізичних явищ, виникаючих в умовах стрімінгу /інверсія населеності у системі гарячих носіїв, динамічна від'ємна диференціальна провідність, різного роду нестійкості струму/, які застосовуються для створення генераторів міліметрового та субміліметрового діапазону хвиль.

Положення, що виносяться на захист.

1. Різкий спад дисипативного струму у критичному магнітному полі H^* у деякому інтервалі електричних полей $\vec{E} \perp \vec{H}$ в нелегованому антимоніді кадмію при гелієвих температурах зумовлений перебудовуванням при $H = H^*$ функції розподілу гарячих дірок в імпульсному просторі.
2. У CdSb в кінетичних ефектах при гелієвих температурах приймають участь декілька типів дірок валентної зони.
3. Збільшення коефіцієнту Холла та експоненційне зменшення електропровідності у магнітному полі $m^*T/e\hbar < H < m^* \mathcal{E}_A/e\hbar^*$ в спеціально нелегованих зразках CdSb зумовлено зменшенням концентрації дірок у валентній зоні, викликане збільшенням енергетичного зазору між акцепторним рівнем та валентною зоною внаслідок зміни спектра дірок в квантуючих магнітних полях /ефект магнітного "виморожування"/.
4. Трансформація лінії циклотронного резонансу дірок, що

* m - циклотронна ефективна маса, T - температура в енергетичних одиницях, \mathcal{E}_A - енергія іонізації акцепторів, e - заряд електрону, c - швидкість світла, \hbar - постійна Планка.

рееструється у CdSb в міліметровому діапазоні довжин хвиль по зміні статичної електропровідності при 4,2 К, з мінімуму у максимум викликана зміною відношення рухливостей або концентрацій двох типів дірок, а з максимуму в мінімум - зміною механізму розсіювання /з іонізованих домішок на акустичні фонони/ при збільшенні постійного електричного струму, що протікає через зразок.

Структура та об'єм дисертації.

Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, закінчення і списку літератури. Дисертація містить 80 сторінок основного тексту, 33 сторінки малюнків і таблиць, список літератури з 108 найменувань на 11 сторінках. Цивний об'єм дисертації складає 124 сторінки.

Апробація результатів.

Основні результати доповідались й обмірковувались на наукових семінарах ІРЕ АН України /1987-1992/, УІ та УІІ Всесоюзних координаційних нарадах "Матеріалознавства напівпровідникових сполучень групи A^2B^5 " /Вороніж, 1987 і Чернівці, 1990/, обласній науковій конференції молодих вчених та спеціалістів /Харків, 1989/, УІ Всесоюзному симпозиумі "Плазма і нестійкості в напівпровідниках" /Паланга, 1989/, Українському симпозиумі "Фізика і техніка міліметрових та субміліметрових радіохвиль" /Харків, 1991/.

Публікації.

Матеріали дисертації опубліковано у друкованих роботах /1-12/.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність теми, вказано ціль та

структуру роботи, коротко викладено зміст дисертації. Сформульовано основні результати та положення, що виносяться на захист.

Перший розділ має оглядний характер. Надано відомості про зонну структуру й гальваномагнітні властивості нелегованого антимоніду кадмію. Розглянуто ефект магнітного "виморожування" носіїв, теорія гальваномагнітних явищ у сильних електричних полях в умовах непружного розсіювання та особливості спостереження циклотронного резонансу по зміні статичної провідності. Описано виготовлення зразків і методики дослідження коефіцієнту Холла, провідності, опору в інтервалі температур 4,2-160 К, магнітних полей 0-50 кЕ, електричних полей 0-1000 В/см. Вимірювання в сильних електричних полях проводились за імпульсною методикою. Фотопровідність вивчалась за методикою синхронного детектування у міліметровому діапазоні довжин хвиль 2,2-2,5 мм при 1,8-4,2 К у магнітних полях 0-50 кЕ. Показано блок-схеми експериментальних установок.

