

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені Ю.ФЕДЬКОВИЧА

---

На правах рукопису

Новіков Сергій Миколайович

РЕНТГЕНОДИФРАКЦІЙНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ДЕФЕКТІВ  
У ВИПАДКУ АКУСТИЧНОЇ ДІЇ НА КРИСТАЛ.

01.04.07 – фізика твердого тіла

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата фізико-математических наук

Чернівці - 1993



7820.575

Робота виконана на кафедрі фізики твердого тіла  
Чернівецького держуніверситету імені Ю.Федьковича

Науковий керівник – доктор фізико-математичних наук,  
професор Раранський М.Д.

Офіційні опоненти: член-кореспондент АН України,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор Молодкін В.В.;  
доктор фізико-математичних наук,  
професор Раренко І.М.

Провідна організація – Інститут Фізики АН України.

Захист відбудеться 26 листопада 1993р. о 15-ій годині  
на засіданні спеціалізованої Ради Д 068.16.01 Черні-  
вецького державного університету (274012, м.Чернівці,  
вул.Коцюбинського, 2).

Дисертація для ознайомлення знаходиться у науковій бібліо-  
отеці Чернівецького держуніверситету вул.Лесі Українки,23.

Автореферат розісланий 26 жовтня 1993р.

Вчений секретар  
спеціалізованої Ради:

М.В.Курганецький

**ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.**

Актуальність проблеми. Рентгенівські дифракційні методи є одними з найбільш потужних методів неруйнівного контролю реальної структури кристалів. Збурення в розповсюдженні блохівських хвиль, спричинені дією пружних деформаційних полів дефектів кристалу, дозволяють виявляти з допомогою рентгенівської топографії не тільки індивідуальні дислокації, мікродефекти, дефекти упаковки та ін., але й визначати їх характеристики і геометрію розміщення.

Труднощі, які виникають при дослідженні рентгенооптичних зображень дефектів в кристалах пов'язані з різноманітністю явищ, що відбуваються при розповсюдженні блохівських хвиль в реальних кристалах. Явища рефракції блохівських хвиль в слабодеформованих кристалах і ефекти міжвіткового розсіяння в сильно спотворених областях часто породжують складні зображення навіть найпростіших дефектів. Тому для однозначної інтерпретації експериментально одержаних багатойнформативних інтерференційних картин необхідно продовжувати дослідження в спеціально підібраних умовах, коли механізми формування дифракційного зображення проявляються найбільш повно і чітко.

В останній час значний інтерес викликають дослідження дифракції рентгенівських променів в акустично збуджених кристалах. Досягнуто певний рівень розуміння рентгеноакустичних взаємодій в ідеальних кристалах для різних діапазонів ультразвукових довжин хвиль. Намітилися напрями використання цього явища для дослідження реальних кристалів. Тому вивчення рентгеноакустичної взаємодії в кристалах, що містять різні структурні дефекти, є актуальним, так як створює передумови розробки нових високороздільних рентгено топографічних і експресних дифрактометричних методів структурної діагностики реальних кристалів.

Метою даної роботи є теоретичне дослідження дифракційних ефектів, які виникають при рентгеноакустичній взаємодії в кристалах, що містять різні структурні дефекти, зокрема:

1. Визначення закономірностей впливу параметрів ультразвуку-

кової хвилі на формування дифракційних зображень різного типу дислокацій на секційних і проєкційних топограмах в тонкому ( $\mu t < 1$ ) і товстому кристалах кремнію;

2. Виявлення механізмів формування дифракційного контрасту мікроефектів типу вакансії і втілення в умовах рентгеноакустичного резонансу;

3. Вивчення особливостей багатохвильової дифракції в акустично збудженому кристалі, який містить одновісні згини атомних площин - еквідистантний і спадний по експоненційному закону.

Наукова новизна роботи визначається сукупністю результатів, сформульованих у висновках до дисертації і приведених на закінчення автореферата. Основні нові результати дисертаційної роботи полягають в такому:

1. Вперше досліджені і встановлені механізми формування дифракційних зображень дислокацій різного типу та орієнтацій в залежності від параметрів ультразвукової хвилі. Характерним є те, що при збудженні в кристалі ультразвукового хвильового поля з довжиною хвилі рівній по значенню екстинкційній довжині (резонансний випадок), спостерігається помітне, а для деяких орієнтацій дислокацій і значне, збільшення дислокаційного контрасту зображення, а також його різновидна трансформація.

2. Показано, що формування зображення "стирчкової" дислокації в кристалі проміжної товщини ( $\mu t \sim 3$ ), повністю визначається селективним, резонансним підсиленням і подавленням ультразвуком інтерференційного проходження тих блохівських хвиль, для яких віддаль між вітками дисперсійної поверхні рівна акустичному хвильовому числу.

