

ВПЛИВ СПОТВОРЕННЯ ВХІДНОЇ ПОВЕРХНІ НА ЧОТИРИХВИЛЬОВЕ РОЗСІЯННЯ X-ПРОМЕНІВ У Ge

Проведено чисельне моделювання впливу поверхневих одномірних деформацій кристалу на чотирихвильову рентгенівську дифракцію $(220, 400, \bar{2}\bar{2}0)$ у Ge. Виявлені і пояснені закономірності у розподілах інтенсивності на рентгенівських зображеннях, пов'язані з характером поверхневих деформацій.

Numerical simulation of influence of surface one-dimensional strains on four-beam X-ray diffraction in Ge is carried out. Patterns of relationship in distributions of intensity on X-ray images agreed upon character of surface strains are determined and explained.

Багатохвильова рентгенівська дифракція у спотворених кристалах надзвичайно чутлива до малих деформацій. Така дифракція є результатом складної взаємодії хвильових полів, тому інтерпретація експериментальних результатів [1-3] не завжди однозначна. Проведення теоретичного моделювання багатохвильових зображень – важливий крок до розв'язання даної проблеми.

У даній роботі досліджена чотирихвильова рентгенівська дифракція $(220, 400, \bar{2}\bar{2}0)$ у Ge ($\mu t \approx 15$) з деформованою приповерхневою областю. Позначення – загальноприйняті [4].

Експоненційний згин атомних площин

При одномірному експоненційному спотворенні поверхні кристала зміщення атомних площин задаються вектором $\vec{U} = (\exp(-bz), 0, 0)$ а функція локальних розорієнтацій [4] така:

$$\alpha_i = \alpha_i^0 - p_i \cdot \exp(-bz),$$

де індекс "i" відповідає послідовно двоххвильовим дифракціям на площинах (220) , (400) , $(\bar{2}\bar{2}0)$, b – "протяжність" деформаційного прошарку, p_i – "потужність" даного прошарку, $b \cong \Lambda$ (Λ – екстинкційна довжина).

На рис.1 представлено товщинні розподіли інтенсивності $R_m(\Delta\theta, z)$, а на рис.2,3 – топограми $R_m(\Delta\theta, \Delta\varphi)$, отримані в залежності від величини і напрямку згину поверхневих шарів. На відміну від випадку еквідистантного згину атомних площин [3], багатохвильові маятникові осциляції при $\vec{U} \parallel H_{400}$ сильніше проявляються на фоні ослаб-

лених двоххвильових осциляцій, а тонка структура у чотирихвильовій області більш чіткіша, ніж у ідеальному кристалі. Це означає, що такий згин не порушує фазових співвідношень між дифрагованими хвилями, інтерференція між якими формує маятникові осциляції. Водночас, при $\vec{U} \perp H_{400}$ спостерігається розмиття і пригнічення багатохвильових аперіодичних осциляцій на фоні практично неослаблених двоххвильових, тобто в даному випадку хвильові поля накладаються з порушенням фазових співвідношень.

Підсилення ефекту аномального проходження при слабких деформаціях ($p_i < 10^{-4}$) відбувається як для заломленої хвилі, так і для дифрагованих, незалежно від орієнтації вектора зміщення \vec{U} у площині чотирихвильових векторів дифракції. Найсильнішого підсилення аномального проходження зазнає $(\bar{2}\bar{2}0)$ хвиля – від 80% при $\vec{U} \parallel \vec{H}_{\bar{2}\bar{2}0}$ і $\vec{U} \perp \vec{H}_{400}$ до 250-300% при $\vec{U} \parallel \vec{H}_{220}$ і $\vec{U} \parallel \vec{H}_{400}$. Також характерним є те, що всі зміщення багатохвильових областей відбуваються у напрямку дії деформації на вхідній поверхні і залежать від "потужності" і протяжності порушеного шару.