Другий розділ присвячений дослідженню гальваномагнітних явищ у нелегованому антимоніду кадмію високої структурної досконалості в слабких електричних полях. Встановлено, що провідність по домішковій акцепторній зоні в досліджених зразках CdSb при орієнтації електричного струму вздовж кристалографічного напрямку $[100]$ не спостерігається аж до гелієвої температури. З аналізу температурної залежності коефіцієнту Холла та електропровідності визначена енергія іонізації мілкої акцепторної рівня, зумовленого електрично активними точковими дефектами $\mathcal{E}_{A1} = 4,0 - 4,5$ меВ. Експериментально підтверджено існування в забороненій зоні спеціально нелегованого антимоніду кадмію другого акцепторного рівня з енергією іонізації $\mathcal{E}_{A2} > 4,5$ меВ. Встановлено, що сумарна концентрація акцепто-

рів, компенсованих донорами $N_{A1} + N_{A2} - N_D$ приблизно в 2 рази перебільшує концентрацію акцепторів, які утворюють мілкий рівень $N_{A1} - N_D$, що підтверджує модель акцепторного центра, як двухзонної вакансії кадмія.

На температурній залежності коефіцієнту Холла в діапазоні 20-100 К має місце перегин, зв'язаний з послідовною іонізацією двох акцепторних рівнів.

Встановлено, що в інтервалі 4,2-7,7 К імпульс дірок розсіюється на нейтральних та іонізованих домішках. Рухливість μ в цьому інтервалі T зростає з підвищенням температури, досягаючи рекордного значення $5,9 \cdot 10^4$ см²/В с. Надалі, з підвищенням температури від 7,7 К до 100 К, відбувається зміна механізму розсіювання й переважним стає розсіювання на акустичних фононах. В області 20-100 К $\mu \sim T^{-1,60}$.

Виявлено оригінальні довгочасові релаксації провідності і коефіцієнту Холла, які спостерігаються при 4,2 К в умовах "підсвічування" зразка фоновим ІЧ випромінюванням. Показано, що на параметри релаксацій впливає термоцикування зразка від гелієвої до кімнатної температури.

Виявлено ефект магнітного "виморожування" - зменшення концентрації вільних дірок при збільшенні магнітного поля. З'ясовано, що причиною зменшення концентрації дірок є зміна енергетичного спектру в сильних магнітних полях, коли виконуються умови квантування руха носіїв струму $\mu H > I$ і $\hbar\omega > kT$. Проведено аналіз ефекта в моделі енергетичного спектру в квантуючих магнітних полях⁴, в якій вершина валентної зони, котра є нижчим рівнем Ландау, піднята вгору по енергетичній шкалі для дірок

⁴Аскеров Б.М. Электронные явления переноса в полупроводниках. - М.: Наука, 1985. -317 с.

відносно положення при $H = 0$ на величину $\frac{1}{2}\hbar\omega$ і розщеплена на два підрівня $\pm \mu_0 H$. Акцепторний рівень також розщеплений на два підрівня $\mathcal{E}_A \pm \mu_0 H / \mu_0$ - магнетон Бора/. Теоретично розглянута залежність концентрації дірок від магнітного поля у невиродженому акцепторному напівпровіднику, частково компенсованому донорами. У випадку квантової межі, коли усі дірки знаходяться на нижчому рівні Ландау ця залежність має вигляд:

$$p = \frac{2(N_A - N_D)}{1 + \frac{\beta N_A kT}{N_V \hbar \omega} e^{\frac{\mathcal{E}_A + 1/2 \hbar \omega}{kT}} + \sqrt{\left(1 + \frac{\beta N_A kT}{N_V \hbar \omega} e^{\frac{\mathcal{E}_A + 1/2 \hbar \omega}{kT}}\right)^2 + 4 \frac{\beta (N_A - N_D) kT}{N_V \hbar \omega} e^{\frac{\mathcal{E}_A + 1/2 \hbar \omega}{kT}}}}$$

$$N_V = 2 \left(\frac{2\pi m^* kT}{h^2} \right)^{3/2} \quad \omega = \frac{eH}{mC}$$

$\beta > 1$ - фактор спінового виродження акцепторів, m^* - ефективна маса густини станів, m - циклотронна ефективна маса дірок, N_A, N_D - концентрації акцепторів і донорів, \mathcal{E}_A - енергія іонізації акцепторів. При достатньо низьких температурах, коли виконуються умови:

$$\frac{\beta N_A kT}{N_V \hbar \omega} e^{\frac{\mathcal{E}_A + 1/2 \hbar \omega}{kT}} \gg 1, \left(\frac{\beta N_A kT}{N_V \hbar \omega} e^{\frac{\mathcal{E}_A + 1/2 \hbar \omega}{kT}} \right)^2 \gg 4 \frac{\beta (N_A - N_D) kT}{N_V \hbar \omega} e^{\frac{\mathcal{E}_A + 1/2 \hbar \omega}{kT}}$$

