

Інститут Фізики АН України

На правах рукопису

Яцкович Сергій Анатолійович

Вплив дефектів на оптичні та електрофізичні
властивості гетеропереходів та надграток.

01.04.07 - фізика твердого тіла

АВТОРЕЗЮМЕ

дисертації на одержання вченого ступіня
кандидата фізико-математичних наук

Київ - 1992

№ 26. 7. 26

Робота виконана в Київському Інституті Ядерних досліджень
АН України.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук

Снішко А.І

кандидат фізико-математичних наук

Комеров А.В.

Провідна організація: Інститут напівпровідників АН України

Захист відбудеться << 25 >> лютого 1993 р. в 15⁰⁰ годин
на засіданні Спеціалізованої Ради К 016.04.01 по
захисту дисертації на здобуття вченого ступеня кандидата
фізико-математичних наук при Інституті Фізики АН України.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці ІФ АНУ.

Автореферат був посланий << _____ >> _____ 1993 р.

Вчений секретар Спеціалізованої Ради

кандидат фізико-математичних наук

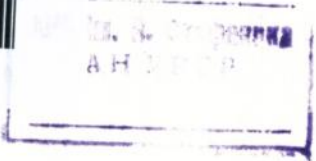
О. Приз

Прижонська О.В.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00814495 (V)



Загальна характеристика роботи

Актуальність теми. Проблеми дослідження квантово-розмірних структур зараз стали особливо актуальними. Особливо завдяки досягненням молекулярно-пучкової епітаксії зараз є можливість вирощувати подібні структури з атомно-гладкими поверхнями, розширюється сфера де можна застосувати прилади, дія яких оснований на подібних структурах (напр. резонансно-тунельні діоди, резонансно-тунельні транзистори, лазери на гетероструктурах і т. і.). а це в свою чергу стимулює розвиток подальших досліджень в цій області.

В першу чергу це стосується задач, які пов'язані з тунелюванням електронів крізь систему квантових ям (або бар'єрів). В останні роки ці системи активно досліджувались як теоретичними, так і експериментальними методами. Дослідження таких систем включали в себе резонансне тунелювання дірок, резонансне тунелювання крізь структури із багатьма квантовими ямами, крізь різні мінімуми зони провідності. Також вивчався вплив областей просторового заряду на вид вольт-амперної характеристики і виникнення областей бістабільності на ВАХ. На базі отриманих результатів оптимізуються параметри гетероструктур і поліпшуються можливості застосування таких систем в транзисторах, які використовують ефект поля (FET-транзистори).

В останні роки якість створення гетероструктур неухильно поліпшувалась, що і привело до зростання відношення максимального значення струму через гетероперехід (пов'язаного з резонансним тунелюванням) до мінімального струму (нерезонансної складової) див. мал.1, що є однією з важливіших характеристик двобар'єрного гетеропереходу (ДБП).

В останні роки якість створюваних гетероструктур неухильно поліпшувалась, що і привело до зростання відношення максимального значення струму через гетероперехід (пов'язаного з резонансним тунелюванням) до мінімального струму (нерезонансної складової) див. мал.1, що є одним з важливіших характеристик двохбар'єрного гетеропереходу (ДБП).

Детальне дослідження процесів тунелювання через подібні гетероструктури повинно брати до уваги різні додаткові ускладнення: 1) те, що форма бар'єрів відрізняється від ідеальної, і 2) наявність домішок в гетероструктурі, що зменшує відношення максимального і мінімального струмів.

В ідеальній гетероструктурі тунелювання електронів - це когерентний процес. Розсіяння, в свою чергу, "розламує" когерентність тунелювання, що призводить до уширення резонансного піку, що еквівалентне зменшенню густини станів з енергією, що дорівнює енергії резонансного рівня. А це призводить до зменшення відношення максимального та мінімального струмів.

Задача про розсіяння електронів була вирішена до цього часу лише в вельми коротких наближеннях (одновимірний характер тунелювання, зберігання лоренцівської форми резонансного піку, феноменологічне введення параметрів розупорядкованості системи і т.і.). Отримані в даній роботі результати вільні від перелічених недоліків.

Але, вплив домішок призводить не тільки до погіршення характеристик гетеропереходів. Взаємодія тунелюючих електронів з домішками в зовнішніх полях, внаслідок резонансного характеру їх хвильової функції, може призводити до виникнення нових ефектів.

