

На правах рукопису

Д Е М К І В
Тарас Михайлович

РОЗПОРЯДКУВАННЯ
ТА ЕЛЕКТРОННІ ВЛАСТИВОСТІ
КРИСТАЛІВ In_4Se_3

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

Робота виконана на кафедрі фізики напівпровідників Львівського державного університету імені Івана Франка.

Наукові керівники: доктор фізико-математичних наук, професор **Стасіра Йосип Михайлович**;

кандидат фізико-математичних наук, доцент **Савчин Володимир Павлович**.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук, професор **Ковалюк Захар Дмитрович**;

кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник **Балицький Олександр Іванович**.

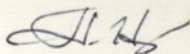
Провідна організація: Інститут фізики АН України.

Захист дисертації відбудеться « **3** » **БЕРЕЗНЯ** . . . 1994 р.
о **15¹⁵** год. на засіданні Спеціалізованої ради Д.068.26.05 при Львівському державному університеті ім. Івана Франка (290005, м. Львів, вул. Кирила і Мефодія, 8а, Велика фізична аудиторія).

З дисертацією можна ознайомитись в науковій бібліотеці Львівського держуніверситету (м. Львів, вул. Драгоманова, 5).

Автореферат розісланий « **1** » **ЛЮТОГО** . . . 1994 року.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
ДОКТОР Ф.-М. НАУК,
ПРОФЕСОР



А. Є. НОСЕНКО

ЛННБ України ім. В. Стефаника



00801517 (M)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Досягнення в області напівпровідникової електроніки стимулювали прискорений розвиток фізики низькорозмірних систем. Успіхом було створення штучних надструктур, період яких коливається від одного до десяти нанометрів.

Низькорозмірні системи утворюються також природнім шляхом, якщо зв'язки між атомами в межах кожного шару є набагато сильніші, ніж між шарами. У цьому плані все більшу увагу привертають шаруваті кристали. Неспівмірність сил взаємодії атомів у шарі та між шарами приводить до відносної замкнутості шару, який внаслідок цього може бути розглянутий як деяка стійка структурна одиниця. Нелінійні коливання шарів створюють умови для виникнення природньої надструктури і впливають на електронні властивості кристалів. Легування таких систем в сукупності з інтеркалюванням відкривають широкі можливості для моделювання властивостей низькорозмірних структур і розв'язання багатьох прикладних задач матеріалознавства. Увага до питань електронних явищ у шаруватих напівпровідниках ініційована у даний час прикладними аспектами таких задач. Так, наприклад, на основі інтеркальованих шаруватих кристалів розроблені фізичні принципи створення надмініатюрних перетворювачів та накопичувачів енергії, акумуляторів великої ємності.

Поряд з успіхами, які досягнуті в розумінні фізичної природи та теоретичного опису багатьох процесів, що протікають у шаруватих напівпровідникових кристалах, існує ряд проблем, далеких від завершення. Однією з першочергових є необхідність пошуку способів

контрольованого керування фізичними процесами в таких матеріалах. Це особливо актуально щодо електронних явищ переносу в шаруватих напівпровідниках, які становлять практичний інтерес.

Робота присвячена вивченню електрофізичних властивостей спеціально нелегованих та інтеркальованих міддю кристалів субселеніду індію In_4Se_3 , обумовлених особливостями їхньої будови. Субселенід індію серед інших шаруватих напівпровідникових кристалів виділяється масивними шарами із вираженими індивідуальними властивостями. Значна мікротвердість In_4Se_3 дозволяє застосовувати одноісний стиск як спосіб впорядкування кристалу. Присутність у матриці кристалу різної концентрації міді розглядалась, у першу чергу, як спосіб трьохмеризації In_4Se_3 .

Метов роботи було вивчення ролі шаруватості в електронних властивостях In_4Se_3 .

Для досягнення цієї мети розв'язувались такі завдання:

- отримання нелегованих та з домішками міді кристалів In_4Se_3 . Їх термообробка;
- дослідження складу та структури легованих міддю кристалів In_4Se_3 методами диференціально-термічного, рентгеноструктурного та мікрорентгенівського аналізу;
- дослідження анізотропії електропровідності, фотопровідності ефекта Холла у кристалах In_4Se_3 з використанням статичного одноісного стиску;
- дослідження спектрів пропускання спеціально нелегованих та інтеркальованих міддю In_4Se_3 методом інфрачервоної спектроскопії;
- встановлення кореляції між електронними та структурними власти-

востями кристалів In_4Se_3 .

