

ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ім. Ю.ФЕДЬКОВИЧА

На правах рукопису

ГІМЧИНСЬКИЙ
Олександр Георгійович

РЕНТГЕНОАКУСТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ
РЕАЛЬНИХ МОНОКРИСТАЛІВ КРЕМНІЮ

01.04.10 - фізика напівпровідників і діелектриків

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Чернівці - 1995

37.226

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі фізики та
державного університету ім. Ю.Федьковича.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00761220 (1)

Науковий керівник: доктор фізики
професор Раринський Микола Дмитрович

Офіційні опоненти: член-кореспондент НАН України,
доктор фізико-математичних наук,
професор Молодкін Вадим Борисович

доктор фізико-математичних наук,
професор Раренко Іларій Михайлович

Провідна організація: Інститут фізики напівпровідників НАН України,
Київ.

Захист відбудеться 26 жовтня 1995 р. о 15-й годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 07.01.16 при Чернівецькому державному університеті ім. Ю. Федьковича (274012, м. Чернівці, вул. Університетська 19, велика фізична аудиторія). Відгуки на автореферат у двох примірниках, завірених печаткою установи, просимо надсилати за адресою: 274012 м. Чернівці, вул. Коцюбинського, 2, Чернівецький держуніверситет.

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці Чернівецького державного університету ім. Ю. Федьковича (вул. Л.Українки, 23).

Автореферат розісланий "26 вересня 1995р."

Вчений секретар
спеціалізованої Ради

М.В. Курганецький

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми досліджень. Дисертація присвячена теоретичному і експериментальному дослідженню закономірностей впливу дефектів структури на рентгенодифракційні і рентгеноакустичні ефекти в кристалах та розвитку, на основі одержаних результатів, нових методів структурної діагностики реальних кристалів. Задачі сучасної оптико-мікроелектроніки вимагають суттєвого покращення структурної досконалості напівпровідникових матеріалів. Характерною особливістю цих матеріалів є наявність в них різноманітних дефектів, що з одного боку складне цілеспрямоване керування ними, а з іншого обумовлює широкий спектр електрофізичних властивостей. Вивчення процесів дефектоутворення, що виникають при електронному опроміненні з надзвичайно важливим як для технологічного процесу виготовлення приладів, так і для експлуатації їх в умовах жорстких зовнішніх середовищ.

Переважає більшість макроскопічних властивостей кристалу визначається усередненими (статистичними) характеристиками його реальної структури. Тому важливого значення набуває розширення можливостей рентгенодифрактометричних методів дослідження дефектів структури напівпровідникових кристалів, які базуються на особливостях розподілу інтенсивності розсіяного випромінювання в просторі оберненої ґратки.

Останнім часом значний інтерес викликають дослідження дифракції рентгенівських променів в акустично збуджених кристалах. Періодичність деформацій ультразвукової стоячої поперечної хвилі дозволяє провести наочний і послідовний аналіз закономірностей дифракційної взаємодії рентгенівських променів з реальним кристалом. Акустична дія, крім того, дозволяє керувати рентгенівським хвильовим полем всередині кристалу, що значно розширює можливості методів ідентифікації різних структурних недосконалостей. Сучасний рівень

розвитку динамічної теорії розсіяння рентгенівських променів реальними кристалами, а також останні досягнення в дослідженні механізмів рентгеноакустичних взаємодій в досконалих і майже досконалих кристалах, дозволяють сподіватися, що встановлення фізичної природи і механізмів рентгеноакустичної взаємодії в кристалах з різним типом дефектів суттєво розширять можливості отримання і доповнять якісну і кількісну інформацію про реальну картину спотворення кристалічної ґратки. Це дає можливість більш конкретизувати уявлення про взаємозв'язок структурних і електрофізичних властивостей напівпровідникових кристалів, що і визначає актуальність даної теми досліджень.

Необхідно зауважити, що складність аналітичного опису рентгеноакустодифракційних ефектів в реальних монокристалах потребує для аналізу і однозначної інтерпретації одержаних результатів розробки і застосування нових методів математичного моделювання процесів динамічного розсіяння рентгенівських променів на сучасних швидкодіючих ЕОМ.

Метою даної роботи є експериментальне і теоретичне дослідження механізмів дифракційних та рентгеноакустичних ефектів в реальних кристалах, які одночасно містять статичні і акустичні спотворення структури. При цьому вирішувались наступні задачі:

1. Виявлення структурних змін, що виникають при високоенергетичному електронному опроміненні кристалів Si.