температурний та магнітопольовий хід концентрації описується приблизною залежністю:

$$p \approx N_V \frac{(N_A - N_D) \hbar \omega}{\beta N_A kT} e^{-\frac{\mathcal{E}_A + 1/2 \hbar \omega}{kT}}$$

На відміну від результату роботи ³ $p \sim (\hbar\omega/kT)^{1/2} \cdot \exp(-\hbar\omega/4kT)$,

одержаного у припущенні повної відсутності компенсації домішок /для акцепторного напівпровідника $N_D = 0$ /, вираз /3/ дає залежність $\rho \sim (\hbar\omega/kT) \cdot \exp(-\hbar\omega/2kT)$.

Проведено експериментальне вивчення магнітопольових залежностей провідності σ і коефіцієнту Холла R в полях до 50 кЕ при 4,2 К в зразках нелегованого антимоніду кадмію з концентрацією компенсованих акцепторів $N_A - N_D = 1,36 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ і густиною дислокацій $< 500 \text{ см}^{-2}$. Виявлено збільшення R , починаючи з 8 кЕ, і експоненційний характер $\sigma(H)$. По нахилу прямолінійних ділянок залежності $\ln \sigma(H)$ зроблено оцінки циклотронних ефективних мас дірок. Одержанні значення m узгоджуються з величинами, які визначено методом циклотронного резонансу.

Вивчено природне старіння CdSb протягом трьох років на повітрі при кімнатній температурі. З'ясовано, що з пливом часу в нелегованому антимоніді кадмію з низькою концентрацією структурних дефектів відбувається збільшення кількості акцепторних центрів переважно поблизу поверхні зразка. Цей процес спричиняє появу домішкової акцепторної зони та провідності по ній при низьких температурах. Внаслідок старіння зразків змінюється характер магнітопольових та температурних залежностей електропровідності й коефіцієнту Холла, на яких з'являються характерні ознаки провідності по домішковій зоні, відсутні у вихідних зразках.

Третій розділ присвячений гальваномагнітним властивостям нелегованого антимоніду кадмію у сильних схрещених електричному $/E/$ та магнітному $/H/$ полях. Вперше в анізотропному напівпровіднику виявлено стрімінг гарячих носіїв. Експериментально вивчено гаусс-амперні характеристики ГАХ дисипативного струму i (струм вздовж прикладеного електричного поля, що вимірюється при закорочених холловських контактах) у полях до

I кВ/см при гелієвій температурі*. Виявлено інтервал електричних полів $E^- \leq E \leq E^+$, у якому дірки роблять періодичний рух в імпульсному просторі вздовж напрямку \vec{E} внаслідок непружного розсіювання на оптичних фонах і мають сильно анізотропний /голкоподібний/ розподіл по імпульсам /стрімінг/. У критичному магнітному полі H^* відбувається перебудовування розподілу, в результаті чого на ГАХ спостерігається зміна характеру залежності $I(H)$: замість монотонно зменшувчої залежності при $E < E^-$, зумовленої магнітоопіром зразка, в полях $E \geq E^-$ і $H = H^*$ реєструється різкий спад дисипативного струму. В полях $E > E^+$ зникає стрімінг і, відповідно, різкий спад $I(H)$. Визначено поля E^- та E^+ для трьох орієнтацій $\vec{E} // [100], [010], [001]$.

	$E^-, \text{В/см}$	$E^+, \text{В/см}$
$\vec{E} // [100]$	25 + 200	≥ 1000
$\vec{E} // [010]$	25 + 75	250 + 500
$\vec{E} // [001]$	50 + 150	> 410

Згідно з теорією ефекта, критичне магнітне поле H^* лінійно залежить від електричного поля E , а коефіцієнт пропорційності визначається ефективною масою носіїв та енергією оптичного фонуна. Показано, що анізотропія ефективної маси дірок в CdSb зумовлює різний нахил лінійних залежностей $H^*(E)$, які вимірено в орієнтаціях електричного поля $\vec{E} // [100], [010], [001]$. По нахилу $H^*(E)$ проведена оцінка енергії оптичного фонуна $\mathcal{E}_0 = 1 + 3 \text{ меВ}$. Коли $\vec{E} // [100]$ нахил $H^*(E)$ з ростом

* Експерименти в сильному електричному полі проведено на зразках нелегованого антимоніду кадмія, в яких холловська рухливість дірок при 4,2 К в слабкому електричному полі, орієнтованому вздовж $[100]$, має значення $1,4 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.