3. Вперше досліджено вплив ультразвукового поля на механізм міжвіткового розсіяння для моделі  $72^\circ$ -ної нахиленої до поверхні дислокації. Показано, що в характерній для даного випадку трикутній області зображення дислокації, спостерігається поява додаткових міжвіткових інтерференційних смуг та ріст їх інтенсивності.

4. Показано, що суперпозиція деформацій гвинтової дислокації, орієнтованої паралельно вектору дифракції, і акустичного поля при виконанні умови резонансу веде до зміни екстинкційної

довжини, яка в першому наближенні може бути описана співвідношеннями рентгенівської геометричної оптики.

5. При певних значеннях амплітуди ультразвуку в умовах рентгеноакустичного резонансу, вперше продемонстрована можливість візуалізації мікрodefektів, які в звичайних умовах на рентгенівських топограмах не проявляються. При цьому, розміри дифракційних зображень мікрodefektів, одержаних в точному брегівському положенні дифракції, співрозмірні з такими, які традиційно одержувались на схилі кривої гоїданья.

6. Вперше досліджено вплив одномірних еквідистантного і експоненційного згинів атомних площин на рентгеноакустичну взаємодію в тонкому ( $\mu t < 1$ ) і товстому ( $\mu t \sim 10$ ) кристалах Ge для трихвильової дифракції (111,  $\bar{1}\bar{1}\bar{1}$ ). Встановлено, що при співрозмірних параметрах деформацій ультразвукового поля і еквідистантного згину в умовах рентгеноакустичного резонансу відбується інверсія ефекту аномального поглинання - підсилення інтенсивності дифрагованих хвиль. В той же час експоненційний згин приводить тільки до зміни умови виконання резонансу і розмиття ефекту аномального проходження.

Наукова і практична значимість роботи. Одержані в роботі дифракційні ефекти, закономірності і механізми формування дифракційних зображень різного типу і орієнтацій дислокацій, включень, макродеформаційних полів можуть бути використані як для розробки нових високороздільних топографічних і дифрактометричних методів структурної діагностики кристалів, так і для подальшого розвитку динамічної теорії розсіяння рентгенівських променів реальними кристалами.

Показана перспективність використання ультразвукового поперечного хвильового поля, як своєрідного зонду, для візуалізації на рентгенівських топограмах мікрodefektів, розміри дифракційних зображень яких знаходяться на рівні роздільної здатності, а також і для цілеспрямованого керування рентгенівським хвильовим полем в кристалі.

Основні положення, що виносяться на захист.

1. Механізми та закономірності формування дифракційних зображень дислокацій різного типу та різних орієнтацій в залеж-

ності від параметрів ультразвукової поперечної стоячої хвилі в кристалі Si.

2. Результати теоретичних досліджень впливу Ультразвукових деформацій в умовах рентгеноакустичного резонансу на екстинційно-фазовий і міжвітковий механізми розсіяння рентгенівських променів.

3. Можливості візуалізації мікродефектів в умовах рентгеноакустичного резонансу, дифракційні розміри яких в звичайних умовах знаходяться на рівні роздільної здатності рентгенопографічних методів.

4. Закономірності та механізми багатохвильового розсіяння рентгенівських променів в умовах рентгеноакустичного резонансу при наявності в кристалі макродеформацій типу еквідистантного та експоненційного згину атомних площин.

Апробація роботи. Основні результати досліджень, що лягли в основу дисертації, доповідались і обговорювались на таких конференціях, нарадах і семінарах: 2-й нараді по всеукраїнській міжвузівській комплексній програмі "Рентген" (Чернівці, 1987р.), 4-й всеукраїнській нараді з когерентної взаємодії випромінювання з речовиною (Юрмала, 1989р.), 3-й нараді по всеукраїнській міжвузівській комплексній програмі "Рентген" (Чернівці, 1989р.), 4-й міжнародній конференції з фізики і технології тонких плівок (Івано-Франківськ 1993р.), щітійній конференції Інституту електронної фізики (Ужгород 1993р.) і семінарах кафедри ФТТ ЧТУ.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 12 наукових праць.

Структура і об'єм дисертації. Дисертація складається із вступу, трьох глав, закінчення, списку літератури з 200 найменувань і додатку. Виклад зроблено на 155 сторінках друкованого тексту, що містять 53 рисунка.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ.

У вступі обґрунтовується актуальність вибраної теми досліджень, сформульовані мета і основні задачі роботи, її наукова новизна, практична значимість одержаних результатів, подані ос-

новні положення, що виносяться на захист, а також відомості про апробацію.