2. Дослідження закономірностей впливу смуг росту і свірлових дефектів на характер амплітудної залежності інтегральної відбиваючої здатності кристалу і оцінка неоднорідності акустичного хвильового поля.

3. Визначення впливу параметрів ультразвукової хвилі на рентгеноакустичну взаємодію в реальних кристалах кремнію.

4. Дослідження впливу сквідистантного і експоненційного згину атомних площин на формування просторового розподілу інтенсивності

дифрагованого пучка і амплітудних залежностей в умовах рентгено-акустичного резонансу.

Методи дослідження: одно- і двокристална рентгенівська дифрактометрія, рентгенівська топографія, числові методи з розробкою алгоритмів і програмного забезпечення розв'язку системи рівнянь в частинних похідних із змінними коефіцієнтами.

Наукова новизна роботи визначається сукупністю результатів, сформульованих у висновках до дисертації і наведених на закінчення автореферату. Основні нові результати дисертаційної роботи:

1. Вперше рентгенографічно досліджені структурні зміни в кристалах Si, що виникають після високоенергетичного опромінення електронами. Встановлено, що таке опромінення приводить до покращення структурної досконалості кристалів, що вирощені методом Чохральського. Визначені структурно чутливі інтегральні характеристики кристалів: фактор Дебая-Валлера L ; коефіцієнт дифузного поглинання μ_d .

2. Досліджені рентгеноакустичні взаємодії в довгохвильовій області ультразвукових коливань (УЗК) на кристалах, що містять смуги росту. Встановлена повторювальність картини рентгеноакустичного резонансу в довгохвильовій області при частотах УЗК, кратних основній гармоніці. Показана можливість використання даного ефекту для дослідження довгоперіодних спотворень кристалічної ґратки.

3. Вперше проведені теоретичні дослідження на основі рівнянь Такаґі впливу коротко- і довгохвильових акустичних деформаційних полів в кристалах з експоненційним і еквідистантним згином атомних площин на просторовий розподіл інтенсивності дифрагованого пучка і амплітудні залежності інтегральної інтенсивності в умовах рентгеноакустичного резонансу.

Наукова і практична значимість роботи. Отримані в роботі нові дані суттєво розширюють фізичні уявлення про механізми рентгеноакустичних взаємодій в реальному кристалі і можуть бути практично

використані як для розробки нових неруйнуючих дифракційних методів дослідження монокристалів, так і для подальшого розвитку динамічної теорії розсіяння рентгенівських променів.

Зокрема досліджені структурні зміни кристалів Si після високоенергетичного опромінення електронами створюють нові можливості керування структурною досконалістю кристалу.

Встановлення повторюваності рентгеноакустичного резонансу дає можливість відділяти короткоперіодні деформаційні поля від довгоперіодних.

Проведене теоретичне моделювання впливу різних за природою деформаційних полів на рентгеноакустичну взаємодію значно розширює уявлення про фізичні механізми її поведінки в реальних кристалах.

Ступінь достовірності. Достовірність одержаних результатів забезпечувалась шляхом застосування незалежних експериментальних методів дослідження та широке використання методів математичного моделювання. Порівняння отриманих в роботі результатів з даними існуючих літературних джерел також підтверджує достовірність основних результатів роботи.

Основні положення, що виносяться на захист.

1. Нові рентгеноакустодифракційні ефекти, які виникають в наслідок впливу високоенергетичного опромінення електронами на структурну досконалість кристалів кремнію, вирощених методом Чохральського.

2. Рентгеноакустична взаємодія в довгохвильовій області ультразвукових коливань в кристалах, що містять смуги росту. Встановлена повторювальність картини рентгеноакустичного резонансу в довгохвильовій області при частотах УЗК, кратних резонансній гармонії.

3. Встановлені механізми і закономірності впливу параметрів коротко- і довгохвильових акустичних деформацій, еквідистантного і експоненційного згинів на рентгеноакустичну взаємодію в кристалі.

Апробація роботи. Результати досліджень, що лягли в основу дисертації, доповідались і обговорювались на таких конференціях, нарадах і семінарах: IV міжнародній конференції з фізики і технології тонких плівок (Івано-Франківськ, 1993р.), Ювілейній конференції Інституту електронної фізики (Ужгород, 1993р.), II Європейському симпозиумі "Рентгенівська топографія і високороздільна дифрактометрія" (Берлін, 1994р.), і семінарах кафедри ФТТ ЧДУ.

Особистий внесок. Дослідження, представлені в дисертації, результатом самостійної роботи автора, якому належать реалізація експериментів і теоретичних розрахунків, формулювання загальних висновків дисертації і основних положень, що виносяться на захист. Окремі положення експериментально перевірялись у співавторстві із співробітниками кафедри ФТТ Чернівецького держуніверситету.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 8 друкованих праць, приведених на закінчення автореферету.