електричного поля змінюється, що пов'язується з складним характером енергетичного спектру дірок або фононів.

На ГЛХ, що вимірена в орієнтації $\vec{E} // [001]$, зареєстровано виявлення легких дірок: спостерігається додатковий спад дисипативного струму у слабких магнітних полях. Положення у магнітному полі та величина спаду, відповідного легким діркам, визначаються їх ефективною масою та концентрацією. Зроблена оцінка відносної концентрації легких дірок, яка складає менше 5% від концентрації важких дірок.

У четвертому розділі наводяться результати дослідження циклотронного резонансу дірок у CdSb у міліметровому діапазоні довжин хвиль, що реєструється по зміні статичної провідності /методом фотопровідності/. Встановлено, що НВЧ фотопровідність $\sigma_{\text{ф}}$ зумовлена зміною рухливості дірок у валентній зоні при поглинанні випромінювання μ - фотопровідність/. У магнітному полі має місце циклотронно-резонансне поглинання, яке зумовлює піки на залежності сигналу фотопровідності від магнітного поля H . Проведено експериментальне дослідження $\sigma_{\text{ф}}$ в полях до 50 кЕ для трьох орієнтацій $\vec{H} // [100], [010], [001]$. Виявлено резонансні піки, які раніше іншими авторами не спостерігалися. З'ясовано, що в CdSb при гелієвій температурі існує чотири типи дірок у валентній зоні. Визначено циклотронні ефективні маси дірок.

Виявлено, що в результаті зміни співвідношення рухливостей або концентрацій двох типів дірок при збільшенні постійного струму, що протікає через зразок, відбувається трансформація одного з піків ЦР: мінімум при малому струмі перетворюється у максимум. При збільшенні струму надалі, в області його великих значень, утворюється зміна механізму розсіювання /з іонізованих домішок на акустичні фонони/, що спричиняє другу трансформацію

піка ЦР. Максимум трансформується у мінімум.

В закінченні сформульовано основні результати роботи.

1. Вивчено акцепторні стани в нелегованому антимоніді кадмію, зумовлені структурними дефектами. Визначені їх концентрація та енергія іонізації. Експериментально підтверджено існування в забороненій зоні двох акцепторних рівнів.

2. Виявлено оригінальні довгочасові релаксації електропровідності і коефіцієнту Холла у зразках $CdSb$, розміщених в умовах "підсвічування" фоновим ІЧ випромінюванням при гелієвій температурі.

3. Виявлено ефект магнітного "виморожування" дірок на акцептори. Проведено теоретичний аналіз і показано, що ефект зумовлений зміною спектра дірок у квантуючих магнітних полях.

4. Вивчена зміна гальваномагнітних властивостей нелегованого антимоніду кадмію внаслідок природного старіння протягом трьох років при кімнатній температурі. З'ясовано, що часова нестабільність пов'язана з збільшенням концентрації акцепторних центрів переважно поблизу поверхні зразка.

5. За допомогою дослідження ваусс-амперних залежностей дисипативного струму у сильних електричних полях у $CdSb$ виявлено та експериментально вивчено з врахуванням анізотропії матеріалу стрімінг гарячих дірок.

6. Проведено дослідження НВЧ фотопровідності у магнітному полі при гелієвих температурах. Встановлено, що природа фотопровідності у спеціально нелегованому антимоніді кадмію з низькою концентрацією акцепторних центрів зумовлена розігрівом дірок у валентній зоні НВЧ випромінюванням / μ - фотопровідність/.

7. Методом фотопровідності вивчено циклотронний резонанс дірок у міліметровому діапазоні довжин хвиль. Встановлена наяв-

ність декількох типів дірок у валентній зоні при гелієвих температурах.

8. Виявлена подвійна трансформація лінії циклотронного резонансу при збільшенні постійного електричного струму, що протікає через зразок. Мінімум при малому струмі трансформується у максимум, а потім, при великому струмі, назад у мінімум. Встановлено, що трансформація в області малого струму пов'язана зі зміною відношення рухливостей або концентрацій двох типів дірок. Трансформація в області великого струму відбувається внаслідок зміни механізму розсіювання дірок. При збільшенні струму розсіювання на іонізованих домішках змінюється розсіюванням на акустичних фононах.