Тому можна утверджувати, що задачі про взаємодії носіїв, тунелючих через квантово-розмірні структури, з домішками, дефектами поверхонь розділу між шарами напівпровідників, що утворюють гетероструктуру, фононами і т.і. є важливим класом задач як з точки зору розробки нових теоретичних підходів, так і з точки зору впровадження отриманих результатів.

Мета роботи. Метою цієї роботи є теоретичне дослідження процесів взаємодії електронів, а також електромагнітного випромінювання з домішками в квантово-розмірних системах (гетеропереходи, надгратки). Вивчення ряду нових ефектів, які виникають у результаті подібної взаємодії, з точки зору їх можливого застосування.

Основний зміст роботи присвячений вирішенню наступних задач: 1) вивчити процеси тунелювання електронів крізь квантово-розмірні структури, беручи до уваги взаємодії з домішками. А також пов'язане з цим розширення резонансного піку, зміни його форми, зменшення максимального коефіцієнта проходження; 2) вивчити процеси резонансного тунелювання в електричному та магнітному полях, беручи до уваги процеси взаємодії спінів електронів, із спінами ядер магнітних домішок і також процес тунелювання носіїв крізь матеріал з вузькою зоною дозволених енергій (вузькою дозволеною зоною); 3) розглянути процеси, пов'язані з домішками, які призводять до генерації поверхневих електромагнітних хвиль на границі напівнескінченне середовище-надгратка.

Наукова новина. В дисертаційній роботі вперше отримані наступні основні результати:

- 1) Вирішена задача про розсіяння тунелюючих електронів на

нейтральних домішках розташованих у квантовій ямі ДБП. За допомогою методу функції Гріна одержані вирази для форми резонансного піку та величини коефіцієнту проходження крізь ДБП. Задача вирішена при умові що концентрація домішок мала ($c \ll 1$), що відповідає ситуації зі стехіометричними дефектами в бінарних сполуках.

2) Одержан вираз для струму носіїв, які протунелювали через кристал з вузькою зоною провідності в електричному полі. Показано, що вольт-амперна характеристика подібної системи має участок з від'ємною диференційною провідністю. Також показано, що він виникає завдяки тому, що зона дозволених енергій дуже вузька.

3) Розв'язана задача про тунелювання електронів крізь ДБП, який легований магнітними домішками (Mn^{2+}). Показано, що величина струму електронів, які протунелювали, сильно залежить від орієнтації спінів електронів. Це пов'язано із значним розщепленням резонансних рівнів для електронів, які мають різні проєкції спінів на напрямок магнітного поля, що виникає внаслідок сильної обмінної взаємодії з магнітними домішками. Обговорені можливі області застосування цього ефекту.

4) Вирішена задача про генерацію поверхневих електромагнітних хвиль (ПЕХ) при дипольному випромінюванні в надгратці. Одержані залежності інтенсивності ТЕ- та ТМ-хвиль від параметрів надгратки та координати випромінюючого диполя. Показано, що при умовах, які були розглянуті, генерація ТЕ-хвиль більш ефективна ніж генерація ТМ-хвиль. Знайдені умови найбільшої та найменшої ефективності генерації ПЕХ. Обговорено зв'язок цієї задачі та задач про випромінювання ПЕХ при релаксівському та комбінаційному розсіянні.

Практична цінність роботи. Теоретичне дослідження процесів взаємодії носіїв в квантово-розмірних структурах дає змогу передбачити характер поведінки подібних систем. Також дозволяє передбачити нові ефекти, що вишкочать в подібних системах за рахунок резонансного характеру хвильової функції носіїв. Оцінки, що зроблені к цій роботі, дозволяють стверджувати що передбачені ефекти зможуть знайти пристосування в приладах твердотільної електроніки та оптоелектроніки.

Основні положення що виносяться на захист.

1) Розсіяння носіїв у двохбар'єрному гетеропереході на нейтральних домішках призводить до зміни форми резонансного піку і зменшення максимального коефіцієнту проходження крізь ДБІП. Ефект стає помітним вже при концентраціях домішок порядку концентрації стохіометричних дефектів в бінарних сполуках.

2) Тунелювання електронів у зовнішньому електричному полі крізь кристал з вузькою зоною провідності призводить до резонансної залежності коефіцієнту проходження від енергії налітаючого електрону. Однак на вольт-амперній характеристиці ці осциляції згладжуються завдяки усередненню з функцією розподілу Фермі. Наявність участку з від'ємною диференційною провідністю пов'язана з вузькістю зони провідності.