Структура і об'єм дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, закінчення, списку літератури з 180 джерел і додатку. Виклад зроблено на 140 сторінках друкованого тексту, що містять 33 рисунки і 5 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність вибраної теми досліджень, сформульовані мета і основні задачі роботи, її наукова новизна, практична значимість одержаних результатів, представлені основні положення, які виносяться на захист, а також відомості про апробацію.

В першому розділі, що є оглядом літератури по темі дисертації, викладені основні положення динамічної теорії дифракції рентгенівських променів в досконалих і спотворених кристалах. Проведений детальний аналіз публікацій, які присвячені теоретичному і експериментальному дослідженню особливостей розсіяння рентгенівських

хвиль в акустично збуджених кристалах. Приведений також літературний огляд розвитку теорії і практичного використання методів діагностики мікродфектів, оснований на аналізі величин інтегральної відбиваючої здатності кристалу у випадку Брег- і Лауе-дифракції рентгенівських променів.

В другому розділі приведені основні результати експериментальних досліджень впливу високоенергетичного опромінення електронами на структурні зміни в кристалах, вирощених методом Чохральського.

Рентгенівська дифрактометрія, в основі якої використовується аналіз інтегральних (усереднених по об'єму розсіяння) характеристик дефектних структур є одним із найбільш ефективних методів діагностики структурної досконалості кристалів. Наявність в об'ємі розсіяння локальних порушень періодичності структури приводить до появи двох основних ефектів, які конкурують між собою: зменшення амплітуди хвиль когерентно розсіяних променів в ґратці з статистично розподіленими дефектами і виникнення дифузного фону. Використовуючи однокристалъну схему дифракції, виділення дифузної складової розсіяння на кристалах, опроміненних електронами, проводилось шляхом аналізу просторового розподілу інтенсивності дифрагованого в геометрії Брега пучка $I_B(x)$. Об'єктами досліджень були бездислокаційні зразки Si, вирощені методом Чохральського. Одна частина зразків різної товщини опромінювалась високоенергетичними електронами: енергія опромінення - $E=10\text{MeV}$, перша доза - $\Phi_e=5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ при густині потоку $\phi_e=1.9 \cdot 10^{12} \text{ ел.см}^{-2}\text{с}^{-1}$; друга доза - $\Phi_e=5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, $\phi_e=5 \cdot 10^{11} \text{ ел.см}^{-2}\text{с}^{-1}$; третя доза - $\Phi_e=10^{16} \text{ см}^{-2}$, $\phi_e=6.3 \cdot 10^{11} \text{ ел.см}^{-2}\text{с}^{-1}$. Друга частина тих же зразків, використовувалась в якості контрольних для визначення структурних змін, що відбуваються при опроміненні. Відмітимо, що зразки містили рівномірно розподілені мікродфекти і смуги росту. Крім того, для порівняння, в якості еталона використовувався високодосконалий зразок кремнію, вирощений методом беттінгельної зонної плавки.

Аналіз просторових розподілів інтенсивності $I(x)$, а також дослідження зміни характеру залежностей абсолютних значень інтегральної відбиваючої здатності (ІВЗ) R_i для даних кристалів від порядку симетричних рефлексів (333), (444), (555), (777), (888) в $MoK_{\alpha 1}$ - випромінюванні в одно- і двокристалній схемі, показує, що високоенергетичне опромінення електронами в цілому покращує ступінь структурної досконалості кристалу. В таблиці 1 приведені інтегральні характеристики структурної досконалості досліджуваних кристалів: фактор Дебая-Валлера L і коефіцієнт дифузних втрат μ_d . При цьому слід відмітити, що із збільшенням дози опромінення наростає різниця у відбиваючій здатності двох сторін опроміненого зразка (рис. 1). Нижня сторона зразка виявилась більш досконалою ніж та, яка безпосередньо опромінювалась. Пояснюється це наявністю в приповерхневих шарах сильно спотворених областей вдовж напрямку траєкторій, вибитих електронами атомів з великими енергіями. Вдовж таких траєкторій відбувається сильне локальне нагрівання, внаслідок чого може виникнути розплавлення кристалу з подальшим затвердінням "рідинноподібної" структури.

Для уточнення можливості таких структурних змін як в об'ємі кристалу, так і в приповерхневих шарах використовувався двокристалний спектрометр в косонесиметричній геометрії дифракції досліджуваного кристалу [3]. Дана схема дозволяє дослідити структурні зміни в кристалах в досить широкому діапазоні товщин, внаслідок зміни екстинкційної довжини.