Варто відзначити, що проведені теоретичні дослідження добре узгоджуються з експериментальними результатами [1-3], в яких спостерігалось явище різкого посилення аномального багатохвильового проходження на фоні значно послаблених двоххвильових областей дифракції у випадку покриття поверхні лаком і обробки її на алмазних пастах. Виявлені ефекти пояснюються кривизною

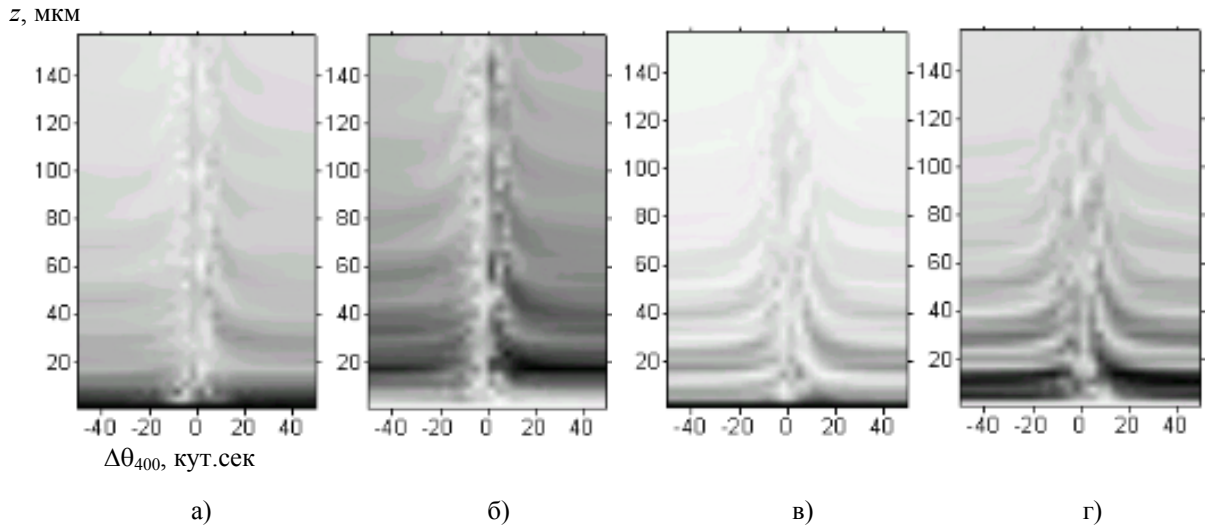


Рис.1. Маятникові смуги. Експоненційний згин вхідних атомних площин. $p=10^{-4}$.
Заломлена хвиля (а) і (в), дифрагована (400) (б) і (г); $\vec{U}\parallel\vec{H}_{400}$ (а) і (б), $U\perp\vec{H}_{400}$ (в) і (г).

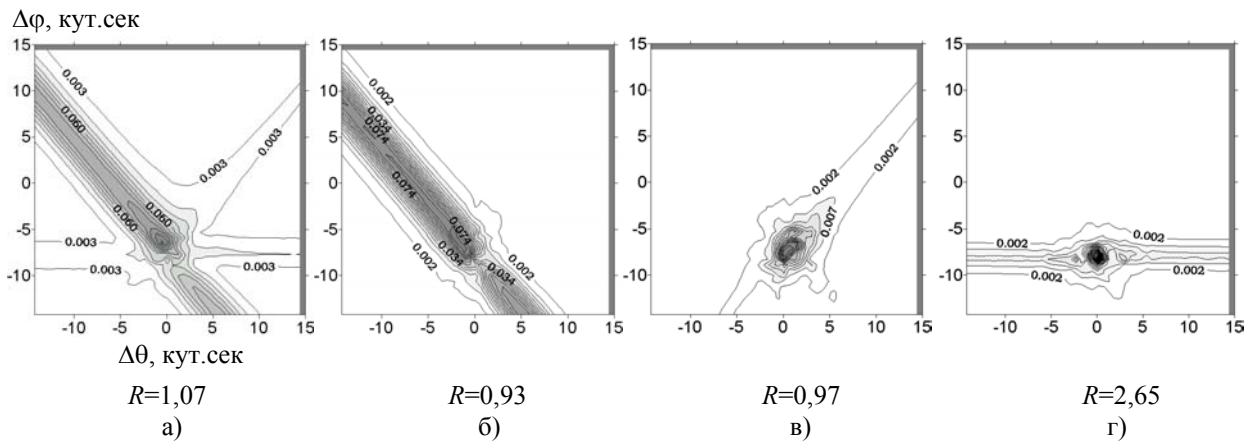


Рис.2. Експоненційний згин атомних площин $\vec{U}\parallel H_{400}$, $p=10^{-4}$. Заломлена хвиля (а), дифраговані хвилі (220) (б), (400) (в), $(\bar{2}20)$ (г).

