

УЖГОРОДСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

УДК 537.533

БОНДАРЧУК Олександр Борисович

ТОНКА СТРУКТУРА СПЕКТРІВ ПРУЖНО ВІДБИТИХ ЕЛЕКТРОНІВ ТА  
ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ БЛИЗЬКОГО ПОРЯДКУ НЕУПОРЯДКОВАНИХ  
ПОВЕРХОНЬ ТВЕРДИХ ТІЛ.

Спеціальність 01.04.04. – фізична електроніка

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата фізико-математичних наук

Ужгород – 1995



Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі  
радіофізичного факультету Київ  
ім.Тараса Шевченка

Науковий керівник – кандидат фізико-математичних наук, доцент  
Мельник Павло Вікентійович.

Офіційні опоненти:

1. Доктор фізико-математичних наук, професор Поп Степан Степанович
2. Доктор фізико-математичних наук, професор Гладких Микола Тимофійович

Провідна організація – Інститут фізики Національної Академії  
Наук України, м.Київ

Захист дисертації відбудеться " " \_\_\_\_\_ 1995 року на  
засіданні Спеціалізованої ради К 068.07.02 з фізико-математич-  
них наук при Ужгородському державному університеті за адресою  
2940000, м.Ужгород, вул.Підгірна, 46.

З дисертацією можна ознайомитись в науковій бібліотеці  
Ужгородського державного університету за адресою 294000,  
м.Ужгород, вул.Капітульна, 9.

Автореферат разісланий " " \_\_\_\_\_ 1995 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Блецкан Д.І.

### ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Одним з чинників пружного розсіювання електронів малих та середніх енергій на атомах твердого тіла є дифракційні явища. Останні добре відомі у випадку монокристалів, структура поверхні котрих досліджувалась з застосуванням методу дифракції електронів низьких енергій. Що ж до неупорядкованих поверхневих шарів, структура яких характеризується ближнім порядком, то до недавня відомостей про дифракцію електронів з енергією до 1+2 кеВ зустрічати не доводилось. Крім того, практично відсутні дані про ближній порядок в тонких (до 10 Å) неупорядкованих поверхневих шарах твердих тіл. З одного боку це можна пояснити недостатньою поверхневою чутливістю існуючих методів аналізу структури аморфних твердих тіл. З іншого боку, постає питання взагалі про існування якогось упорядкування в таких надтонких приповерхневих шарах. Саме з огляду на ці обставини нашу увагу привернула тонка осцилююча структура в спектрах пружно відбитих електронів (ТС СПВЕ) в області енергій до 3 кеВ. Спектр пружно відбитих електронів являє собою енергетичну залежність (або її похідну) інтенсивності піку пружно відбитих електронів. Вперше ТС СПВЕ спостерігалась нами для аморфізованої іонами  $Ag^+$  поверхні  $GaP(III)B$ . ТС СПВЕ для усіх досліджуваних матеріалів спостерігається в діапазоні енергій електронів до 1+3 кеВ і не зв'язана з порогами збудження внутрішніх атомних рівнів. Якісна схожість ТС СПВЕ з відповідними EXAFS-спектрами нашою думкою нас на думку про зв'язок ТС СПВЕ з ближнім порядком на поверхні. EXAFS-подібна обробка ТС виявила, що частота осциляцій ТС близька до відомих міжатомних відстаней в об'ємі досліджуваних об'єктів. Оскільки

тонка структура спостерігається в області енергій до  $1+3$  кеВ, то товщина приповерхневого шару, який вносить основний внесок в інтенсивність вимірюваного сигналу, не більше ніж  $10+15$  Å. Попередні результати дослідження природи ТС СПВЕ дали підставу припустити, що ТС СПВЕ є результат дифракції електронів на атомах поверхні, що зберігають ближній порядок в своєму взаємному розташуванні.

Таким чином, дослідження ТС СПВЕ вбачається нам важливим як з точки зору дослідження закономірностей пружного розсіювання електронів малих та середніх енергій, і як можливе джерело інформації про ближній порядок в приповерхневих шарах твердих тіл.