Криві гойдання, зняті з обох сторін зразка при різних кутах азимутального сканування вказують на те, що при зменшенні глибини проникнення рентгенівських променів в кристал величина середньої зміни періода кристалічної ґратки опроміненої сторони зростає. Це може бути викликано дією високоенергетичних електронів при їх зіткненнях із атомами ґратки і утворенням "рідинноподібної" фази внаслідок локального нагріву кристалу.

Таблиця 1. Інтегральні характеристики кристалу до і після електронного опромінення

а) Порядок відбиття hkl	Інтегральна відбиваюча здатність R_i				
	333	444	555	777	888
Кристали					
№1 Зразок безтигельної зонної плавки. Еталон. (R_i^p - розрахунок)	3.118	2.123	0.67045	0.49258	1.1545
№2 Вихідний неопромінений зразок.	3.108	2.0779	0.6800	0.5157	1.283
№3 Опромінений зразок					
а) опромінена сторона	3.080	2.112	0.6665	0.51	1.286
б) неопромінена	3.070	2.083	0.6638	0.50	1.254
№4 Опромінений зразок					
а) опромінена сторона	3.204	2.139	0.6802	0.531	1.308
б) неопромінена	3.135	2.116	0.6776	0.5295	1.284
№5 Опромінений зразок					
а) опромінена сторона	3.166	2.115	0.6800	0.5084	1.245
б) неопромінена	3.184	2.104	0.6784	0.50119	1.256
Кінематична границя розрахунку R_i^k	51	34	5,9	2.247	5.592

б) Порядок відбиття hkl	Статичний фактор Дебая-Валлера $L \cdot 10^3$			Коефіцієнт дифузного поглинання μ_d <small>см⁻¹</small>
	555	777	888	
Кристали				
№2 Вихідний неопромінений зразок.	0.859	5.848	12.99	6.01
№3 Опромінений зразок				
а) опромінена сторона	-----	4.306	13.3	8.93
б) неопромінена	-----	1.858	10.2	5.50
№4 Опромінений зразок				
а) опромінена сторона	0.8768	9.700	10.03	10.825
б) неопромінена	0.8590	9.318	10.03	9.620*
№5 Опромінений зразок				
а) опромінена сторона	0.8768	3.970	9.110	8.930
б) неопромінена	0.6428	2.157	10.23	4.470

В третьому розділі наведені результати експериментальних досліджень рентгеакустичної взаємодії в кристалах, що містять смуги росту та мікродофекти і опромінювались електронами високих енергій. Розглянуто вплив реальної структури на відбиваючу здатність акустично збудженого кристалу в умовах $\mu t > 3$ (μ - лінійний коефіцієнт поглинання, t - товщина). Досліджувались просторові розподіли інтенсивності по палатці Бормана на різних гармоніках в коротко- і довго-

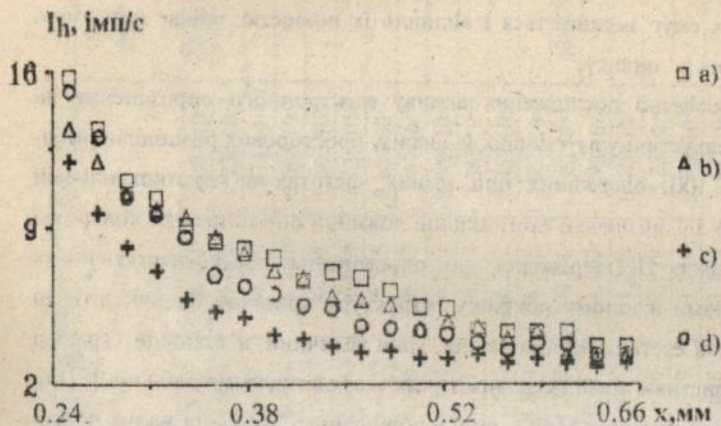


Рис.1. Просторові залежності $I_{11}(x)$. (777) відбивання $\text{MoK}_{\alpha 1}$ - випромінювання: а) опромінена сторона зразка №4; б) неопромінена сторона зразка №4; с) зразок №1 - безтительна зонна плавка; д) вихідний неопромінений зразок №2.

хвильовій області УЗК. Показано, що на гармоніках, кратних резонансним частотам, в довгохвильовій області УЗК тонка структура просторового розподілу інтенсивності вздовж основи пала ки Бормана співпадає із резонансною. В той же час чутливість амплітудних залежностей інтегральної інтенсивності є вищою для випадку близького до рентгеноакустичного резонансу, ніж кратного. Підкреслюється, що кратні резонансні частоти можуть бути ефективно використані для визначення типу дефектів і їх полів деформацій.