3) При тунелюванні електронів крізь ДБІП, легований магнітними домішками у зовнішньому магнітному полі, внаслідок резонансного характеру хвильової функції електронів та сильної обмінної взаємодії спіну електронів із спінами магнітних домішок, струм крізь ДБІП суттєво залежить від z-проеції спіну

електронів. Цей ефект виникає внаслідок розщеплення резонансних рівнів для електрона з різними проєкціями спінів в квантовій ямі ДБП.

4) Випромінювання диполя, що знаходиться в першому шару напівпровідникової надгратки призводить до генерації поверхневих електромагнітних хвиль, інтенсивність яких залежить від товщини цього шару і положення диполя в ньому. Ця залежність виникає в наслідок того, що параметри надгратки (товщина шару в якому знаходиться випромінюючий диполь, період та інші параметри надгратки) зумовлюють положення хвильового вектора поверхневої хвилі в зоні бреггівського віддзеркалювання надгратки.

Апробація. Основні результати дисертації доповідались на Всесоюзному семінарі по спектроскопії твердих тіл (Суми 1991р.), на 15 (Пекаровській) конференції по теорії напівпровідників (Львів 1992р.), на конференціях молодих вчених (ІЯД 1990, 1991 рр), на семінарах відділу.

Публікації. Основні результати досліджень опубліковані в 6 друкованих роботах. В статтях, написаних в співавторстві, авторі належать результати, викладені в дисертаційній роботі, висновках, наведених в кінці автореферату, в положення винесених на захист.

Об'єм роботи. Дисертація остоїть із ввчення трьох глав, та висновку. Матеріал викладений на 131 сторінках. З них 96 сторінок тексту, бібліографія з 109 посилань на 12 сторінках, та 28 малюнків.

Зміст роботи.

В першому розділі обґрунтовується актуальність теоретичного

дослідження процесів, які пов'язані з наявністю домішок в квантово-розмірних структурах, визначається мета роботи, її наукова новина, та практична цінність. Сформульовані основні положення, що виносяться на захист. Також наведений огляд робіт по цій темі, показана необхідність подальшого вивчення питань впливу домішок та дефектів на оптичні та електрофізичні властивості квантово-розмірних систем, оскільки наявність домішок може суттєво змінювати характеристики приладів на базі резонансно-тунельних структур.

В другому розділі розглянуто розсіяння тунельючих кризь ДБП електронів на нейтральних домішках, що знаходяться в квантовій ямі. Розрахована густина квантово-механічного струму електронів, що тунелюють кризь двобар'єрний гетероперехід, при наявності розсіяння на домішках, в залежності від характеристик як самого ДБП (ширина ями, висота бар'єрів і т.і.), так і домішок (концентрація та потенціал).

В п.2.1 приведена постановка задачі та метод вирішення. Розглядається двобар'єрний гетероперехід, що створений із напівпровідників, зона провідності яких змінені по енергії на величину W (див. мал.2). Для визначеності була розглянута система $\text{GaAs}/\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{GaAs}/\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{GaAs}$ при $x = 0.3\%$ в квантовій ямі якої знаходяться хаотично розставлені нейтральні домішки з відносною концентрацією c . Показано, що внаслідок повільної зміни хвильової функції наведену задачу можна вирішити за допомогою розв'язання хвильової функції в ряд по функціям Ванье :

$$\Phi(\mathbf{r}) = \sum_{\mathbf{m}} \Psi(\mathbf{r}) | \Psi(\mathbf{r}-\mathbf{m}) | \quad (1)$$

де $\Psi(\mathbf{r}-\mathbf{m})$ - функція Ваньє, що центрована на вузлі \mathbf{m} , а $\Psi(\mathbf{r})$ - задовольняє рівнянню Шредингера в наближенні ефективної маси.