В першій главі, що являє собою огляд літератури по темі дисертації, викладені основні положення динамічної теорії дифракції рентгенівських променів в досконалих і спотворених кристалах. З огляду слідує, що теорія і експериментальні методи рентгенівської топографії достатньо розроблені, але вони не можуть, в повній мірі, бути застосовані для дослідження дефектів кристалічної структури з швидкозмінними полями деформацій, зокрема ультразвукових коливань. Розгляд, проведених раніше робіт по дослідженню кристалів в умовах рентгеноакустичного резонансу, вказав на недостатність відомостей про механізми формування зображень окремих дефектів в полі ультразвуку, хоча є думка про їх нетривіальність.

Проведений детальний аналіз публікацій, присвячених ЕОМ-моделюванню різного типу одичних дефектів, на основі чисельних методів рішення рівнянь Такагі-Топена. Математичний аналіз пропонує багато різних методів розв'язку системи рівнянь в частинних похідних першого порядку. Із сукупності відомостей про точність, уніфікованість і експресність методу ми зупинились на методі розв'язку задачі Коші, що базується на розкладі в ряд Тейлора. З трьох варіацій цього методу вибраний варіант похідної на половині кроку інтегрування.

Особливу увагу приділено роботам по експериментальному застосуванню методу рентгеноакустичного резонансу, що дало критерій для практичної оцінки достовірності виконаних в дисертації робіт.

! В другій главі приведені результати досліджень механізмів та закономірностей формування рентгенівського дифракційного зображення дефектів різного виду і орієнтації, в залежності від параметрів ультразвукової хвилі, як то амплітуди  $W$  і довжини хвилі  $\lambda_a$ .

В першому параграфі приведено алгоритм розрахунку, обґрунтовано вибір кроку інтегрування та параметрів падаючої рентгенівської хвилі.

В другому параграфі, в якості моделі, вибрана крайова дис-

локація перпендикулярна вхідній і вихідній поверхням кристалу Si (в подальшому "стирчкова" дислокація). Особливістю такої орієнтації є те, що функція локальних розорієнтацій  $\alpha_d(x, y)$  не залежить від товщини кристалу, і формування рентгенівського зображення проходить за рахунок ефекту внутрішнього відбивання, яке спричиняє специфічні ефекти каналювання.

Зазначимо, що вибір значень амплітуд  $w$  зроблений з розрахованої амплітудної залежності  $I_n(w)$ , яка має осцилюючий, зростаючий характер. Дослідження, в залежності від  $\lambda_s$ , проводились на довжинах хвиль пропорційних довжині екстинкції  $\Lambda$ .

З розрахованих плоскохвильових топограмм для кристалу проміжної товщини ( $\mu t \sim 3$ ) слідує, що в залежності від параметрів ультразвуку, контраст "стирчкової" дислокації може суттєво змінюватись. Найбільш цікаві ефекти спостерігаються для випадку  $\lambda_s = \Lambda$ , як в області слабких  $\epsilon = 10^{-8}$  ( $\epsilon$  - величина акустичної деформації  $\epsilon = \pi w / \lambda_s$ ) так і для значних деформацій  $\epsilon \sim 10^{-6}$ . Аналіз показує, що слабкі деформації приводять до значно швидкого (в два рази) росту дифракційного контрасту пелюсток дислокації, ніж  $\zeta_{\text{ну}}$  (рис.1b). Подальший ріст  $w$  приводить, в цілому, до швидкого пригнічення контрасту дислокації і розмірів її вияву. Великі значення  $\epsilon$  розширюють області повного поглинання рентгенівського випромінювання і подавляють ефекти каналювання. Для проміжних значень  $\epsilon$ , співрозмірної по величині з дислокаційною, внаслідок періодичного "перетискання" дислокації по товщині кристалу, проходить викид інтенсивності в сильно поглинаючі області і її осцилюючий розподіл вздовж площини ковзання (рис.1c).

В нерезонансних випадках помітного уширення розмірів і росту інтенсивності пелюсток дислокації не спостерігалось. При цьому в короткохвильовому випадку подавлення контрасту проходить швидше і при  $w = 1\Lambda$  проходить викид інтенсивності в області  $\alpha(\tau) > 0$ , тобто зміна контрасту пелюсток. Причиною особливостей залежності дислокаційного контрасту від  $\lambda_s$ , напевно, є дисперсійний характер залежності довжини екстинкції від співвідношення  $\lambda_s / \Lambda$  і розщеплення дисперсійних віток.

