

## СТРУКТУРНІ ВЛАСТИВОСТІ ІМПЛАНТОВАНИХ ШАРІВ АРСЕНІДУ ГАЛІЮ В ПОЛЯХ ПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ

В. П. КЛАДЬКО, Л. І. ДАЦЕНКО, З. В. МАКСИМЕНКО, І. В. КЛАДЬКО

Інститут фізики напівпровідників НАН України  
(Просп. Науки, 45, Київ 03028)

УДК 539.23:548

© 2001 р.

Методом двокристалної рентгенівської дифрактометрії досліджено вплив механічних напружень, створених іонною імплантацією та шліфуванням однієї з поверхонь кристалів арсеніду галію, на перерозподіл точкових дефектів у приповерхневій області. Запропоновано пояснення немонотонного характеру релаксації деформацій в системі імплантований шар — матриця — шліфований шар, яке виходить з різних швидкостей переміщення точкових дефектів у полях пружних деформацій.

Незважаючи на широке застосування іонної імплантації як методу керування електрофізичними і механічними властивостями приповерхневих шарів монокристалів, тут залишається багато не вирішених проблем. Зокрема, це питання, пов'язані з кінетикою утворення радіаційних дефектів, поведінкою прониклих атомів і власних дефектів в системі кристал — імплантований шар під дією різних впливів (термовідпал, лазерне опромінення, механічна обробка). Ефект впливу механічної обробки (шліфування) неробочого боку пластин GaAs на оптичні та механічні властивості робочої поверхні (ефект далекодії) досліджували в роботах [1 — 3]. В [3], зокрема, зроблено спробу пояснити механізм релаксації ефекту далекодії в GaAs. Поява цих робіт викликана, з одного боку, необхідністю дослідження змін структури приповерхневих областей у процесі механічної обробки, яку використовують як метод передепітаксійної підготовки зразків, а з іншого, вивченням механізму і ролі прискореної дифузії в процесах імплантації.

Завдання даної роботи полягало у вивченні впливу механічної обробки поверхні монокристалів GaAs на структурні властивості імплантованих шарів, а також ролі прониклих атомів і власних точкових дефектів у процесах релаксації системи.

Досліджували монокристали GaAs(100) АГЧТ з концентрацією вільних носіїв  $n = 2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , імплантовані іонами  $\text{Ag}^+$  з енергією  $E = 400 \text{ кеВ}$  і дозою  $\Phi = 10^{14} \text{ іон/см}^2$ . Після вимірювань тильну (неробочу) поверхню імплантованих зразків шліфували абразивом з діаметром зерна M20, після чого вимірювання повторювались. Контрольний зразок, лише імплантований в тих самих умовах, вимірювали через такі самі проміжки часу. Струк-

турні характеристики кристалів досліджували на двокристалному рентгенівському спектрометрі за схемою  $(n, -m)$  з використанням кристала-монокроматора  $\text{InSb}(220)$ ,  $\text{CuK}\alpha$ -випромінювання і рефлексів різних порядків: симетричних 200, 400 та асиметричних 311. Контроль параметра стехіометрії  $\Delta = (C_{\text{As}} - C_{\text{Ga}})/C_{\text{As}}$  ( $\Delta \sim I_R \sim (C_{\text{As}} - C_{\text{Ga}})/C_{\text{As}}$ ) у припущенні, що структурні дефекти не впливають на інтегральну відбивну здатність [4, 5], проводили за допомогою вимірювань і аналізу інтегральних інтенсивностей  $I_R$  квазізаборонених рефлексів (КЗР) 200 та 600. Вимірювали також кривину пластин і параметр невідповідності кристалічних ґраток  $\Delta d/d$  системи згідно з [6, 7]. Аналіз інтенсивності КЗР показав, що кристали у вихідному стані мали надлишок арсену, тобто параметр  $\Delta_0 = 0,0007$ , що відповідає концентрації точкових дефектів порядку  $10^{18} \text{ см}^{-3}$ .