В цьому випадку для усередненого квантовомеханічного струму електронів, що протунелювали крізь двобар'єрний гетероперехід отримуємо наступний вираз:

$$\langle j(\mathbf{r}) \rangle = \frac{\hbar}{2m^*} \left[\Psi_0^*(\mathbf{r}) \nabla \Psi_0(\mathbf{r}) - \alpha(1-\alpha) U_0^2 \sum_{\mathbf{m}} G(\mathbf{m}, \mathbf{m}) + \frac{\Psi_0^*(\mathbf{r}) \nabla G(\mathbf{r}, \mathbf{m}) \Psi_0(\mathbf{m}) + \Psi_0(\mathbf{m}) \nabla G^*(\mathbf{r}, \mathbf{m}) \Psi_0^*(\mathbf{m})}{(1-(1-\alpha)U_0 G(\mathbf{m}, \mathbf{m})) + (1+\alpha U_0 G(\mathbf{m}, \mathbf{m}))} + \alpha(1-\alpha) \right] \quad (2)$$

$$= U_0^2 \sum_{\mathbf{m}} \left[\frac{1-\alpha}{(1-U_0(1-\alpha)G(\mathbf{m}, \mathbf{m}))^2} + \frac{\alpha}{(1+\alpha U_0 G(\mathbf{m}, \mathbf{m}))^2} \right]$$

$$= G^*(\mathbf{r}, \mathbf{m}) \nabla G(\mathbf{r}, \mathbf{m}) | \Psi_0(\mathbf{r}) |^2;$$

де $\Psi_0(\mathbf{r})$ - рішення однорідного рівняння Шредингера з усередненим потенціалом домішок, $G(\mathbf{r}, \mathbf{m})$ - функція Гріна для рівняння Шредингера з усередненим потенціалом домішок. Обчислюючи $\Psi_0(\mathbf{r})$ та $G(\mathbf{r}, \mathbf{m})$ отримуємо кінцевий вираз для струму протунелювальних електронів (Ф-ла (2.13) другої глави).

В п.2.2 проводиться обговорення результатів обчислення струму протунелювальних електронів в залежності від параметрів ДБІП (товщина бар'єрів, ями,) та концентрації та потенціалу домішок в квантовій ямі. Знайдена величина уширення резонансного піку. Показано, що при зростанні концентрації домішок, максимум коефіцієнту проходження зміщується по енергії. Знак цього

зміщення визначається знаком потенціалу домішок. Зростання концентрації призводить до того, що пік втрачає лоренцівоську форму і розпадається на два піки, провал між якими зумовлений різним зростанням перерізу розсіювання для туелюючих електронів енергією що дорівнює резонансній (див. мал.2).

Також в цьому пункті знайдено зміння максимального значення густини струму протунельюваних електронів в залежності від потенціалу та концентрації домішок, параметрів ДБП. Показано, що ця величина суттєво залежить від ширини квантової ями, що зумовлено резонансним характером тунелювання електронів крізь ДБП.

На закінчення обговорення показано, що цей ефект може впливати на характеристики приладів, що базуються на ДБП (зменшуючи робочу частоту цих приладів вже при концентрації домішок що зрівнюється в концентрацією екстехіометричних домішок в бінарних сполуках типу GaAs та ін. оскільки розсіювання на домішках руйнує когерентність процесу резонансного тунелювання, що призводить до ушмирення резонансного піку, а отже зменшуючи крутизну вольт-амперної характеристики резонансно-тунельних структур.

У третьому розділі розглядається вплив домішок та зовнішніх полів на тунелювання електронів крізь гетеропереходи по створ чні різними матеріалами. Показано що в деяких випадках наявність домішок та зовнішніх полів може призводити до якісно нових ефектів.

В п.3.1 третього розділу розглянута задача про тунелювання електронів крізь ДБП в напівмагнітних напівпровідниках (напр.

ZnSe/ZnMnSe) в зовнішніх електричному та магнітному полях, причому як електричне так і магнітне поля спрямовані перпендикулярно границям розділу шарів ДБІ. Якщо гадати що концентрація іонів Mn висока ($c \sim 0.15 - 0.20$) то можна

розглядати взаємодію електронів з домішками в наближенні середнього потенціалу. В цьому випадку задачу можна розглядати в наближенні ефективною масою і розв'язок рівняння Шредингера треба шукати у вигляді:

$$\Psi(\mathbf{r}) = \Psi_{II}^n(x, y) \Psi(z); \quad (3)$$

$$\text{де } \Psi_{II}^n(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi n}} H_n \left[\sqrt{\frac{m\omega}{\hbar}} (x - x_0) \right] \exp \left[-\frac{m\omega}{\hbar} (x - x_0)^2 + ik_y y \right];$$