Виявлені особливості формування амплітудно-фазового зображення "стирчкової" дислокації для секційної топографії в тонко-

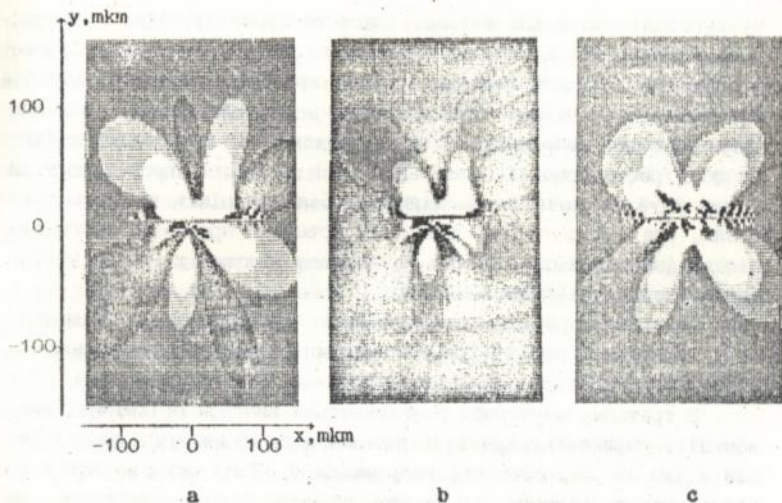


Рис.1. Розрахункові плоскохвильові топограми дифракційного контрасту "стирчкової" дислокації ( $\mu t=3$ ) у випадку  $\lambda_B = \lambda$ : а)  $w=0$ ; б)  $w=0.01\text{Å}$ ; в)  $w=0.5\text{Å}$ . На топограмі в) коефіцієнти контрасту збільшені на порядок порівняно з а)-б).

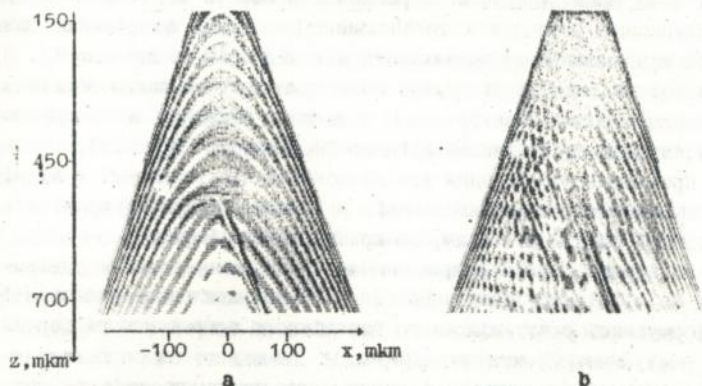


Рис.2. Розподіл інтенсивності  $I_H$  в площині розсіяння, для крайової дислокації паралельної до поверхні у випадку  $\lambda_B = \lambda$ : а)  $w=0$ ; б)  $w=0.1\text{Å}$ . Дислокація в пучності ультразвукової хвилі.

му кристалі. Як і для випадку товстого кристалу, ріст  $w$  приводить спочатку до зростання, а потім до подавлення дифракційного зображення. Для резонансного випадку при  $w=0.1\lambda$  в центрі палатки Бормана має місце 100% збільшення інтенсивності і складна трансформація зображення - повне подавлення центрального піку на фоні росту бокових пелюсток. Схожа ситуація спостерігається і для  $\lambda_g = \lambda/2$ , хоча поява відносно великих піків не тільки по краях, але й в центрі не дає змогу говорити про повну відповідність. Довгохвильова область  $\lambda_g$  найменш чутлива до зміни зображення "стирчкової" дислокації.

Механізм формування дифракційного зображення для "стирчкової" дислокації при дії ультразвукового поля повністю визначається амплітудно-фазовим розсіянням.

В третьому параграфі розглядається випадок орієнтації дислокації, перпендикулярної до площини розсіяння, для якої функція  $a_d(r)$  не залежить від координати  $y$ . Тому можливо повністю відтворювати картину зображення дислокаційного контрасту, що має вигляд характерного "прожектора", розрахунками в площині розсіяння (рис.2а).

Для даного випадку орієнтації дислокації нове хвильове поле заповнює трикутник з вершиною в точці перетину осі дислокації і площини розсіяння і розхилом променів  $2\theta_B$ . Із аналізу розрахункових розподілів інтенсивності слідує, що різниця фаз між блоківськими хвилями залежить від відстані до дислокації. В околі осі дислокації її пружне поле приводить до появи додаткових екстинкційних контурів, і в деяких випадках до значного росту інтенсивності дислокаційного "прожектора" (рис.2б).

Проведені дослідження для дислокацій, що розміщені в вузлі і пучності ультразвукової хвилі, а також по різному залягають по товщині кристалу і відносно країв палатки Бормана.