Мета роботи полягала 1) в експериментальному у дослідженні явища дифракції електронів малих та середніх енергій при пружному розсіюванні на неупорядкованих поверхнях твердих тіл; 2) у розвитку нової експериментальної методики дослідження структури неупорядкованих поверхонь твердих тіл.

Для досягнення поставленої мети необхідно було:

- розробити теоретичну модель пружного когерентного розсіювання електронів середніх та малих енергій в неупорядкованих приповерхневих шарах твердих тіл в наближенні однократного та/або двохкратного розсіювання;
- експериментально перевірити коректність і межі застосування розробленого математичного опису ТС СПВЕ на об'єктах з відомими параметрами ближнього порядку принаймні для об'єму;
- розробити та створити апаратне та програмне забезпечення для вимірювання та обробки ТС СПВЕ;
- перевірити можливість дослідження ближнього порядку на

прикладі мало або не досліджуваних раніше систем.

**Наукова новизна.** Вперше для неупорядкованої поверхні твердого тіла експериментально спостерігалась тонка осцилююча структура на енергетичній залежності інтенсивності піку пружно відбитих електронів малих та середніх енергій. Експериментально доведено дифракційне походження тонкої структури та можливість описувати її в рамках припущення про однократне розсіювання.

Тонку структуру в спектрах пружно відбитих електронів застосовано для визначення параметрів ближнього порядку (міжатомних відстаней, координаційних чисел та середніх квадратичних зміщень атомів) в приповерхневих шарах ряду практично важливих матеріалів (Si, Ge, C, SiO<sub>2</sub>, GeO<sub>2</sub>, GaAs, GaP, InP, Fe, Ni, Nb, Bi).

Досліджено адсорбцію атомів Bi на аморфізованій іонами аргону поверхні Si(100). Показано, що при субмоношарових покриттях вісмутом середня міжатомна відстань однакова для всіх пар атомів Si-Si, Si-Bi та Bi-Bi і лінійно зростає при збільшенні ступеня покриття вісмутом в діапазоні субмоношарових покриттів вісмутом.

Досліджено зміну ближнього порядку в приповерхневому шарі кремнію в залежності від імплантованої дози молекулярних іонів кисню O<sub>2</sub><sup>+</sup> середніх енергій. Показано, що середні міжатомні відстані Si-O, Si-Si та O-O практично не залежать від дози і енергії імплантованих іонів кисню O<sub>2</sub><sup>+</sup>. Зміни зазнають тільки інтенсивності відповідних ліній, що відповідає зв'язкам Si-O, Si-Si та O-O на кривій радіального розподілу.

**Практична цінність.** Запропоновано і розвинуто оригінальний метод дослідження структури тонких (до 10 Å) неупорядкованих

приповерхневих шарів твердих тіл, який легко апаратно поєднується з іншими електронноскопічними методами дослідження.

Отримано значення міжатомних відстаней для поверхонь Si, Ge, C, SiO<sub>2</sub>, GeO<sub>2</sub>, GaAs, GaP, InP, Fe, Ni, Nb, Bi, а також значення координаційних чисел та середніх квадратичних зміщень атомів для Si, Ge та C (графіт).

Створено лабораторний зразок автоматизованого електронного спектрометра на основі аналізатора гальмівного типу з вузьким тілесним кутом збору електронів. Спектрометр дозволяє контролювати in-situ як структуру так і склад неупорядкованих поверхонь твердих тіл.

Виявлена лінійна залежність середньої міжатомної відстані на поверхні кремнію від ступеню покриття її атомами вісмуту може сприяти оптимізації процесу вирощування Ge-Si гетероструктур.

Положення, що виносяться на захист:

1. Тонка подовжена структура в спектрах пружно відбитих електронів неупорядкованих поверхонь твердих тіл зумовлена дифракцією на атомах поверхні, що зберігають ближній порядок у своєму взаємному розташуванні, і в діапазоні енергій понад 100+200 еВ задовільно описується в рамках наближення однократного розсіювання.