Публікації. Основні результати дисертації опубліковано в роботах:

1. Грицик Б.Н., Золотухина В.В., Сирота А.В., Халамейда Д.Д. Электрофизические свойства монокристаллов р-CdSb высокого структурного совершенства// Материаловедение полупроводниковых соединений A^2B^5 : Тез. докл. УП Всесоюз. координац. совещания, Воронеж, 1967, - С.85.

2. Герасименко В.А., Грицик Б.Н., Сирота А.В., Халамейда Д.Д. Оптические и СВЧ эффекты в монокристаллах р-CdSb// Материаловедение полупроводниковых соединений A^2B^5 : Тез. докл. УП Всесоюз. координац. совещания, Воронеж, 1967, - С.42.

3. Грицик Б.Н., Сирота А.В., Халамейда Д.Д. Оптические и СВЧ свойства монокристаллов CdSb высокого структурного совершенства// Твердотельная электроника миллиметровых и субмиллиметровых волн. Харьков: Ин-т радиопизики и электроники. - 1966. - С. 136-142,

4. Сирота А.В., Халамейда Д.Д. Гаусс-амперные зависимости диссипативного тока в антимониде кадмия р-типа.// Областная

науч. конференция молод. ученых и специалистов. Харьков, 1988.

- С. 44.

5. Грицик Б.Н., Раренко И.М., Сирота А.В., Халамейда Д.Д. Гаусс-амперные зависимости диссипативного тока в р-CdSb // Плазма и неустойчивости в полупроводниках: Тез. докл. УП Всесоюзн. симпозиума, Цаланга, 1989. Часть 2. - С.265.

6. Герасименко В.А., Грицик Б.Н., Сирота А.В., Халамейда Д.Д. Долговременные релаксации сопротивления образцов р-CdSb под воздействием ИК излучения // Материаловедение полупроводниковых соединений группы A^2B^5 : Тез. докл. УШ Всесоюзн. координац. совещания, Черновцы, 1990. - С. 49

7. Сирота А.В. Халамейда Д.Д. Фотопроводимость в CdSb в миллиметровом диапазоне при низких температурах // Физика и техника миллиметровых и субмиллиметровых радиоволн: Тез. докл. Украинского симпозиума, Харьков, 1990, Часть I. - С.82.

8. Раренко И.М., Сирота А.В., Халамейда Д.Д. Влияние естественного старения на гальваномангнитные свойства нелегированных образцов CdSb // Материаловедение полупроводниковых соединений A^2B^5 : Тез. докл. УШ Всесоюзн. координац. совещания, Черновцы, 1990, - С.50.

9. Грицик Б.Н., Сирота А.В., Халамейда Д.Д. Долговременные релаксации проводимости в нелегированном антимолиде кадмия // ФТП. - 1991. /-25, № 12, - С.2135-2140.

10. Раренко А.И., Сирота А.В., Халамейда Д.Д. Исследование циклотронного резонанса дырок в CdSb по изменению статической проводимости // Применение радиоволн миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов. - Харьков: Ин-т радиофизики и электроники. - 1992. - С.74-80.

11. Раренко А.И., Сирота А.В., Халамейда Д.Д. Инверсия линии циклотронного резонанса дырок в CdSb, наблюдаемого по изме-

нении статической проводимости// ФТП, - 1993. -27. № 5. - С.851-853.

12. Грицк Б.Н., Раренко А.И., Сирота А.В., Халамейда Д.Д.
Изменение гальваномагнитных свойств нелегированного антимонида кадмия при естественном старении// ФТП. - 1993. -27. № 9. -
- С. 1541-1544.

Наукове видання

Сирота Олексій Володимирович

ГАЛЬВАНМАГНІТНІ ТА НВЧ ВЛАСТИВОСТІ НЕЛЕГОВАНОГО
АНТИМОНІДУ КАДМІЮ ПРИ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Підп. до друку 09.12.93р. Формат 60 X 84/16.
Папір офс. Умовн.-друк.арк. 1,0. Тираж 100 прим.
Замовл. І34. Безкоштовно.

Ротапринт ІРЕ АН України
Харків-85, вул. Ак. Проскури, 12.

AB 29.009