Четвертий параграф присвячений дослідженню впливу ультразвуку на міжвіткове розсіяння. Для  $72^\circ$ -ної нахилної дислокації при формуванні рентгенівського динамічного зображення на перший план виступають ефекти інтерференції хвиль, що слабо поглинаються, які належать старим і новим, народженим на дефекті, плям. Зображення формується в характерній для даної орієнтації

трикутній області, яка стійка до впливу нерезонансної дії ультразвуку. Не змінюються розміри "трикутника" і при умові  $\lambda_g = \lambda$ , але помітно змінюється область прояву міжвіткового розсіяння. Пройдуть збільшення числа екстинкційних биттів і зростає її інтенсивність. Великі амплітуди  $w_{iA}$  спричинюють зникнення динамічної і "проміжної" складової дислокаційного контрасту, при незмінному зростанні інтенсивності прямого кінематичного зображення.

В цьому ж параграфі розглянута  $60^\circ$ -на дислокація паралельна входній поверхні, для якої  $0 < (H\vec{t}) < 1$ . Дослідження проводились в залежності від глибини залегання дислокації і показали, що всі розглянуті механізми формування контрасту конкурують між собою при створенні зображення даної дислокації в умовах дії ультразвуку.

П'ятий параграф відведений для розгляду зображення гвинтової дислокації, яка паралельна вектору дифракції. Умовно вісь дислокації ділить трикутник Бормана на дві області де рентгено-акустична взаємодія проходить по різному. В нижній, відносно напрямку розповсюдження  $k_g$ , області при виконанні умови резонансу відбувається зменшення періодів маятникових смуг. Показано, що для встановлення величини приросту екстинкційної довжини можливе примінення в першому наближенні співвідношень геометричної оптики рентгенівських хвиль.

Метою проведених в шостому параграфі досліджень було встановлення можливості застосування ультразвуку, як своєрідного зонду, для підсилення контрасту і для збільшення розмірів дифракційної області прояву, невидимих в звичайних умовах мікродефектів.

Розрахунок проводився в плоскохвильовому наближенні для гіпотетичних виключень з параметрами: радіус  $0.16 \text{ мкм}$ ;  $\epsilon = \pm 0.05$ ; розміщення поблизу як входної, так і вихідної поверхонь;  $\text{MoK}_\alpha$ -випромінювання; відбивання (220) і (660);  $T=200 \text{ мкм}$ .

Для більш точних якісних оцінок використовувались одномірні перетини інтенсивності в основі палатки Бормана (рис.3). Оцінка приведених розподілів  $I_n(x)$  в точному положенні відбивання (рис.3а,б) виявляє такі суттєві деталі: збільшення фоно-

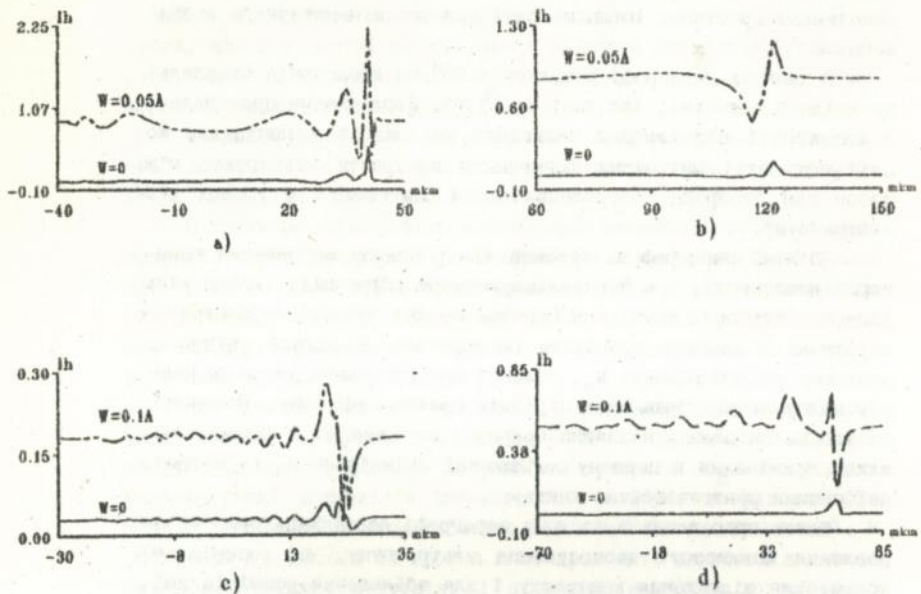


Рис.3. Розподіл інтенсивності  $I_h(x)$  в основі палатки Бормана для точного положення відбивання а) (220); б) (660); в) - д) відповідно на схилі кривої гойдання.