$$\exp(ikz) + r \exp(-ikz) \quad z < 0$$

$$\alpha_1^+ Ai(\xi) + \alpha_1^- Bi(\xi) \quad 0 < z < b$$

$$\Psi(z) = \beta_1^+ Ai(-\xi') + \beta_1^- Bi(-\xi') \quad b < z < a+b$$

$$\alpha_2^+ Ai(\xi) + \alpha_2^- Bi(\xi) \quad a+b < z < a+2b$$

$$t \exp(ik'z) \quad z > a+2b$$

$$\text{где } \xi = \left(\frac{2m^* e \mathcal{E}_b}{\hbar^2} \right)^{1/2} \left[\frac{W + \sqrt{V}}{e \mathcal{E}_b} - K_1 - z \right];$$

$$\xi' = \left(\frac{2m^* e \mathcal{E}_w}{\hbar^2} \right)^{1/2} \left[-\frac{K_1 - \sqrt{V}}{e \mathcal{E}_w} + z \right]; \quad k = \sqrt{\frac{2m^* E_1}{\hbar^2}};$$

$$k' = \sqrt{\frac{2m^*}{\hbar^2} (E_1 + eV)}; \quad E_1 = E - \hbar\omega(n + 1/2); \quad \omega = \frac{eH}{m^* \sigma};$$

$H_n(x)$ - поліноми Ерміта; $Ai(\xi), Bi(\xi)$ - функції Вайрі, K -

енергія налітаючого електрону, $V_{\text{іар}}$ - усереднений потенціал домішок.

Коефіцієнти α_1, β_1, t знаходяться зшиваючи хвильову функцію та її похідну на границях розділу шарів. Таким чином можна обчислити коефіцієнт проходження крізь ДБП, а отже і вольт-амперну характеристику ДБП в залежності від прикладеного магнітного поля. Показано, що обмінна взаємодія спінів тунелюючих електронів із спінами ядер магнітних домішок призводить до значного зміщення резонансних рівнів електронів в квантовій ямі, змінюючи таким чином вольт-амперну характеристику. На наведеному малюнку видно, що в даному випадку ВАХ являє собою систему двох піків, які пов'язані з резонансними рівнями для електронів в різних проєкціях спінів ($s_z = \pm 1/2$), причому відстань між цими піками залежить від зовнішнього магнітного поля, що дозволяє при визначених умовах (показано на мал.3 отрілками) одержувати токи сильно поляризованих електронів на виході з ДБП.

В п.3.2 розглянута можливість використання цих токів для поляризації ядерних спінів у твердому тілі. Знайдені умови за яких ця поляризація ефективна. Розрахована глибина та ступінь поляризації ядер в залежності від параметрів системи (переріз розсіяння електронів на ядрах з перевертанням спіну, часу релаксації ядер (не беручи до уваги релаксацію на електронах провідності), густини струму інжектованих (поляризованих) електронів).

В п.3.3 розрахована вольт-амперна характеристика гетеропереходу, в якому матеріал з вузькою зоною провідності міститься між шарами напівпровідників, які мають значно ширші

зони провідності. Оскільки при розгляді тунелювання електронів через такий гетероперехід необхідно брати до уваги стани з усіма значеннями хвильового вектора, які належать цій зоні провідності, задача вирішувалась використовувачи метод сильного зв'язку у наближенні близьких сусідів. Були розраховані залежності коефіцієнту проходження через гетероперехід від енергії падаючого електрону як при наявності додаткового бар'єру на границі розділу шарів так і при його відсутності. Показано що наявність такого бар'єру, який пов'язаний з різницею енергій електрону на атомах різних шарів, призводить до виникнення додаткових пиків на залежності коефіцієнта проходження від енергії налетаючого електрону. Також була розрахована вольт-амперна характеристика подібного гетеропереходу, яка внаслідок вузькості зони провідності даного матеріалу нелінійно залежить від прикладеної напруги і у випадку сильних прикладених полів має спадаючий участок в області від'ємної диференційної провідності, що обумовлений зменшенням області дозволених енергій.

У четвертому розділі розглядається задача про дипольне випромінювання в надгратці (НГ) та генерації поверхневих електромагнітних хвиль (ПЕХ) на границі надгратка - однорідне середовище (вакуум) що обумовлені по-перше наявністю повного внутрішнього відбиття на границі надгратка - однорідне середовище, а по-друге брегговським відбиттям від надгратки.