Досліджено вплив мікрodefektів і смуг росту на рентгеноакустичну взаємодію в коротко-і довгохвильовій області УЗК в кристалах, вирощених методом Чохральського. Визначені їх інтегральні структурні характеристики. В довгохвильовій області УЗК на частотах, що відповідають умові механічному резонансу, на різних відстанях від п'єзоперетворювача виявлена система муарових смуг, яка є результатом взаємодії акустичного і рентгєнівського полів в кристалах. цьому, при

наближенні до резонансної частоти із довгохвильової області, період муарових смуг зменшується і видність їх повністю зникає при умові виконання резонансу.

Проведено дослідження впливу електронного опромінення на рентгеноакустичну взаємодію. Із аналізу просторових розподілів інтенсивності $I(x)$, одержаних при різних частотах в короткохвильовій області УЗК, визначені екстинкційні довжини опромінення і контрольних зразків. Підтверджено, що опромінення високоенергетичними електронами в цілому покращує структуру кристалу і приводить до зменшення екстинкційної довжини. Дані величини, а також інтегральні характеристики досліджуваних зразків представлені в таблиці 2. При цьому використання MoK_{β} -лінії в порівнянні з MoK_{α} на малих порядках відбивання є більш ефективною.

В четвертому розділі на основі числового рішення рівнянь Такагі аналізується вплив коротко- і довгохвильових акустичних деформаційних полів, еквідистантного і експоненційного згинів атомних площин на рентгеноакустичну взаємодію в кристалі Si ($\mu t = 5$, порядък відбивання (220) MoK_{α} -випромінення).

Одним із основних завдань, що розглядаються в даному розділі, є теоретичне підтвердження ефекту неадитивного впливу статичних та акустичних деформацій на повну інтегральну відбиваючу здатність кристалу [2]. Модель статичних деформацій вибиралася різною. Перша модель - це довго- і короткоперіодні акустичні деформації. Як слідує із аналізу одержаних результатів, комбіноване ультразвукове поле, що створюється двома незалежними джерелами, подавляє рентгеноакустичну взаємодію як в коротко-, так і довгоперіодній області акустичних деформацій (рис.2 і 3). При цьому вигляд амплітудної залежності $I_h(W)$ в цілому якісно такий же, як і в кристалах з хаотично розподіленими в об'ємі статичними дефектами.

Таблиця 2. Інтегральні характеристики структурної досконалості, визначені методом РАР.

№ зразка	T, мм	Вид вирощування	Опромінення електронами	Падаюче випромінювання	μ t	v_s , МГц	$x \cdot 10^2$, см	Λ , мкм	L	Λ_D , мкм
1	8.422	БЗП		MoKa ₁	12.33	140.45	3.65	36.269	$2.093 \cdot 10^{-4}$	36.261
2	10.585	Чохр.		MoKa ₁	15.5	139.38	4.808	36.306	$1.238 \cdot 10^{-3}$	
						139.8697	5.637	36.546	$.811 \cdot 10^{-3}$	
						140.380	6.964	36.5109	$9.593 \cdot 10^{-3}$	
6	6.592	Чохр.		MoKa ₁	9.65	138.1	1.9897	36.759	$1.363 \cdot 10^{-3}$	
						138.98	2.9845	36.675	$1.135 \cdot 10^{-2}$	
						140.0104	3.8135	36.576	$8.654 \cdot 10^{-3}$	
3	10.684	Чохр.	Опром.	MoKa ₁	15.64	140.9	6.466	36.387	$3.47 \cdot 10^{-3}$	
4	6.275	Чохр.	Опром.	MoKa ₁	9.19	140.5297	4.145	36.577	$8.656 \cdot 10^{-3}$	
5	4.519	Чохр.	Опром.	MoKa ₁	6.62	140.039	1.99	36.384	$3.365 \cdot 10^{-3}$	
						141.159	2.653	36.292	$8.457 \cdot 10^{-4}$	
						142.909	3.814	36.336	$2.055 \cdot 10^{-3}$	
1	8.422	БЗП		MoK β	8.83	140.6998	1.343	40.94	$1.02 \cdot 10^{-3}$	40.898
6	6.592	Чохр.		MoK β	6.912	140.3999	10.612	41.143	$5.98 \cdot 10^{-3}$	
7	4.402	Чохр.		MoK β	4.615	126.7002	3.6477	41.228	$8.046 \cdot 10^{-3}$	
3	10.684	Чохр.	Опром.	MoK β	11.2	139.68	16.58	40.919	$5.35 \cdot 10^{-4}$	
4	6.275	Чохр.	Опром.	MoK β	6.58	125.3501	3.979	41.116	$5.328 \cdot 10^{-3}$	
						124.9498	3.648	41.124	$5.543 \cdot 10^{-3}$	
						124.3897	3.316	41.198	$7.328 \cdot 10^{-3}$	
5	4.519	Чохр.	Опром.	MoK β	4.738	139.7603	7.129	41.086	$4.605 \cdot 10^{-3}$	