Об'єкти та методи досліджень. Об'єктами досліджень були спеціально нелеговані та інтеркальовані міжкристиали In_4Se_3 .

У роботі застосовувався комплекс експериментальних методик: диференціально-термічний, рентгеноструктурний та мікрорентгенівський аналізи, вимірювання спектрів поглинання, фото-, електропровідності та коефіцієнта Холла у постійних та змінних електричних полях. Вимірювання статичної фото- та електропровідності проводились з використанням одновісного стиску нормально до шарів. Експериментальні результати піддавались обробці на ЕОМ за спеціально складеними програмами.

Наукова новизна.

Вперше отримано інтеркальовані міжкристиали In_4Se_3 методом Чохральського. Встановлено параметри кристалічної ґратки, оптичну та термічну ширину забороненої зони цих матеріалів.

Вперше виявлено, що в нелегованих та інтеркальованих міжкристиалах In_4Se_3 при азотних температурах домінуючим є стрічковий механізм перенесення заряду по локалізованих станах, згрупованих по енергії в околі рівня Фермі.

Вперше встановлено, що у шаруватому кристалі In_4Se_3 співіснують локалізовані стани домішкової природи та квазілокалізовані стани, природа яких пов'язана з сильною взаємодією ангармонізму у коливному русі шарів та електронної підсистеми кристалу. Показано, що квазілокалізовані стани виступають в ролі центрів прилипання.

На основі результатів експериментальних досліджень запропонована модель енергетичного розподілу густини локалізованих станів

у забороненій зоні In_4Se_3 .

Практична цінність полягає у можливості застосування результатів досліджень механічного (одновісний стиск) та хімічного (інтеркалювання) впливів на електронні властивості кристалів In_4Se_3 при створенні елементів пристроїв, що працюють на використанні шаруватості та управління її ступінню вказаними зовнішніми впливами.

Практичну цінність мають спосіб інтеркалювання між шаруватого кристала In_4Se_3 при вирощуванні методом Чохральського з послідовним термічним відпалом; спосіб зміни міжшарової віддалі та ширини забороненої зони у кристалах In_4Se_3 , що базується на результатах вивчення кристалічної структури та спектрів краю поглинання інтеркальованих між кристалів In_4Se_3 .

На захист вносяться наступні наукові положення та результати досліджень:

1. Інтеркальовані між кристали In_4Se_3 можна отримати методом Чохральського із попередньо гомогенізованого злитку складу $\text{In}_4\text{Se}_3 + 10 \text{ ат.}\% \text{In} + x \text{ ат.}\% \text{Cu}$ ($x = 0-3 \text{ ат.}\%$) з наступним термічним відпалом тривалістю 200 год. при температурі 500К.
2. У кристалах In_4Se_3 при температурах нижче 160-180 К реалізується стрибова провідність по локалізованих станах, згрупованих по енергії в околі рівня Фермі.
3. У In_4Se_3 існують локалізовані стани домішкової природи та квазілокалізовані стани, обумовлені динамічно розпорядкованим станом шаруватого кристала.
4. Впорядкування кристалів In_4Se_3 одновісним стиском нормально до шарів або їх інтеркалювання веде до зменшення концентрації ква-

зілокалізованих станів.

Апробація роботи. Основні результати, викладені в дисертації, доповідались і обговорювались на: III-й конференції молодих учених фізичного факультету Львівського держуніверситету (березень 1988 р.), на II-й Всесоюзній школі-семінарі по фізиці та хімії аморфних та кристалічних структур (Харків, 1988 р.), на регіональній конференції молодих учених "Фізика конденсованого стану" (Львів, 1990 р.), на III-й Всесоюзній науково-технічній конференції "Матеріалознавство халькогенідних напівпровідників" (Чернівці, 1991 р.), на I-й міжнародній школі-семінарі молодих науковців (Алушта, 1992 р.), міжнародній конференції "Фізика в Україні" (Київ, 1993 р.).

Публікації та вклад автора. Основні результати дисертації опубліковані в семи наукових роботах. В цих роботах автору належать результати та висновки, опубліковані в дисертації та авторефераті.

Об'єм роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів з висновками, закінчення, викладена на 170 сторінках машинописного тексту, містить 37 рисунків та 9 таблиць. Бібліографія включає 160 найменувань вітчизняних та зарубіжних цитованих джерел.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність роботи, сформульовані її мета та практична цінність, викладено структуру дисертації і короткий зміст по розділах.