В п. 4.1 розглянуто існування поверхневих електромагнітних хвиль в надгратці, товщина першого шару якої відрізняється від товщини всіх інших шарів, які мають таку ж саму діелектричну

випромінювання поверхневих ТЕ-хвиль в одиницю плоского кута:

$$\frac{dI}{d\phi} = \int_0^{\infty} J_x dz \quad \text{где } J_x - x \text{ - компонента вектору Пойнтинга може}$$

бути записана як:

$$\frac{dI}{d\phi} = I_0 \sin^2 \phi \sin^2 \theta (S_0 + S_{SL} + S) \quad (6)$$

де S_0 , S и S_{SL} - відповідно, густини потоків випромінювання в однорідному середовищі, дефектному шарі та НГ.

В п. 4.3 та 4.4 аналогічні вирази отримані для ТМ-хвиль.

Пункт 4.5 присвячений аналізу отриманих результатів. Показано, що залежність інтенсивності випромінювання ПЕХ від положення диполю визначається інтерференційним множником, що залежить від положення випромінюючого диполю в "дефектному" шарі і який може зумовити навіть повне подавлення випромінювання ТЕ-ПЕХ. Для ТМ-ПЕХ повне подавлення можливе тільки у випадку коли диполь розташований паралельно або перпендикулярно границям розділу шарів надгратки, а також в напрямі, перпендикулярному диполю.

Частотна залежність інтенсивності ПЕХ має складний резонансний характер, що зумовлений як інтерференцією в шарах НГ так і скануванням ПЕХ по забороненій зоні. Для кожного порядку бреггівського відбиття існує нижня гранична частота ω_0 , існування якої зумовлено умовою повного внутрішнього відбиття в однорідному середовищі. При низьких частотах що близькі до ω_0 основний потік випромінювання ПЕХ розповсюджується в однорідному середовищі і його інтенсивність описується формулою:

$$\frac{dI}{d\phi} \approx I_0 \frac{\cos^2(k_i z_0)}{\lambda_0} \mu \sin^2 \phi \quad (7)$$

А при високих частотах основний потік локалізується в надгратці і росте з ростом коефіцієнту локалізації χ як $I \sim e^{\chi ah(x)}$.

У висновку сформульовані основні висновки та результати дисертаційної роботи:

1) Додіждена поведінка коефіцієнту прохідження та величини максимального струму електронів, що протуннелювали крізь ДБП в залежності від величини потенціалу домішок, що розташовані в квантовій ямі двохбар'єрного гетеропереходу і також від концентрації цих домішок.

2) Показано, що наявність домішок призводить до зменшення максимального коефіцієнту прохідження при резонансному тунелюванні електронів крізь ДБП та уширення резонансного піку.

3) Показано що дані ефекти збільшуються при зростанні висоти потенціальних бар'єрів та ширини квантової ями. Оскільки внаслідок цього збільшується густина хвильової функції електронів в ямі.

4) Показано, що при тунелюванні електронів крізь ДБП з напівмагнітних напівпровідників в паралельних електричному та магнітному полях резонансні рівні в квантовій ямі розділяються в залежності від проєкції спіну тунелюючих електронів.

5) Розглянуті випадки коли магнітними домішками леговані як бар'єри так і яма ДБП. Знайдено що в останньому випадку ефект сильніше за рахунок локалізації хвильової функції електрону в ямі.

6) Показано, що це розщеплення дає можливість отримувати сильно поляризовані пучки електронів для поляризації ядер в

твердих тілах. Розраховани ступінь поляризації та її ефективність. Показано, що з ростом часу релаксації та величини перерізу розсіювання ступінь поляризації росте а глибина зменшується.

7) Розрахована вольт-амперна характеристика гетеропереходу, на основі матеріалу з вузькою зоною провідності. Показано, що коефіцієнт проходження електронів через цей гетероперехід немонотонно залежить від енергій налетаючих електронів, а вольт-амперна характеристика має участок з від'ємною диференційною провідністю.

8) Отримані частотні залежності коефіцієнту локалізації ПЕХ при дипольному випромінненні в надгратці, перший шар якої відрізняється товщиною від інших шарів з тією діелектричною провідністю. Дані залежності отримані для різних значень товщини "дефектного" шару.

9) Показано, що товщина цього шару суттєво впливає на інтенсивність ПЕХ, оскільки вона визначає положення хвильового вектору ПЕХ в зоні бреггівського відбиття.