вої інтенсивності в 40 разів і ріст інтенсивності кінематичного зображення над фоною в 1.5 рази при  $w=0.05\lambda$ ; значно збільшується контрастність динамічної складової зображення включення. В загальному ситуація аналогічна випадку, коли точка збудження знаходиться на схилі кривої гоїдання. Тут особливості впливу ультразвуку проявляються не тільки у збільшенні інтенсивності, а і в виявленні тонкої структури зображення (рис.3.с) і збільшенні її контрастності (рис.3д). Ультразвукове деформаційне поле пригнічує когерентну складову розсіяння і підсилює не когерентну. До того ж зображення мікрodefекта таке, ніби точка збудження знаходиться не в точному відбиваючому положенні, а на схилі кривої гоїдання.

Третя глава присвячена теоретичному дослідженню впливу на рентгеноакустичну взаємодію макродеформацій типу ексцидистантного і експоненційного згину атомних площин у випадку трихвильової дифракції (111,  $\bar{1}\bar{1}\bar{1}$ ) як в тонкому ( $\mu t < 1$ ), так і в товстому ( $\mu t \sim 10$ ) кристалах Ge. Дослідження особливостей багатохвильового розсіяння на одномірному сумарному деформаційному полі здійснювалось з допомогою числового рішення системи рівнянь Такагі. Вивчені особливості поведінки інтенсивностей дифрагованих хвиль  $R_m$  при різних орієнтаціях вектора зміщення акустичної хвилі в площині трихвильових векторів дифракції. Виявлено, що як для тонкого, так і товстого кристалів ексцидистантний згин атомних площин, при орієнтації вектора  $U$  і  $H_{200}$  - вектору зв'язуючого відбивання, приводить до суттєвої зміни характеру рентгеноакустичної взаємодії. В тонкому кристалі відбувається перерозподіл інтенсивності в області кристалу, де виконується умова резонансу. В товстому кристалі - інверсія ефекту аномального подавлення (рис.4). Для інших орієнтацій  $U$  по відношенню до  $H_m$  має місце зміщення і розширення характерних провалів для даної трихвильової дифракції. Для спадного по експоненційному закону згину атомних площин багатохвильовий ефект рентгеноакустичного резонансу не тільки послаблюється, але зміщується в короткохвильову область довжин ультразвуку. Показано, що при певному виборі напрямку  $U$  можна керувати процесом подавлення інтенсивності тих чи інших дифрагованих хвиль.

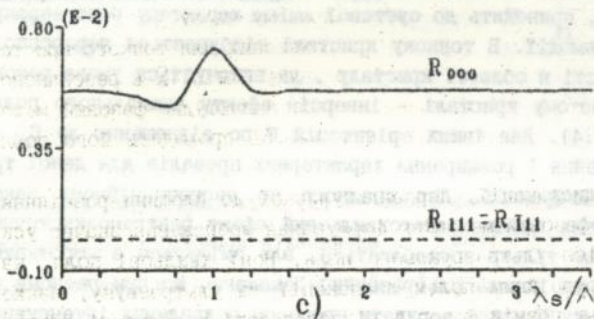
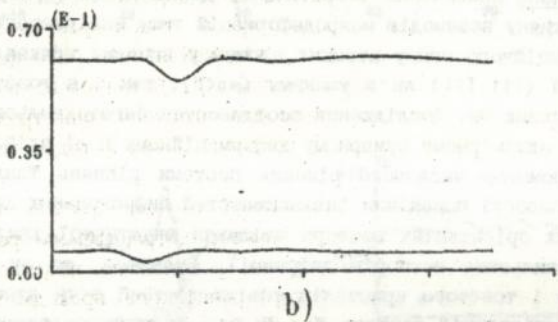
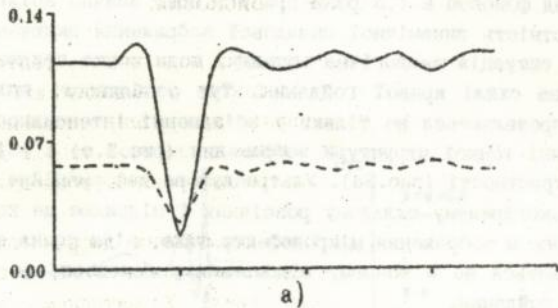


Рис. 4. Залежності інтенсивностей  $R_m(\lambda_B/\Lambda)$  для  $\mu t=10$ , при  $U_{H_{220}}$  у випадку  $a(z)=p\sin(2\pi z/\lambda_B)+kpz$ , де  $p=0.25 \cdot 10^{-5}$   
 а)  $k=0$ ; б)  $k=0.3$ ; в)  $k=0.8$ .

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ.

1. Розроблена методика математичного моделювання рентгєнівського дифракційного зображення дефектів у випадку дії на кристал акустичної хвилі. Адаптовані алгоритми чисельного роз'язку фундаментальної системи рівнянь динамічної теорії для суперпозиції плавних швидкозмінних полів деформацій, розподілєних по об'єму кристалу.