У першому розділі проаналізовані роботи, присвячені теоретичному дослідженню фононного та електронного спектрів у шаруватих кристалах. Окреслено ряд особливостей, які можуть бути обумовлені наявністю у шаруватих кристалах суттєво різних типів хімічного зв'язку. Розглянута модель шаруватого кристала як динамічно розпорядкованої системи.

Розглянуто механізми перенесення заряду по локалізованих станах із змінюю довжиною стрибка в околі рівня Фермі у шаруватих напівпровідниках групи A^3B^6 .

Проаналізовані літературні дані по вивченню електронних і механічних властивостей кристалів In_4Se_3 . Окремо виділені експериментальні факти, які можуть бути спричинені шаруватим структурою матеріалу. Зокрема проаналізовано вплив одновісного (нормально до шарів) та гідростатичного стиску на структурну досконалість та електронні властивості монокристалів In_4Se_3 .

Обговорені дискусійні та невирішені питання, сформульовані задачі дослідження.

У другому розділі описані спосіб та умови отримання і приведені результати дослідження структури та складу нелегованих та інтеркальованих міжле кристалів In_4Se_3 , отриманих методами рентгеноспектрального, мікрорентгенівського та диференціально-терміч-

ного аналізу.

Кристали субселеніду Індію отримувались методом Чохральського із розплав-розчину при температурі 870 К. Розчинником служив індію. Напівпровідники, вирощені із попередньо гомогенізованого злитку складу $\text{In}_4\text{Se}_3 + 10 \text{ ат.}\% \text{In} + x \text{ ат.}\% \text{Cu}$ ($x = 0-3,5 \text{ ат.}\%$) з наступним термічним відпаком (200 год., 500К) є кристалами з чітко вираженою шаруватістю.

Рентгеноструктурними дослідженнями встановлено, що просторова група та структура легованих міддю кристалів відповідає In_4Se_3 . Параметер елементарної комірки, що відповідає напрямку, нормальному до шарів, лінійно зростає зі збільшенням концентрації міді з коефіцієнтом $7 \cdot 10^{-2} \text{ \AA/ат.}\%$. Ідентифіковано спектральні лінії, що відповідають атомарній міді при її вмісті у In_4Se_3 більше 3,5 ат.%. При цьому матеріал втрачає досконалість і стає полікристалічним з одночасною появою фази InSe .

Методом мікрорентгенівського аналізу встановлено, що кількість міді у кристалі In_4Se_3 та розплав In-Se однаковий, що свідчить про близькі коефіцієнти розчинності останньої у розплаві та кристалі.

Диференціально-термічний аналіз показав однофазність In_4Se_3 при концентрації міді до 3,5 ат.%. .

Довгохвильовий край поглинання In_4Se_3 характеризується значною крутизою і формується прямими зона-зонними переходами. Оптична ширина забороненої зони, яка для спеціально налегованого In_4Se_3 при 300 К складає 0,64 еВ, лінійно зменшується при зростанні концентрації міді (до 3,5 ат.%) у кристалі з коефіцієнтом

$6 \cdot 10^{-3}$ еВ/ат.%.
13.10.1978

У третьому розділі викладено результати вивчення електрофізичних властивостей кристалів In_4Se_3 з концентрацією введеної міді 0-3 ат.%.
13.10.1978

Дослідженням електропровідності та коефіцієнта Холла встановлено зміну механізму перенесення заряду при нагріванні зразків від азотної до кімнатної температури. В області 80-180 К температурна залежність електропровідності описується законом Мотта ($\ln \sigma \sim T^{-1/4}$), тобто домінуючим є механізм перенесення заряду по локалізованих станах, згрупованих по енергії в околі рівня Фермі. Верхня межа вказаного температурного інтервалу зсувається із зростанням концентрації інтеркалюючих домішок у матриці кристалу в високотемпературну область, що обумовлено збільшенням концентрації локалізованих станів у In_4Se_3 . При цьому коефіцієнт Холла має характерну особливість у вигляді максимуму, температурне положення якого корелює з температурою переходу від зонного до стрибкового механізму перенесення заряду і зумовлений їх конкуренцією.