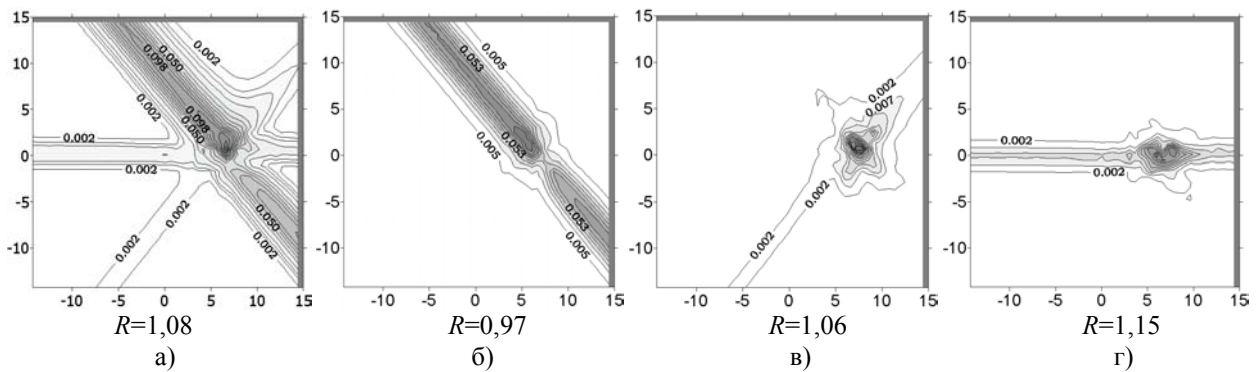


Рис.3. Експоненційний згин атомних площин. $\vec{U}\perp H_{400}$, $p=10^{-4}$. Заломлена хвиля (а), дифраговані хвилі (220) (б), (400) (в), $(\bar{2}20)$ (г).

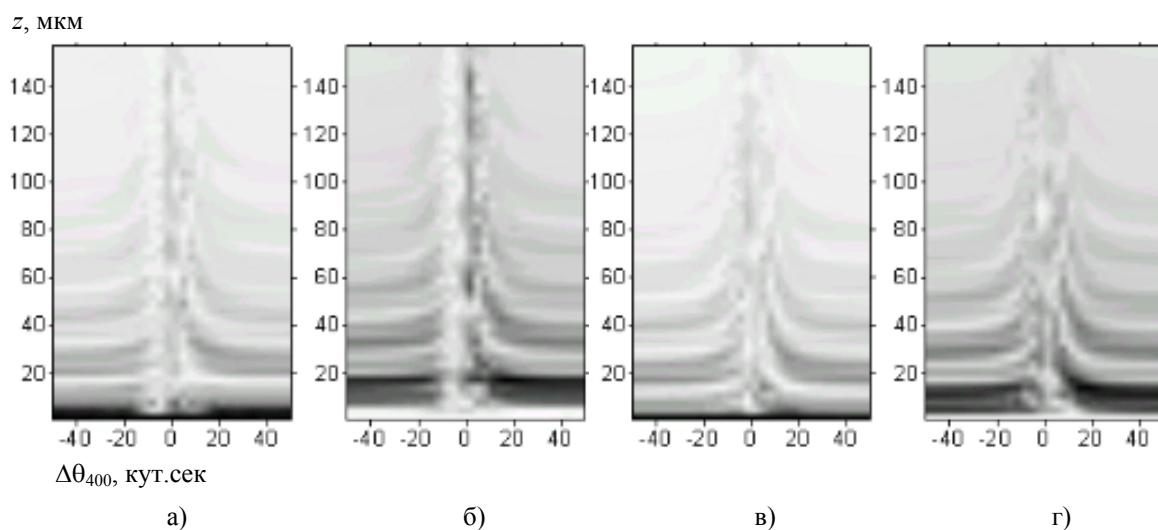


Рис.4. Маятникові смуги. Прихований шар. $P=10^{-4}$. Заломлена хвиля (а) і (в), дифрагована (400) (б) і (г); $\vec{U} \parallel \vec{H}_{400}$ (а) і (б), $U \perp \vec{H}_{400}$ (в) і (г).