2. Вперше встановлені механізми формування дифракційних зображень дислокацій різного типу та різних орієнтацій, в залежності від параметрів ультразвукової хвилі. Характерним є те, що в резонансному випадку  $\lambda_{\text{в}} = \lambda$  відбувається помітне збільшення дислокаційного контрасту відносно фону а також різновидна трансформація зображення в залежності від механізмів його формування, притаманних різним видам дислокацій. Встановлені закономірності пропонується використати для вдосконалення традиційної рентгєнівської топографії та розробці нових методів дослідження структури.

3. Показано, що в кристалі проміжної товщини ( $\mu t \sim 3$ ), при наявності "стирчкової" дислокації, характер дифракційного розсіяння повністю визначається селективним, резонансним підсиленням і подавленням ультразвуком інтерференційного проходження тих блохівських хвиль, для яких віддалі між вітками дисперсійної поверхні рівна акустичному хвильовому числу.

На секційних топограммах, розрахованих для тонкого кристалу ( $\mu t \sim 1$ ) в області амплітуд ультразвуку  $0 < w < 0.1 \lambda$  в резонансному випадку, в основному, зберігається амплітудно-фазовий механізм формування зображення, а при  $w \geq 0.5 \lambda$  проходить його повне подавлення.

4. Для дислокації, перпендикулярної до площини розсіяння, екстинкційно-фазовий механізм формування зображення значно ускладнюється дією ультразвукового поля. Нові хвильові поля, народжені деформаційним полем дислокації та ультразвуку, знаходяться у більш повній фазовій відповідності в пучності ультразвукової хвилі, в порівнянні з її вузлами. Це приводить до

збільшення на порядок інтенсивності дислокаційного "прожектора" і пропонується для прецизійного встановлення місця залягання дислокації з точністю до півдовжини ультразвукової хвилі. В міру загального послаблення екстинкційного контрасту з товщиною, роль фазового механізму формування зображення значно зростає, що приводить до переважного росту інтенсивності прямого кінематичного зображення дефекту.

5. Вперше проведено дослідження впливу ультразвукового хвильового поля на механізм міжвіткового розсіяння для моделі  $72^{\circ}$ -ної нахиленої дислокації. В характерній для даного випадку трикутній області зображення дислокації, спостерігається поява додаткових міжвіткових інтерференційних смуг та ріст їх інтенсивності. Зауважимо, що ріст  $w$  приводить до пригнічення динамічного і "проміжного" зображення і одночасного підсилення прямого кінематичного, при збереженні загальних розмірів зображення трикутної області.

Для  $60^{\circ}$ -ної дислокації з кутом між  $(H\vec{\tau})=30^{\circ}$ , що паралельна до вхідної поверхні і знаходиться у проміжному положенні між нахиленою і паралельною до вхідної поверхні з  $(H\vec{\tau})=0$  дислокаціями, спостерігається змішаний механізм формування зображення.

6. Досліджено вплив рентгеноакустичної взаємодії на формування зображення гвинтової дислокації, яка знаходиться в "особливому" положенні - в напрямку вектора дифракції. Встановлено, що суперпозиція акустичного і дислокаційного полів деформації веде до зміни екстинкційної довжини, яка в першому наближенні може бути описана співвідношеннями рентгенівської геометричної оптики.

7. Вперше продемонстрована можливість, в умовах рентгеноакустичного резонансу певної амплітуди  $w$ , візуалізації включень, які в звичайних умовах на топограмах не проявлялись. Розміри дифракційного зображення включень, одержані при  $\lambda_s = \lambda$  в точному положенні відбивання, співрозмірні з такими, які одержуються на схилі кривої гойдання. Це досягається шляхом подавлення когерентної складової розсіяння і підсиленням ролі некогерентної, при характерному для тонкого кристалу збільшенню фонові інтенсивності. Тип включень не впливає на загальний ріст фонові.

динамічної та кінематичної складових зображення. Відмічається більш перспективне використання, в плані візуалізації невидимих в звичайних умовах включень, відбивань високих порядків.

8. Вперше теоретично досліджено вплив на ультразвукову взаємодію в умовах резонансу еквідистантного згину атомних площин кристалу Ge у випадку трихвильової дифракції (111,  $\bar{1}\bar{1}$ ). Встановлено, що при орієнтації вектора зміщень  $\mathbf{U}$  і  $\mathbf{H}_{200}$  з ростом  $W$  відбувається інверсія ефекту аномального подавлення інтенсивностей дифрагованих хвиль. При інших орієнтаціях вектора  $\mathbf{U}$  в площині трихвильових векторів дифракції спостерігається зміщення і розширення провалу інтенсивностей в корокохвильову область довжин ультразвуку.