Електропровідність інтеркальованих міддю (0,8-3 ат.%) кристалів In_4Se_3 становить $0,1-0,01 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-3}$, концентрація вільних носіїв - $10^{15}-10^{17} \text{ см}^{-3}$ при 300 К. Зміна енергії активації в області власної провідності з 0,79 еВ на 0,61-0,62 еВ і наявність додаткової області діркової провідності у зразках In_4Se_3 з вмістом міді менше 2,1 ат.%, обумовлена існуванням двох підзон зони провідності In_4Se_3 із суттєво різними ефективними масами електронів. При вмісті міді $x \geq 3,0$ ат.% у In_4Se_3 провідність носить металічний

характер унаслідок колективізації локалізованих носіїв заряду, тобто переходу Мотта типу напівпровідник-метал.

У рамках моделі Мотта визначені параметри, що характеризують перенесення заряду по локалізованих станах. Величина енергетичного інтервалу локалізованих станів у нелегованих кристалах In_4Se_3 становить 0,15–0,22 еВ, середня довжина стрибка – 450–600 Å. Вказані параметри зменшуються із зростанням концентрації міді у матриці кристалу, відповідно, до 0,03 еВ та 75 Å при концентрації останньої 2,5 ат.%. Густина локалізованих станів в околі рівня Фермі для нелегованого In_4Se_3 порядку $10^{18} \text{eV}^{-1} \text{cm}^{-3}$, для інтеркальованого міддю до 2,1 ат.% – $10^{21} \text{eV}^{-1} \text{cm}^{-3}$ і підлягає квадратичному закону дисперсії з характерним мінімумом на рівні Фермі. Такий мінімум (кулонівська щільна) у спектрі густини станів поблизу рівня Фермі обумовлена електрон-електронною взаємодією і у випадку проміжної компенсації приводить до переходу до закону Шкловського-Діроса при азотних температурах. Значна ширина кулонівської щільності для нелегованих In_4Se_3 (до 0,15 еВ) вказує на значний вплив кореляційних ефектів. Для кристалів In_4Se_3 , в яких концентрація локалізованих станів більша $5 \cdot 10^{18} \text{cm}^{-3}$, ширина кулонівської щільності становить порядку 10 меВ, що експериментально проявляється у переході до закону Шкловського-Діроса при гелієвих температурах.

Концентрація локалізованих станів, що відповідає напрямку, перпендикулярному до шарів, найбільш суттєво відрізняється від відповідної величини у шарі (менше у 5–8 разів) для нелегованих кристалів In_4Se_3 . Концентрація ж локалізованих станів у інтеркальованих кристалах In_4Se_3 не залежить від напрямку прикладання

струму.

Частотна залежність електропровідності (до 10^4 Гц) в області азотних температур кристалів In_4Se_3 , для яких характерний напружений просторовий розподіл локалізованих станів, складається із двох ділянок і описується формулою виду $\sigma = A_1\omega^{\alpha_1} + A_2\omega^{\alpha_2}$. Степеневі коефіцієнти не залежать від температури і приймають значення 0,7 - 0,8, що характерно для механізму перенесення заряду із змінної довжиною стрибка по локалізованих станах поблизу рівня Фермі. Отримані результати проаналізовані в рамках моделі Остіна-Мотта. Густина локалізованих станів становить $10^{17} - 10^{18}$ $\text{eV}^{-1} \text{cm}^{-3}$, та середня довжина стрибка - 220-350 Å. Отримані значення добре корелюють із відповідними величинами, що отримані із вимірювань стаціонарного електропровідності. Фонони, які супроводжують процес стрибка носія заряду, розділяються на дві групи за своїми характерними частотами ω_{ph} . До першої групи відносяться фонони з $\omega_{ph} \sim 10^{13}$ Гц, що відповідають коливанням атомів у ґратці In_4Se_3 . Друга група з $\omega_{ph} \sim 10^9$ Гц, очевидно, пов'язана з сильним впливом ангармонізму у коливальному русі шарів на електронну підсистему кристалу, коли газ фононів перестає бути ідеальним. В інтеркальованих мідях (2,1 ат.%) кристалах In_4Se_3 відсутня низькочастотна ділянка провідності ($\sigma \sim \omega^{\alpha}$), що обумовлено ослабленням нелінійних коливних процесів шарів унаслідок трьохмерної кристалу.

Четвертий розділ присвячений вивченню електричних і оптичних властивостей спеціально велегованих та інтеркальованих мідях (до 3,5 ат.%) кристалів In_4Se_3 без та з прикладанням однобісного стис-

ку, аналізу температурної поведінки структурно чутливих параметрів, які характеризують перенесення локалізованих носіїв заряду.