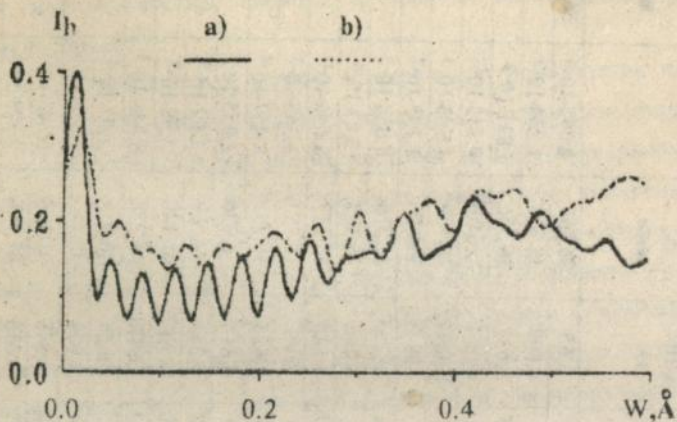


Рис.2. Амплітудна залежність $I_h(W)$ при комбінованій дії двох УЗК: а) резонансного $\lambda_s = \Lambda$; б) $\lambda_s = \Lambda$ і короткохвильового $\lambda_{s1} = \Lambda/2$.

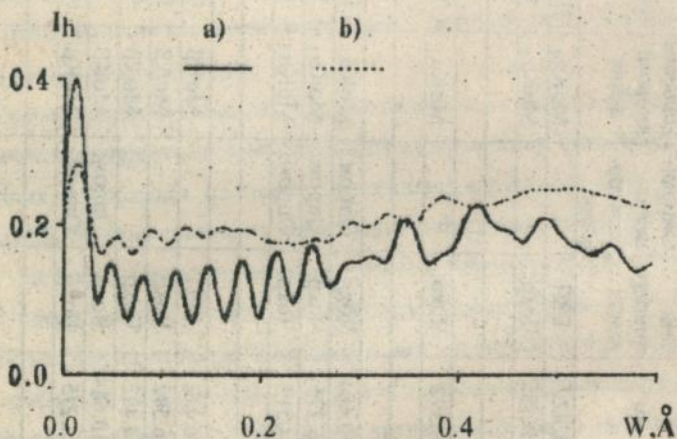


Рис.3. Амплітудна залежність $I_h(W)$ при комбінованій дії двох УЗК: а) резонансного $\lambda_s = \Lambda$; б) $\lambda_s = \Lambda$ і довгохвильового $\lambda_{s1} = 3\Lambda$ (враховано розбіжність пучка).

Друге модельне представлення - вплив експоненційних спотворень кристалічної ґратки на рентгеноакустичну взаємодію. Аналізувався просторовий розподіл інтенсивності по палатці Бормана. Показано, що у випадку порушення вхідної поверхні виникає значна асиметрія просторового розподілу інтегральної інтенсивності і деякий її ріст в області слабких деформацій, а також її подавлення в області сильних деформацій. У випадку порушення вихідної поверхні - подавлення РАР.

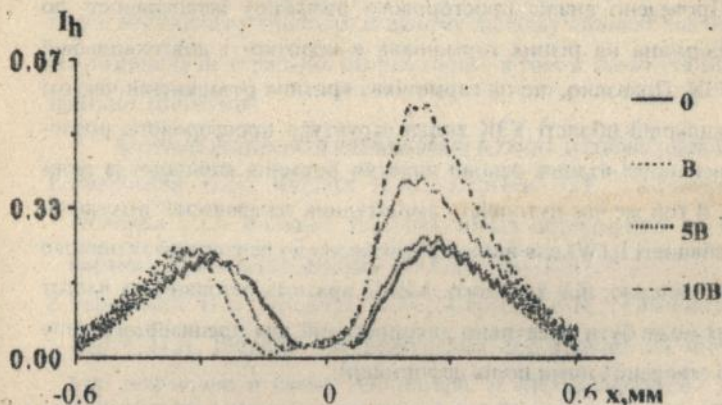


Рис.4. Просторовий розподіл при комбінованій дії двох полів: резонансного $\lambda_s = \Lambda$ і еквідистантного Bz^2 .