2. Запропонований нами метод спектроскопії пружно відбитих електронів є метод дослідження структури надтонких неупорядкованих приповерхневих шарів твердих тіл.

3. Адсорбція атомів вісмуту на аморфізовану поверхню кремнію призводить до зміни середньої міжатомної відстані в приповерхневому шарі за законом Вегарда для твердих розчинів.

4. Структура ненасиченого оксиду кремнію SiO<sub>x</sub>, отриманого

реактивною іонною імплантацією іонів молекулярного кисню середніх енергій, описується в рамках моделі вільних зв'язків.

**Особистий внесок автора.** Дисертація є підсумком результатів досліджень виконаних автором особисто і в співпраці з рядом співробітників. Безпосередньо автором запропоновано теоретичні моделі та ідеї основних експериментів, виконано основні вимірювання та обробку результатів, сформульовано висновки і оформлено наукові праці.

**Апробація роботи.** Основні результати і положення дисертації доповідались та обговорювались на Республіканській конференції "Физические проблемы МДІ-інтегральної електроніки" (Дрогобич, 1987 р.), Першій Всесоюзній конференції "Физические и физико-химические основы микровлектроніки" (Вільнюс, 1987 р.), ХХ Всесоюзній конференції з емісійної електроніки (Київ, 1987 р.), ХХІ Всесоюзній конференції з емісійної електроніки (Ленінград, 1990 р.), Х Всесоюзній конференції "Взаимодействие ионов с поверхностью", (Москва, 1991 р.), VII Всесоюзному симпозиуму з ВЕЕ, ФЕЕ та спектроскопії поверхні твердих тіл. (Ташкент, 1990 р.), Міжнародній нараді-семінарі "Диагностика поверхности ионными пучками" (Запоріжжя, 1992 р.), Українсько-Французькому симпозиумі "Condensed Matter: Science & Industry" (Львів, 1993 р.), П'ятій міжнародній конференції з електронної спектроскопії (Київ, 1993 р.)

**Публікації.** За матеріалами роботи надруковано 7 робіт у наукових журналах та збірках. Перелік основних публікацій наведено в кінці реферату.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота викладена на 128 сторінках, містить в собі 30 малюнків і чотири

таблиці, складається з вступу, чотирьох розділів з короткими висновками, заключного розділу з основними висновками дисертації, переліку цитованої літератури із 89 найменувань.

### ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подається стислий огляд результатів попередніх досліджень тонкої структури в спектрах пружно відбитих електронів виконаних як в нашій лабораторії, так і іншими авторами. Обґрунтована актуальність предмету досліджень і сформульована мета дисертаційної роботи. Наведена структура та короткий зміст дисертації, викладені основні положення, що виносяться на захист.

В першому підрозділі першого розділу розглядається математичний опис пружного розсіювання електронів малих та середніх енергій на атомах твердого тіла, що зберігають ближній порядок у взаємному розташуванні. В основу розгляду покладено модель однократного пружного розсіювання електронів сукупністю атомів твердого тіла. Вважалось, що взаємне розташування атомів описується функцією радіального розподілу (ФРР) гаусового виду. Враховано затухання електронної хвилі за рахунок непружних взаємодій в приповерхневій області твердого тіла. Викладки проведено з урахуванням наявності поверхні для найпростішого випадку плоскої форми поверхні. Отримано вираз для інтенсивності пружного розсіювання електронів в вузький тілесний кут:

$$\tilde{I} = I_0 \lambda_{\text{eff}} n_0 f^2(S) \left\{ 1 + \sum_i N_i e^{-R_i / 2\lambda_{\text{eff}}} e^{-\sigma_i^2 S^2 / 2} \frac{\sin(SR_i)}{SR_i} \right\},$$