У нелегованих кристалах In_4Se_3 спостерігається різний нахил кривих електропровідності в області температур, де справедливий закон Мотта, який є наслідком співіснування в одній системі локалізованих станів домішкової природи та квазілокалізованих станів, обумовлених динамічно розпорядкованим станом кристалу. Впорядкування кристалу одновісним стиском нормально до шарів або інтеркалювання приводять до ізотропності просторового розподілу локалізованих станів за рахунок суттєвого зменшення концентрації квазілокалізованих станів.

За температурними залежностями стаціонарної фотопровідності кристалів In_4Se_3 , для яких характерний напрямлений розподіл локалізованих станів, в рамках моделі Фуза визначений ряд параметрів центрів рекомбінації (τ) та прилипання (t). Глибина залягання τ - та t -центрів від зони провідності рівна 0,4 і 0,33 еВ, відповідно. Концентрація t -центрів становить $8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, темнова концентрація дірок на τ -центрах - $3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Енергетичне положення τ -центрів є слабочутливим до прикладання напрямленого напруження нормально до шарів, в той час як глибина залягання t -центрів зростає для кристалу у стисненому стані на 0,05 еВ. При цьому приблизно у 5-6 разів зменшується концентрація t -центрів та збільшується у 2-3 рази темнова концентрація дірок на τ -центрах. Таким чином квазілокалізованим станам, очевидно, відповідає частина t -центрів. Зменшення концентрації t -центрів при одновісному стиску корелює з відповідним зменшенням концентрації

локалізованих станів. Зростання глибини залягання рівнів прилигання узгоджується з моделлю енергетичного розподілу локалізованих станів Шкловського-Ефроса, і пов'язано зі збільшенням ступеня компенсації, яке відбувається за рахунок зникнення значної частини квазілокалізованих станів при одновісному стиску кристала.

Спектральна залежність коефіцієнта пропускання інтеркальованих мідь до 2,5 ат. % кристалів In_4Se_3 в області енергій 0,8-0,32 еВ характеризується мінімумом на 0,175 еВ, який формується переходами типу локалізований стан - зона. Енергетичне положення мінімуму та його півширина є сильночутливі до концентрації інтеркалюючих домішок у кристалі. Зміщення мінімуму в сторону більших енергій пов'язано із зростанням ступеня компенсації.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Кристали, вирощені методом Чохральського із попередньо гомогенізованого злитку складу $\text{In}_4\text{Se}_3 + 10 \text{ ат. \% In} + x \text{ ат. \% Cu}$ ($x=0-3,5 \text{ ат. \%}$) з наступним термічним відпалом (200 год., 500К) є однофазними з чітко вираженою шаруватістю.
2. Структура отриманих кристалів відповідає In_4Se_3 . Параметер елементарної комірки, який співпадає з напрямом, нормальним до площини шару, лінійно зростає із збільшенням концентрації міді, що обумовлено переважним розміщенням атомів домішки у ван-дер-ваальсівській щільні кристалу.

3. Край фундаментального поглинання шарів інтеркальованого міддю (до 3,0 ат.%) In_4Se_3 формується прямими зона-зонними переходами і лінійно зміщується у сторону більших довжин хвиль із зростанням концентрації інтеркалянту.
4. Провідність спеціально нелегованих та інтеркальованих міддю (до 2,5 ат.%) кристалів In_4Se_3 носить активаційний характер, а з вмістом міді 3 ат.% і більше - металічний характер. Зміна енергії активації з 0,80 еВ до 0,62-0,61 еВ в області власної провідності обумовлена існуванням двох підзон зони провідності із суттєво різними ефективними масами. Металічний тип провідності пов'язаний із переходом напівпровідник-метал типу Мотта.
5. В кристалах In_4Se_3 при температурах нижчих від 160-210 К реалізується стрибова провідність із змінюваною довжиною стрибка по локалізованих станах, згрупованих по енергії у смугу обмеженої ширини в околі рівня Фермі.
6. Визначені параметри, що характеризують перенесення носіїв заряду по локалізованих станах у In_4Se_3 . Концентрація локалізованих станів для спеціально нелегованих кристалів становить $(4-8) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ при оптимальній ширині їх смуги 0,15 - 0,22 еВ. Збільшення концентрації інтеркалюючих домішок веде до зростання концентрації локалізованих станів на 1-2 порядки та звуження ширини їх смуги при одночасному зростанні тунельного фактора.
7. В нелегованому In_4Se_3 параметри, що характеризують перенесення заряду по локалізованих станах, залежать від напрямку перенесен-

ня заряду, що пов'язано з існуванням локалізованих станів домішкової природи та квазілокалізованих станів, обумовлених динамічно розпорядкованим станом кристалу. Впорядкування кристала одноісним стиском перпендикулярно до шарів, а також інтеркалювання приводять до незалежності параметрів від напрямку перенесення заряду, що пов'язане зі зменшенням концентрації квазілокалізованих станів.