Третя модель - еквідистантний згин атомних площин в акустично збудженому кристалі. Аналізувались також величини $I_h(x)$. Цей випадок найбільш цікавий з точки зору трансформації вигляду $I_h(x)$ (рис.4). Виникає значна асиметрія розподілу $I_h(x)$, а також розмиття міжполяризаційних мінімумів.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу просторового розподілу інтегральної інтенсивності і залежності абсолютного значення її від порядку відбивання досліджено вплив високоенергетичного опромінення електронами на структурні зміни в кристалах Si. Показано, що високоенергетичне опромінення електронами, в цілому, покращує ступінь структурної доскона-

лості кристалу. В той же час дещо пошкоджується опромінена поверхня кристалу.

2. Параметри кривих гойдання, отриманих з обох сторін зразка при різних кутах азимутального сканування в косонесиметричній схемі дифракції, вказують на те, що при зменшенні глибини проникнення рентгенівських променів в кристал усереднена величина періоду кристалічної ґратки зростає в напрямку опроміненої поверхні.

3. Проведено аналіз просторового розподілу інтенсивності по палатці Бормана на різних гармоніках в коротко- і довгохвильовій області УЗК. Показано, що на гармоніках кратних резонансній частоті в довгохвильовій області УЗК тонка структура просторового розподілу інтенсивності вздовж основи палатки Бормана співпадає із резонансною. В той же час чутливість амплітудних залежностей інтегральної інтенсивності $I_h(W)$ для випадку близького до рентгеноакустичного резонансу є вищою, ніж кратного. Метод кратних резонансних частот (гармонік) може бути ефективно використаний для прецизійного типу дефектів і створених ними полів деформацій.

4. Визначені екстинкційні довжини опромінених і неопромінених зразків Si. Підтверджено, що опромінення високоенергетичними електронами в цілому покращує структуру кристалу, а екстинкційна довжина зменшується до значень близьких до теоретичних (еталонного кристалу, вирощеного методом безтигельної зонної плавки).

5. Теоретично підтверджено ефект неадитивного впливу статичних та акустичних деформацій на повну інтегральну відбиваючу здатність кристалу Si. Показано, що комбіноване ультразвукове поле, яке створюється двома незалежними джерелами, пригнічує рентгеноакустичну взаємодію як в коротко-, так і довгоперіодній області акустичних деформацій. При цьому вигляд амплітудної залежності $I_h(W)$ в цілому якісно такий же, як і в кристалах з хаотично розподіленими в об'ємі статичними дефектами, що експериментально підтверджується в

роботах В.Хрупи.

6. Показано, що у випадку спотворень входної поверхні кристалу виникає значна асиметрія просторового розподілу і деякий ріст інтегральної інтенсивності в області слабких деформацій, а також подавлення її в області сильних деформацій. У випадку спотворень вихідної поверхні спостерігається подавлення рентгеноакустичного резонансу. Найбільші зміни просторового розподілу інтегральної інтенсивності мають місце у випадку еквідистантного згину атомних площин в акустично збудженому кристалі. В даному випадку виникає значна асиметрія розподілу інтегральної інтенсивності а також розмиття міжполярізаційних мінімумів.

Основні результати опубліковані в таких наукових працях:

1. Раранский Н.Д., Фодчук И.М., Сергеев В.Н., Гимчинский А.Г., Новиков С.Н. Влияние ультразвуковых деформаций на муаровые картины. // Металлофизика.- 1993.-15, №1.- С.47.
2. Раранский Н.Д., Фодчук И.М., Сергеев В.Н., Гимчинский А.Г., Борча М.Д. Влияние ультразвуковых деформаций на многоволновую дифракцию в схеме Реннингера. // Металлофизика.- 1993.- 15, №2.- С.97.
3. 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. // Темі доповідей 4-ї міжнародної конференції по фізиці тонких плівок. - Івано-Франківськ.- 1993.- С.224.
4. Раранский Н.Д., Фодчук И.М., Новиков С.Н., Коровяно О.Ж., Гимчинский А.Г. Влияние ультразвука на формирование дифракционного контраста дислокации в кремнии. // Сборник докладов юбилейной конференции ИЭФ-93.- Ужгород.- 1993. - С.51.
5. Раранский Н.Д., Фодчук И.М., Новиков С.Н., Коровяно О.Ж., Гимчинский А.Г. Особенности рассеяния рентгеновских лучей в акустически возбужденном кристалле, содержащем микродефекты,

// *Металлофизика*. - 1994. - 16, №4. - С.33.