де:  $I_0$  - інтенсивність первинної хвилі,  $f(S)$  - атомний фактор розсіювання;  $S = 2K \sin(\theta/2)$  - модуль вектора розсіювання,  $\lambda_{\text{eff}} = 0.5\lambda \sin(\theta/2)$  - ефективна глибина виходу електронів за умови рівності кутів падіння та виходу електронів;  $\lambda$  - довжина вільного пробігу електронів між актами непружного розсіювання,  $\theta$  - кут розсіювання,  $R_i$  - радіус  $i$ -ої координаційної сфери,  $n_i$  -  $i$ -е координаційне число,  $\sigma_i^2$  - середнє квадратичне зміщення атомів  $i$ -ої координаційної сфери. Перший доданок відповідає некогерентно розсіяним електронів. Другий (осцилюючий) доданок являє собою інтерференційну функцію і описує когерентну складову розсіювання.

В цьому ж підрозділі розглянуто проблему нормування інтерференційної функції для одно- та багатоконпонентних систем.

В другому підрозділі першого розділу розглядаються ефекти багатократного (двохкратного) пружного розсіювання електронів на вид інтерференційної функції. Показано, що багатократне розсіювання може призводити до появи в виразі для інтерференційної функції додаткових осциляцій з частотою, яка може помітно відрізняється від міжатомної відстані.

В висновках до першого розділу сформульовано математичний критерій для експериментальної перевірки придатності представленого формалізму для опису тонкої структури в спектрах пружно відбитих електронів:

$$\frac{R_{\theta_i}^{\max}}{\sin \frac{\theta}{2}} = \text{const} = R_i.$$

де  $R_{\theta_i}^{\max}$  - частота  $i$ -ої осцилюючої складової, що визначається за положенням максимума в Фур'є-образі інтерференційної функції, зареєстрованої в вузький тілесний кут як залежність від хвильового числа  $K$ .

Другий розділ - експериментальний. Тут розглядається постановка експерименту для дослідження природи тонкої структури спектрів пружно відбитих електронів: перевірки правильності моделі однократного розсіювання шляхом реєстрації спектрів пружно відбитих електронів в вузький тілесний кут при різних кутах розсіювання. Розглядається склад і основні технічні характеристики основних вузлів експериментальної надвисоковакуумної установки, що використовувалась для вирішення поставленої задачі, зокрема - аналізатора гальмівного типу з вузькою входною апертурою.

Детально розглядаються схеми реєстрації спектрів пружно відбитих електронів та шляхи виділення тонкої структури. Наводяться приклади спектрів пружно відбитих електронів та тонкої структури. Особливу увагу приділяється нормуванню тонкої структури. В роботі запропоновано нормувати тонку структуру на фон пружно, але некогерентно розсіяних електронів. Це дає змогу не враховувати енергетичну залежність первинного струму, диференційного перетину пружного розсіювання  $i^2(E)$  та апаратної функції аналізатора.

Описано способи приготування досліджуваних зразків і методи контролю їх атомного складу, структури і, в деяких

випадках, мікротопографії.

В першому підрозділі третього розділу розглядаються результати експериментальної перевірки придатності моделі однократного розсіювання для опису тонкої структури в спектрах пружно відбитих електронів. На прикладі Si та Ge показано, що частота осциляцій тонкої структури залежить від кута розсіювання і задовільняє критерій правильності моделі однократного розсіювання для енергій електронів понад  $\sim 100$ ;  $200$  eV.

В другому підрозділі третього розділу приведені результати визначення міжатомних відстаней для розупорядкованих поверхонь C, Si, Ge, GaAs, GaP, InP, SiO<sub>2</sub>, GeO<sub>2</sub>, Bi а також полікристалічних поверхонь Fe, Ni та Nb. Отримані значення виявились в хорошій відповідності до відомих об'ємних міжатомних відстаней. Відхилення на  $\sim 1$ ;  $2\%$  можуть бути пов'язані з відмінністю структури об'єму та поверхні.