8. Визначений ряд параметрів центрів рекомбінації та прилипання кристалів In_4Se_3 . Глибина залягання центрів рекомбінації та прилипання від дна зони провідності становить відповідно 0,4 і 0,33 еВ, а концентрація центрів прилипання - $8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Одноісний стиск нормально до шарів приводить до зменшення концентрації центрів прилипання у 4-5 разів та деякого зростання глибини їх залягання. Енергетичне положення центрів рекомбінації є слабчутливим до напрямленого стиску.
9. Спектральні залежності коефіцієнта пропускання в області енергій 0,08 - 0,32 еВ спеціально велегованих та інтеркальованих між до 2,5 ат.% кристалів In_4Se_3 характеризуються мінімумом на 0,17 еВ, який формується переходами типу локалізований стан - зона. Енергетичне положення мінімуму та його півширина є чутливими до концентрації інтеркалюючих домішок у In_4Se_3 . Зміщення мінімуму у сторону більших енергій із зменшенням концентрації домішок індію у кристалі пов'язано зі зростанням ступеня його компенсації.

Основні матеріали дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Демків Т.М., Бурко О.М. Диаграмма состояния системы $\text{In}_4\text{Se}_3\text{-Cu}$. //З конф. мол. ученых Физ. фак. Львов, 29-30 марта 1988 / Львов. ун-т. Львов, 1988. - с. 134-136.
2. Электрические свойства In_4Se_3 , интеркалированных серебром и медью / Стахира И.М., Фияла Я.М., Бурко О.М., Демків Т.М., Каспрышин Л.С. // II Всесоюз. школа-семинар по физике и химии рыхлых и слоистых кристаллических структур. Харьков, 19-26 сентября 1988 / Харьков. ун-т. - Харьков, 1988. - С.99.
3. Стахира И.М., Савчин В.П., Демків Т.М. Особенности локализованных состояний в слоистых полупроводниках // III-я Всесоюзная конференция "Материаловедение халькогенидных полупроводников", Октябрь 1991 г. / Черновицкий ун-т, Черновцы, 1991. - 53с.
4. Стахира И.М., Савчин В.П., Демків Т.М. Стрижкова провідність у шаруватих кристалах In_4Se_3 // Укр. фіз. журн. - 1993. - т.38, №6. - С. 891-893.
5. Стахира И.М., Демків Т.М., Флонт О.Б. Провідність на змінному струмі кристалів In_4Se_3 // Двілейна наукова конференція, присвячена 40-річчю фізичного факультету Львівського держуніверситету, - 27-28 травня 1993 р./ Львівський ун-т, Львів, 1993. - 23с.
6. Демків Т.М., Стахира И.М., Савчин В.П., Шувар Р.Я. / Перенесення заряду по дискретних станах у кристалах In_4Se_3 // Двілейна наукова конференція, присвячена 40-річчю фізичного факультету Львівського держуніверситету, - 27-28 травня 1993 р./ Львівський ун-т, Львів, 1993. - 23с.

7. Demkiv T.M., Petsyuch I.M., Galiy P.V., Nenchuk T.M., Pavlushenko B.M., Savchin V.P., Shuvar R.Ya., Stakhira I.M., Tovstyuk N.K. Peculiarities of Electron Properties in Layer Semiconductors // Physics in Ukraine International Conference. Kiev, 22-27 June, 1993, in book "Radiophysics and Electronics", P.63-66,

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Підписано до друку 17. 01. 94. Формат паперу $60 \times 84^{1/16}$. Папір письмовий.
Друк офсетний. Обсяг видання в умовно друк. листах 0,93. Умовних фар-
бо-відбитків 0,93. Зам. 22. Тираж 100. Безплатно.

ЕДД УНДІПП. Львів, вул. Володимира Великого, 4.

150624

AB 29.081

AB 29.081