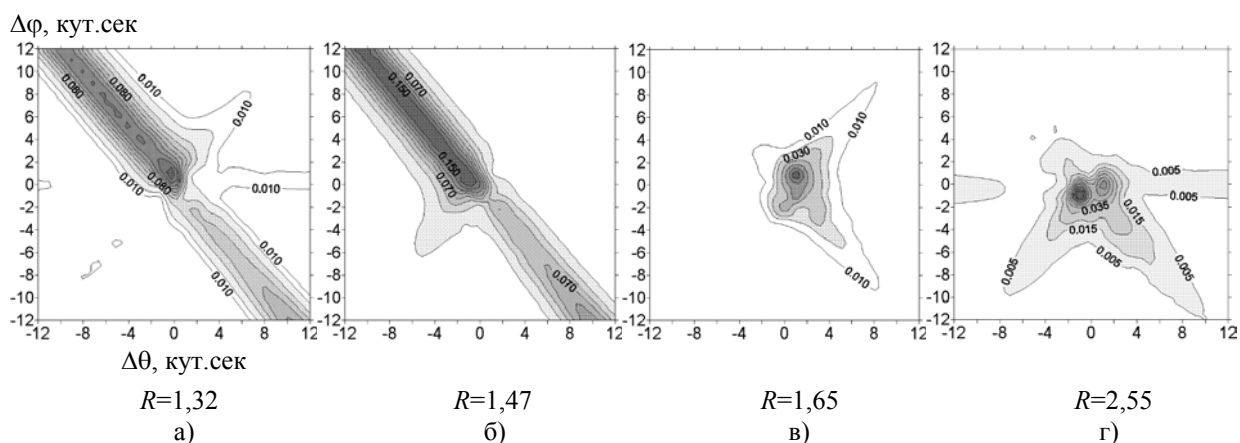


Рис.5. Прихований шар. $P=10^{-4}$. $\vec{U} \parallel \vec{H}_{400}$. Заломлена хвиля (а), дифраговані хвилі (220) (б), (400) (в), ($\bar{2}\bar{2}\bar{0}$) (г).

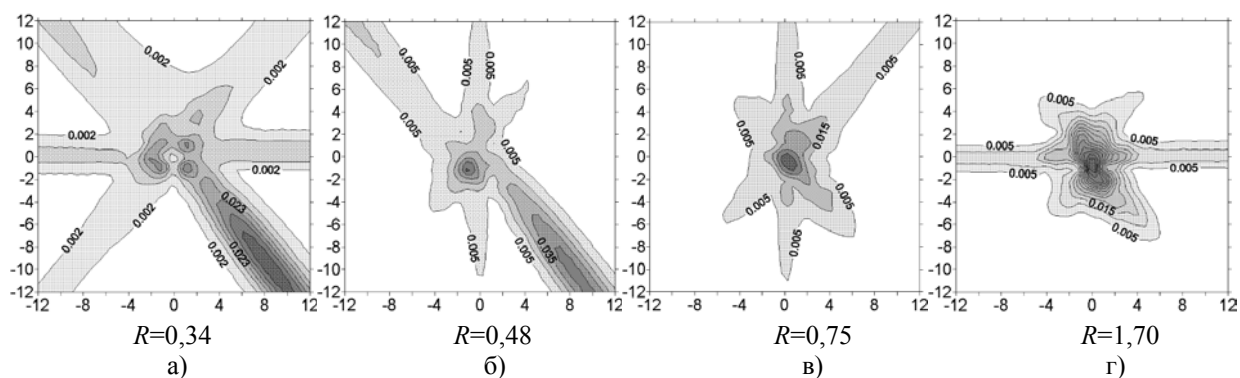


Рис.6. Прихований шар. $P=10^{-4}$. $\vec{U} \perp \vec{H}_{400}$. Заломлена хвиля (а), дифраговані хвилі (220) (б), (400) (в), ($\bar{2}\bar{2}\bar{0}$) (г).

дисперсійної поверхні, значеннями інтерференційних коефіцієнтів поглинання і степенями збудження. Посилення багатохвильового аномального проходження зумовлено інтерференцією кількох слабпоглинутих хвильових полів, яка не залежить від орієнтації вектора зміщення. Напрямок \vec{U} визначає лише ступінь такого підсилення.

Прихований під поверхнею деформаційний шар

Така одномірна деформація може виникати у кристалах при різних технологічних операціях (іонній імплантації, епітаксійному нарощуванні тощо). У даному випадку локальні розорієнтації такі:

$$\alpha_i = \alpha_i^0 - p_i \cdot \sin(bz),$$

де $\sin(bz) = 0$ при $z=0$ і $z > \Lambda$.