9. Показано, що при наявності в кристалі експоненційно спадаючого поля зміщень багатохвильовий ефект рентгеноакустичного резонансу послаблюється при любых орієнтаціях вектора  $\mathbf{U}$  в відношенні до  $\mathbf{H}_m$ . Вибором напрямку  $\mathbf{U}$  можна керувати процесом подавлення тих чи інших дифрагованих хвиль.

Основні результати дисертації опубліковані в таких наукових працях:

1. Раранский Н.Д., Фодчук И.М., Струк Я.М., Новиков С.Н. Многоволновые эффекты перекачки интенсивности в кристалле Ge, находящемся в поле ультразвуковой волны. - 2-га нарада по всесоюзній міжвузівській комплексній програмі "РЕНТГЕН", Тези доповідей, Єреван, 1987, с.132-133.
2. Раранский Н.Д., Фодчук И.М., Струк Я.М., Новиков С.Н., Ташук О.И. Многоволновая дифракция рентгеновских лучей в кристалле с акустическим полем смещения. - Известия вузов. Серия физика., Томск, 1988, 19с., ил., библиогр.12 назв, (депонировано в ВИНИТИ 24.06.1988, №5012-В88).
3. Раранский Н.Д., Фодчук И.М., Струк Я.М., Новиков С.Н. Трехволновая (111,  $\bar{1}\bar{1}$ ) дифракция рентгеновских волн в кристалле Ge с периодическим полем смещений. - Металлофизика, 1988, т.10, №6, с.59-63.

4. Раранский Н.Д., Фодчук И.М., Струк Я.М., Сергеев В.Н., Новиков С.Н. Особенности многоволновой дифракции рентгеновских лучей в кристалле с периодическим полем смещений.- 4-та всеукраїнська нарада по когерентній взаємодії випромінювання з речовиною, Тези доповідей, Москва, 1988, с.66.
5. Раранский Н.Д., Фодчук И.М., Струк Я.М., Сергеев В.Н., Новиков С.Н. Аномальное прохождение рентгеновских лучей в случае трехволновой (111,111) дифракции в кристалле с акустическим полем смещения.- Кристаллография, 1989, т.34, вып.6, с.1563-1565.
6. Новиков С.Н., Раранский Н.Д., Струк Я.М., Сергеев В.Н., Фодчук И.М. Трехволновая дифракция рентгеновских лучей в кристаллах с периодическим полем деформации.- 3-тя нарада по всеукраїнській міжвузівській комплексній програмі "РЕНТГЕН", Тези доповідей, Єреван, 1989, с.86.
7. Новиков С.Н., Раранский Н.Д., Сергеев В.Н., Струк Я.М., Фодчук И.М. Экспериментальное изучение многоволновых эффектов в кристаллах с акустическими деформациями.- 3-тя нарада по всеукраїнській міжвузівській комплексній програмі "РЕНТГЕН", Тези доповідей, Єреван, 1989, с.90.
8. Fodchuk I.M., Raransky N.D., Struk Y.M., Sergejev V.N., Novikov S.N. X-Ray Acoustic effects in Multiple-beam Complanar Diffraction.- Acta crystallogr. A., 1990, v.46, Sup. C-435.
9. Raransky N.D., Fodchuk I.M., Gimchinsky A.G., Nowikow S.N., Korovjanko O.J. X-ray diffraction topography of crystal defects using acoustic excitation.- 4-та міжнародна конференція з фізики і технології тонких плівок, Тези доповідей, Івано-Франківськ, 1993, с.224.
10. Раранский Н.Д., Фодчук И.М., Новиков С.Н., Коровяноко О.Ж. Влияние ультразвука на формирование контраста дислокаций.- Металлофизика, 1993, т.15, №, с.45-48.
11. Раранский Н.Д., Фодчук И.М., Гимчинский А.Г., Сергеев В.Н., Струк Я.М., Новиков С.Н., Шафраник В.П. Влияние акустических деформаций на муаровые картины.- Металлофизика, 1993, т.15, №2, с.72-79.
12. Раранский Н.Д., Фодчук И.М., Новиков С.Н., Коровяноко О.Ж.

Гимчинский А.Г. Влияние ультразвука на формирование конт-  
раста дислокации в кремнии.- Вівільна конференція ІВВ-93.  
Збірник доповідей, Ужгород, 1993, с.51-54.

Підписано до друку 22.10.1993р.  
Формат 60x84/16. Папір друкарський 2  
Офсетний друк. Умов.друк. аркушів 1.4  
Тираж 100 примірників. Безкоштовно.

AB 28.375

- 20 -

**AB 28.375**