Третій підрозділ третього розділу присвячений проблемі визначення координаційних чисел та середніх квадратичних зміщень атомів за амплітудою осциляцій тонкої структури в спектрах пружно відбитих електронів. Координаційні числа та середні квадратичні зміщення атомів першої координаційної сфери (відповідно  $N_1$  та  $\sigma_1$ ) визначались для аморфізованих поверхонь C, Si та Ge. Визначення цих параметрів здійснювалось шляхом обробки нормованої тонкої структури виходячи з виразу для інтерференційної функції, отриманого в першому розділі. Тонка структура попередньо нормувалась на фон пружно, але некогерентно розсіяних електронів. В результаті було встановлено, що для досягнення задовільного співпадіння між експериментальною тонкою

структурою та розрахованою (модельною) інтерференційною функцією, остання мусить бути додатково нормована на фактор виду  $\exp(\alpha/2\lambda_{\text{eff}})$ , де  $\alpha$  - підгоночний параметр. В цьому разі координаційне число, середнє квадратичне зміщення та параметр  $\alpha$  знаходяться як підгоночні параметри. Параметр  $\alpha$  має розмірність довжини і його величина коливається в межах  $1+4 \text{ \AA}$ . Фізичний смисл  $\alpha$  пояснюється як ефективна товщина приповерхневого шару, для якого зроблені припущення (про сферичну симетрію функції радіального розподілу та інші) не справедливі. Отримані значення  $N_i$ ,  $\sigma_i$  та  $\alpha_i$ , де  $i=1,2$  приведені для С, Si та Ge. Для Ge та С виявлено, що для  $\sigma_i$  та  $\alpha_i$  має місце співвідношення  $\sigma_i \sim \alpha_i$ , де  $i=1,2$ . Для аморфізованої поверхні кремнію такого співвідношення не спостерігається, що свідчить про значне розупорядкування кутів між напрямками зв'язків.

В четвертому підрозділі третього розділу розглядаються ефекти, які не вкладаються в рамки запропонованого формалізму. Зокрема розщеплення ліній Фур'є-спектру, та поява в Фур'є-спектрі ліній, положенням яких не відповідають ніякі з відомих міжтомних відстаней. Для їх пояснення застосовується напівякісно розглянута в розділі I модель двократного розсіювання. Моделювання за допомогою ПЕОМ показало, що запропонована модель якісно добре описує згадані вище особливості. В результаті обговорення цих проблем висувається ідея про можливість розвитку електронної голографії неупорядкованих поверхонь на базі тонкої структури в спектрах пружно відбитих електронів.

В висновках до третього розділу стверджується дифракційне походження тонкої структури в спектрах пружно відбитих

електронів та придатність запропонованої моделі для опису тонкої структури. Пропонується простий поверхнево-чутливий метод структури дослідження неупорядкованих поверхонь на базі тонкої структури в спектрах пружно відбитих електронів.

Четвертий розділ присвячений застосуванню методу спектроскопії пружно відбитих електронів для дослідження структури інтерфейсу Bi/a-Si та структури ненасичених окислів кремнію отриманих реактивною іонною імплантацією. Розділ складається з вступу двох підрозділів та висновків. В першому підрозділі показано, що середні міжатомні відстані Si-Si, Si-O та O-O в ненасиченому оксиді кремнію, приготовленому реактивною іонною імплантацією, практично не залежать від кількості імплантованого кисню і підтверджена запропонована раніше модель випадкових зв'язків для опису ближнього порядку в  $SiO_x$ : в найближчому оточенні кожного атома Si знаходиться в середньому  $x$  атомів кисню та  $4-x$  атомів кремнію. В протилежність висловлений в попередніх роботах думці, що  $SiO_x$  є суміш термічно стійких та метастабільних фаз, в цій роботі пропонується вважати  $SiO_x$  за твердий розчин O в Si, де  $x$  статистична величина і залежить від концентрації O.

В другому підрозділі показано, що при субмоношарових покриттях вісмутом поверхні кремнію, середня міжатомна відстань в інтерфейсі Bi/a-Si однакова для усіх пар атомів Bi-Si, Si-Si та Bi-Bi і лінійно зростає із збільшенням ступеня покриття (подібно до закону Вегарда для твердих розчинів). На цій підставі робиться висновок про те, що інтерфейс Bi/a-Si можна трактувати, як квазі-двовимірний твердий розчин Bi в Si.