На маятникових розподілах інтенсивності (рис.4) у кристалі з даним типом спотворень характер проявлення багатохвильової області для $\vec{U} \perp \vec{H}_{400}$ і для $\vec{U} \parallel \vec{H}_{400}$ сильно різняться. Якщо у першому випадку чотирихвильова область розширюється і розділяється на інтенсивну і послаблену області, то період товщинних осциляцій збільшується, а в другому випадку має місце розмиття та пригнічення чотирихвильових і двоххвильових маятникових осциляцій і спостерігаються складні аперіодичні коливання інтенсивності, зникає характерна для досконалого кристала форма маятникових осциляцій.

Аналіз топографічних картин на рис.5 показує, що для $\vec{U} \parallel \vec{H}_{400}$ при збільшенні деформації спостерігається посилення аномального проходження для всіх хвиль, у тому числі і для заломленої (на 20-40%). Найбільший ефект аномального підсилення має місце для дифрагованої ($\bar{2}\bar{2}0$) хвилі (майже в три рази). Крім того, відбувається суттєвий перерозподіл інтенсивності у дво- і чотирихвильовій областях розсіяння.

Для дифрагованих (400) і ($\bar{2}\bar{2}0$) хвиль двоххвильові області швидко пригнічуються. Причому для ($\bar{2}\bar{2}0$) хвилі в напрямку дії деформації чотирихвильова область роздвоюється.

Також цікавим виявився випадок $\vec{U} \perp \vec{H}_{400}$ (рис.6). Тут, на відміну від попереднього, найбільше посилення ефекту аномального проходження (на 70-100%) спостерігається для чотирихвильової області хвилі ($\bar{2}\bar{2}0$), яка розширюється і роздвоюється. Перерозподіл інтенсивності у напрямку дії деформації характерний для всіх хвиль, але, на відміну від експоненційного згину,

чотирихвильова область практично не зміщується.

Висновки

Теоретичні результати досліджень повністю відповідають відомим експериментальним результатам. Виявлені ефекти пояснюються не лише величиною кривизни дисперсійної поверхні і відповідною швидкістю міграції точки збудження по дисперсійним віткам, а й процесами інтерференційної взаємодії слабпоглинутих хвиль з відповідно набутими фазовими співвідношеннями в деформованому шарі.

1. За величиною і напрямком зміщення чотирихвильової області можна оцінити величину і напрямком експоненційного згину вхідних атомних площин, оскільки виявлена залежність ступеня підсилення ефекту аномального проходження і зміщення багатохвильової області від орієнтації вектора \vec{U} , "потужності" і протяжності порушеного шару.

2. Наявність у кристалі схованого під поверхнею деформаційного шару зумовлює характерні тільки для нього особливості формування багатохвильових областей з посиленням аномального проходження дифрагованих хвиль, а в окремих випадках посилення аномального проходження заломленої хвилі. Зумовлені такі явища особливостями взаємодії дифрагованих хвиль. Майже в усіх випадках одномірних деформацій відбиваючих площин найбільшого посилення аномального проходження зазнавала ($\bar{2}\bar{2}0$) хвиля і спостерігалось більш швидке пригнічення двоххвильових областей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Иверонова В.И., Кацнельсон А.А., Рунова Т.К.* Влияние обработки граничных поверхностей на многоволновую дифракцию в кристаллах со структурой алмаза // Кристаллография. - 1981. - **26**, вып.6. - С.1320-1322.
2. *Козьмик В. Д., Кшевецкий С.А., Кшевецкая М.Л., Михайлюк И.П., Остапович М.В.* Усиление эффекта Бормана при четырехволновой дифракции рентгеновских лучей в Ge. Конфигурация (220,400, $\bar{2}\bar{2}0$) // Кристаллография. - 1976. - **21**, вып.5. - С.799-806.
3. *Кшевецкий С.А., Козьмик В.Д., Михайлюк И.П., Остапович М.В.* Маятниковые полосы при четырехволновой дифракции рентгеновских лучей в Ge // УФЖ. - 1976. - **21**, вып.6. - С.994-1000.
4. *Фодчук И.М., Борча М.Д., Раранський М.Д., Гультай Л.Л.* Дослідження впливу одномірних деформацій на ефект аномального проходження для чотирихвильових дифракцій рентгенівських променів // Науковий вісник ЧДУ. Вип.57: Фізика. - Чернівці: ЧДУ, 1999. - С.56-61.