10) Встановлено, що внаслідок інтерференції, інтенсивність випромінненні ПЕХ чутлива до положення диполю в шарі. Змінюючи це положення можна добитись інтерференційного послаблення інтенсивності ПЕХ до 0. Показано, що з ростом товщини "дефектного" шару ця залежність посилюється.

Результати дисертації були надруковані в наступних роботах:

1) С. А. Семенов (С. А. Яцкевич) "Энергетический спектр медкой примеси в сверхрешетке.", Препринт КИИ 89-41, 1989.

2) В. И. Сугаков, С. А. Яцкевич. Роль реитральных примесей при

тунелировании электронов через двойной гетеропереход. ФТТ, 33, 529-535, 1991.

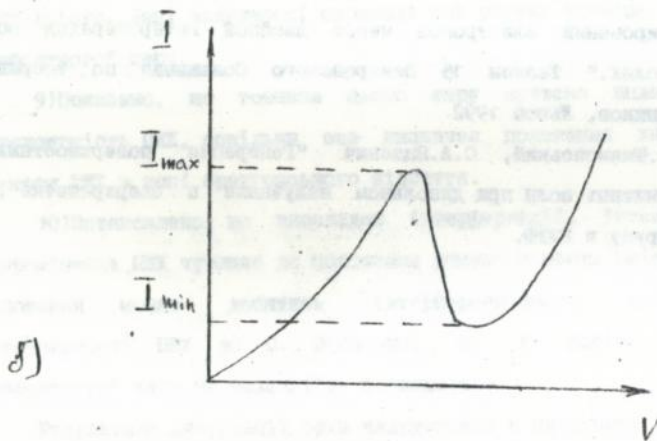
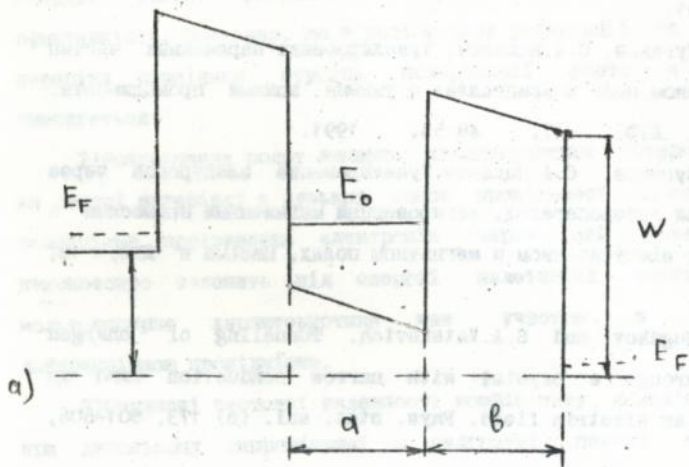
3) В.И. Сугаков, С.А. Яцкевич. Тунелирование заряженных частиц в электрическом поле в кристаллах с узкими зонами проводимости. Письма в ЖТФ, 17, 48-53, 1991.

4) В.И. Сугаков, С.А. Яцкевич. Тунелирование электронов через двухбарьерный гетеропереход, легированный магнитными примесями в параллельных электрическом и магнитном полях. Письма в ЖТФ, 18, 15-19, 1992.

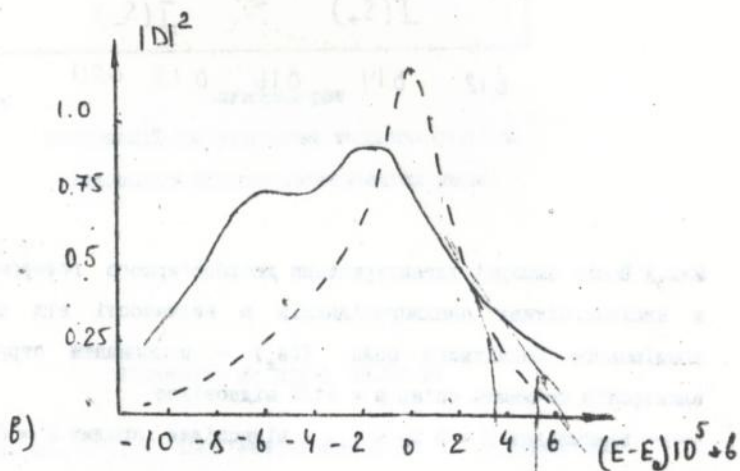
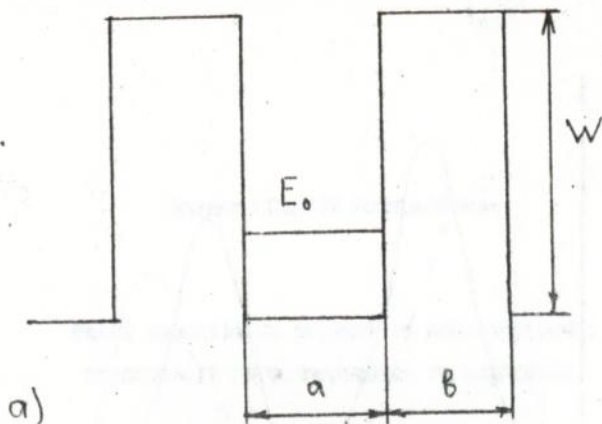
5) V.I. Sugakov and S.A. Yatskevich. Tunneling of charged particles through a crystal with narrow conduction band in presence of an electric field. Phys. stat. sol. (b) 173, 601-606, 1992.