6. Раранський М.Д., Фодчук І.М., Новіков С.М., Коров'янко О.Ж., Гімчинський О.Г. Нові можливості рентгенівської топографії акустично збуджених напівпровідникових кристалів. // Abstract the First International Conference on Material Science of Chalcogenide and Diamond-Structure Semiconductors. - Chernivtsi. - 1994. - P.10.
7. Raransky N.D., Fodchuk I.M., Novikov S.M., Gimchinsky O.G., Marmus P.E. The Ultrasound Influence on Diffraction Contrast Formation of Dislocation in Si-crystals. // Abstract Interference Phenomena in X-Ray Scattering. - Moscow. - 1995. - P.43.
8. Raransky N.D., Fodchuk I.M., Novikov S.M., Gimchinsky O.G., Marmus P.E. The Diffraction Contrast Formation of Dislocation in Si-crystals with Ultrasound. // Abstract International School-Conference "Physical Problems in Material Science of Semiconductors". - Chernivtsi. - P.94.

Література

1. Молодкин В.Б. Динамическая теория рассеяния излучений кристаллами с макроскопически однородно распределенными дефектами произвольного типа: Автореферат дис. ... д-ра физ. мат. наук. - Киев, 1984. - 28 с.
2. Даценко Л.И., Молодкин В.Б., Осинковский М.Е. Динамическое рассеяние рентгеновских лучей реальными кристаллами. - Киев: Наук. думка, 1988. - 198 с.
3. Мачулин В.Ф., Хрупа В.И. Рентгеновская диагностика структурного совершенства слабо искаженных кристаллах. - Киев: Наук. думка, 1995. - 192 с.

Gimchinsky A.G. " X-Ray acoustic research of Si real single crystals structure ". (Manuscript).

The dissertation on acquirement of scientist degree of candidate of physics-mathematical sciences on specialities 01.04.10 - physics of semiconductors and dielectrics, Chernivtsi state university Chernivtsi, 1995.

The results of complex investigations of structural changes in Si crystals after high-energy irradiation by electrons ($E=10\text{MeV}$) are advocated. The integrated characteristics of structural perfection of crystals are defined: the Debay-Valler factor L ; diffusion absorption coefficient μ . The X-Ray acoustic interactions in long wave area of ultrasonic fluctuations in crystals, containing growth fringes are investigated. The repeatability of the X-Ray acoustic resonance in long wave area of ultrasonic fluctuations, divisible to the main harmonic is derived. On the basis of Takagi equations solution the influence of short and long wave acoustic deformations fields at exponential and equidistant bend of crystals nuclear planes on space distribution of diffracted beam intensity and amplitude dependences of integrated intensity provided completion of the X-Ray acoustic resonance is investigated.

Гимчинський А.Г. " Рентгеноакустические исследования структуры реальных монокристаллов кремния". (Рукопись).

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 - физика полупроводников и диэлектриков, Черновцкий государственный университет им. Ю.Федьковича, Черновцы, 1995.

Защищаются результаты комплексных исследований улучшения структурных изменений в кристаллах Si после высокоэнергетического облучения электронами ($E=10\text{MeV}$). Определены интегральные характеристики структурного совершенства кристаллов: фактор Дебая-Валлера L ; коэффициент диффузного поглощения μ_d . Исследованы рентгеноакустические взаимодействия в длинноволновой области

ультразвуковых колебаний в кристаллах, содержащих полосы роста. Установлена повторяемость рентгеноакустического резонанса в длинноволновой области УЗК, кратных основной гармонике. На основании решений уравнений Такаги исследовано влияние коротко- и длинноволновых акустических деформационных полей, экспоненциального и эквидистантного изгиба атомных плоскостей на пространственное распределение интенсивности дифрагированного пучка и амплитудные зависимости интегральной интенсивности при условии выполнения рентгеноакустического резонанса.

Ключові слова: рентгенівські промені, дифракція, рентгеноакустика, структура, екстинкційна довжина, дефекти, електрони.

Тиміш

Підписано до друку 25.09.95.
Формат 60x84/16. Папір друкарський.
Друк офсетний. Ум. друк. арк. 1,16.
Обл.-вид. арк. 1,17. Тираж 100 прим.
Зам. 276.

Друкарня видавництва "Рута" Чернівецького держуніверситету
274012, Чернівці, вул. Коцюбинського, 2

443829

AB 33.001
AB 33.001