У висновках до четвертого розділу інтерфейс Bi/a-Si та

ненасичені оксиди кремнію отримані реактивною іонною імплантацією  $O_2^+$ , розглядаються як тверді розчини з протилежними силовими характеристиками: у випадку  $SiO_x$  середні міжатомні відстані підтримуються незмінними за рахунок варіацій кутів між напрямками міжатомних зв'язків, а у випадку інтерфейсу  $Bi/a-Si$  - середні міжатомні відстані зазнають змін в широких межах, щоб незмінним залишався кут між напрямками зв'язків. Крім того у висновках до четвертого розділу відмічається висока чутливість методу ТС СПВЕ до змін ближнього порядку в приповерхневих шарах та сумісність цього методу з іншими електронно-спектроскопічними методами дослідження.

#### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Тонка подовжена структура в спектрах пружно відбитих електронів малих та середніх енергій зумовлена дифракцією на атомах поверхні, що зберігають ближній порядок в своєму взаємному розташуванні.

2. Тонка структура нормована на фон пружно, але некогерентно відбитих електронів, в діапазоні енергій понад 100+200 еВ задовільно описується в наближенні однократного розсіювання. В рамках такого наближення отримано вираз для опису тонкої структури спектрів пружно відбитих електронів в діапазоні енергій електронів понад 100+200 еВ:

$$I(S) = \sum_i N_i e^{-a_i/\lambda_{eff}} e^{-R_i/2\lambda_{eff}} e^{-\sigma_i^2 s^2/2} \frac{\sin SR_i}{SR_i}$$

де підсумовування здійснюється по координаційним сферам,  $R_i$ ,  $N_i$ ,  $\sigma_i$  - відповідно радіус, координаційне число та середнє

квадратичне зміщення атомів 1-ої координаційної сфери,  $\alpha_1$  - підгоночний параметр, який, на наш погляд, може розглядатись як характеристика упорядкованості в межах ближнього порядку.

Критерієм застосування наближення однократного пружного розсіювання є лінійна залежність частоти осциляцій тонкої структури від синуса половинного кута розсіювання.

3. На процес формування тонкої структури в спектрах пружно відбитих електронів суттєвий вплив справляють ефекти багатократного розсіювання. Найбільш виразно вони проявляються на початковій ділянці спектру (до  $\sim 200$  eV) при великих кутах розсіювання ( $\theta > 100^\circ$ ). Запропоновано модель двократного когерентного розсіювання, яка якісно описує особливості початкової ділянки ТС СПВЕ.

4. ТС СПВЕ може бути застосована як метод дослідження структури приповерхневих шарів товщиною  $\leq 10+15$  Å. За допомогою ТС СПВЕ було визначено міжатомні відстані на неупорядкованих поверхнях ряду практично важливих матеріалів. Для розупорядкованих поверхонь кремнію, германію та вуглецю визначені також координаційні числа та середні квадратичні зміщення атомів.

5. Застосування ТС СПВЕ для дослідження адсорбції атомів Ві на аморфізовану поверхню кремнію виявило, що середня міжатомна відстань для пари атомів будь-якої природи в області інтерфейсу залежить від ступеня покриття поверхні вісмутом для субмоносарових покриттів ( $S_{Bi} \leq 1$ ):

$$R(x) \sim R_{Bi} \cdot 0.5 S_{Bi} + R_{Si} (1 - 0.5 \cdot S_{Bi}),$$

де  $R_{Bi}$ ,  $R_{Si}$  - відстані між найближчими сусідами для чистих поверхонь вісмуту і кремнію відповідно.

6. Дослідження за допомогою ТС СПВЕ структури ненасичених оксидів кремнію  $SiO_x$ , отриманих шляхом реактивної іонної імплантації іонів  $O_2^+$  середніх енергій, показали, що ближній порядок в таких системах описується в рамках моделі випадкових зв'язків: кожний атом Si оточений X атомами O та 4-X атомами Si, де X - статистична величина, яка залежить від дози імплантації. Середні міжатомні відстані Si-O, Si-Si та O-O практично не залежать від імплантованої дози.