6) В.И. Сугаков, С.А. Яцкевич "Роль нейтральных примесей при тунелировании электронов через двойной гетеропереход во внешних полях." Тезисы 15 Пекаровского Совещания по теории полупроводников, Львов 1992

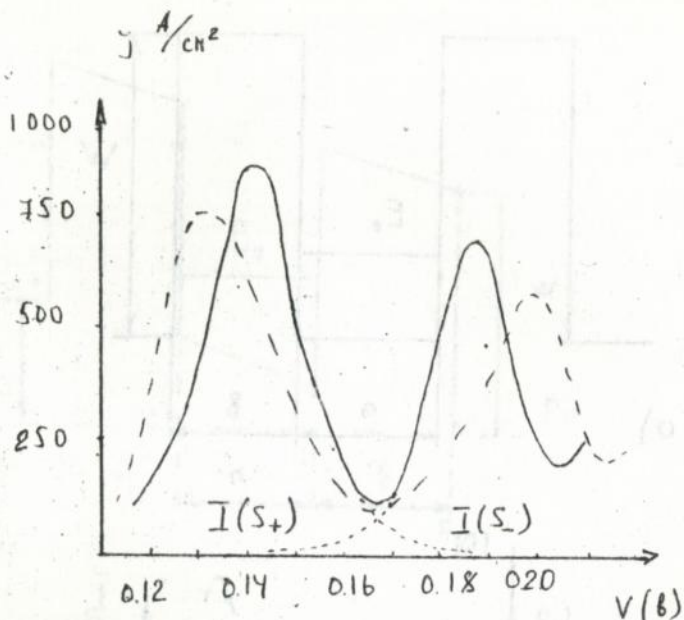
7) С.В. Шияновский, С.А. Яцкевич "Генерация поверхностных электромагнитных волн при дипольном излучении в сверхрешетке", принято друку в ЖТФ.



Мал.1 Двохбар'єрний гетероперехід при прикладеній напрузі (а); (W - потенціал гетеропереходу, E_0 - резонансний рівень, V - прикладена напруга); та його вольт-амперна характеристика (б).



Мал.2 Двохбар'єрний гетероперехід. Яма якого легована нейтральними домішками (позначення також такі ж самі що і на мал.1), та залежність коефіцієнту проходження крізь такий гетероперехід від енергії при рівній концентрації домішок. — відповідає $\sigma = 0$, - - - - відповідає випадку $\sigma = 5 \cdot 10^{-8}$



Мал.3 Вольт-амперні характеристики двохбар'єрного гетеропереходу в напівмагнітних напівпровідників в залежності від величини зовнішнього магнітного поля. $I(v_{\pm})$ - компоненти струму для електронів що мають спіни $s = \pm 1/2$ відповідно.

— відповідає $H = 2 \text{ T}$, - - - - відповідає випадку $H = 6 \text{ T}$

Яцкевич Сергій Анатолійович

Вплив дефектів на оптичні та електрофізичні
властивості гетеропереходів та надграток.

автореферат
дисертації на одержання вченого ступіня
кандидата фізико-математичних наук

Підписано до друку 19.01.93

Умовн. др. л. 1.5 Тип. замовлення N 3

Тираж 100

Інститут ядерних досліджень АН України

252028, Київ 28, проспект Науки 47

1140000

AB 26.726

AB 26.726