Основні результати дисертації викладено в роботах:

1. Бондарчук А.Б., Гойса С.Н., Коваль И.Ф., Мельник П.В., Находкин Н.Г. Исследование взаимодействия ионов аргона средних энергий с поверхностью GaP(III)В.-ФТТ, 1986, т.28, №28, с.2819.
2. Бондарчук А.Б., Гойса С.Н., Коваль И.Ф., Мельник П.В., Находкин Н.Г. Авторське свідоцтво №1318114 "Способ исследования структуры поверхности некристаллических тел"
3. Бондарчук А.Б., Гойса С.Н., Коваль И.Ф., Мельник П.В., Находкин Н.Г. Природа тонкой протяженной структуры в спектрах упруго отраженных электронов.- УФЖ, 1990, т.35, №2, с.236.
4. Бондарчук А.Б., Гойса С.Н., Коваль И.Ф., Мельник П.В., Находкин Н.Г. Тонкая протяженная структура в спектрах упруго отраженных электронов.- Известия АН СССР, 1991, т.55, №12, с.2322
5. A.B. Bondarchuk, S.N. Goysa, I.F. Koval, P.V. Melnik, N.G. Nakhodkin.- Extended fine structure in elastically scattered electron spectra. Nature and application to structure analysis. Surf. Sci., 1991, v.258, p.239-246
6. Бондарчук А.Б., Гойса С.Н., Коваль И.Ф., Мельник П.В.,

Находкин Н.Г. Тонка подовжена структура в спектрах пружно відбитих електронів та ближній порядок на поверхні. - УФЖ, 1995, т.40, №4, с.352-357.

7. A.B. Bondarchuck, S.N. Goysa, I.F. Koval, P.V. Melnik, N.G. Nakhodkin. Extended fine structure in elastically scattered electron spectra: Application to a study of Bi on a-Si surface.- Surf. Sci., 1995,

Бондарчук А.Б. Тонкая структура спектров упруго отраженных электронов и определение параметров ближнего порядка неупорядоченных поверхностей твердых тел.

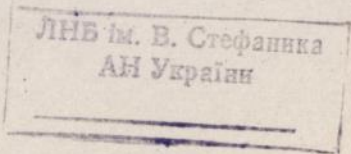
Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04. - физическая электроника. Киевский Национальный Университет им. Тараса Шевченко. Киев 1995 г.

Защищается 7 научных работ, содержащих экспериментальное исследование и математическое описание упругого когерентного рассеяния электронов на неупорядоченных поверхностях твердых тел. Результатом работы есть создание метода анализа структуры тонких приповерхностных слоев основанного на использовании тонкой осциллирующей структуры спектров упруго отраженных электронов.

Ключові слова:

структура, ближній порядок, спектри пружно відбитих електронів, поверхня твердих тіл.

Bondarchuck A.B. Extended fine structure of elastically scattered electron spectra and determination of short-range order parameters for disordered solid surfaces.



Thesis is applied for a degree of Candidate of Science in specialized field of physical electronics.

Kiev Taras Shevchenko National University, Kiev, 1995.

Seven papers are applied for a higher degree contained theoretical description and results of experimental study of extended fine structure in elastically scattered electron spectra of disordered solid surfaces. The results of this work demonstrate the diffraction nature of extended fine structure in elastically scattered electron spectra and its connection with short-range order on the disordered solid surface.

*A.B.*

Підп. до друку 10.05.95 . Формат 60×84<sup>1/16</sup>.  
Папір друк. № 3. Спосіб друку офсетний. Умовн. друк. арк. 0,93 .  
Умовн. фарбо-відб. 1,04 . Обл.-вид. арк. 1,0 .  
Тираж 100 . Зам. № 5-244 .

Фірма «ВІПОЛ»  
252151, Київ, вул. Волинська, 60.



AB 32.618