На рис. 1 наведено криві дифракційного відбиття (КДВ) для рефлексу 200, одержані для зразків GaAs, імплантованих іонами  $\text{Ag}^+$ . КДВ яскраво асиметричні відносно точного брегтівського положення максимуму  $\vartheta_0$  від кристала. Асиметрія проявляється у вигляді хвоста інтенсивності і додаткового піка (від імплантованого шару) з боку кутів, менших від положення основного піка, що свідчить про наявність дефектного шару із змінним по глибині параметром ґратки. Профіль деформації в порушеному імплантацією шарі, розрахований за методикою [8], зображено на рис. 2. Збільшення параметра  $d$  (міжплощинної відстані) в імплантованому шарі свідчить про те, що він містить прониклі атоми аргону, а також радіаційні дефекти, до складу яких входять, імовірно, пари Френкеля в обох підґратках. Вимірювання кривини поверхневих атомних площин після імплантації свідчить про те, що кристали є опуклими з боку імплантованого шару. Шліфування тильного боку пластин у початковий момент не приводить до значних змін у положенні додаткового піка (крива 2 на рис. 1). Проте в процесі релаксації площа хвостів КДВ зменшується, а оскільки вона залежить від концентрації нерівноважних точкових дефектів, то, очевидно, можна припустити, що відбувається їх рекомбінація або вихід на поверхню чи інші стоки. Перехід на

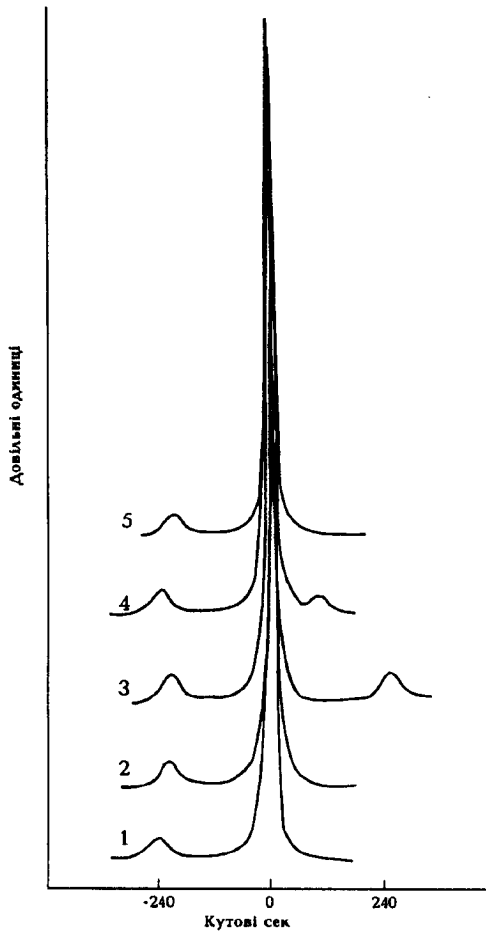


Рис. 1. Еволюція кривих дифракційного відбиття 200 для зразків GaAs, імпантованих іонами Ag, з часом релаксації: 1 — вихідний імпантований зразок; 2 — зразок відразу після механічного шліфування; 3 — через 20 год після шліфування; 4 — через 50 год; 5 — через 250 год

стоки імовірніший, оскільки на користь цього механізму свідчить і поведінка параметра нестехіометрії ( $\Delta < \Delta_0$ ), яка вказує на зменшення концентрації міжвузловинного арсену  $As_i$  в досліджуваному шарі. Це можна пояснити більшою рухливістю  $As_i$  у порівнянні з іншими точковими дефектами. Крім того, такі зміни в системі точкових дефектів відбуваються при значному зростанні (на кілька порядків) їх коефіцієнтів дифузії в полях пружних деформацій. На перебіг таких процесів було вказано в роботі [9].

Видержка системи імпантований шар — матриця — порушений шар протягом певного часу приводить до значної еволюції додаткових піків на КДВ. Їх поява з боку кутів, більших за  $\vartheta_0$  (криві 3, 4 на рис. 1), свідчить про існування в імпантованому шарі також тонкої області з параметром ґратки, мен-

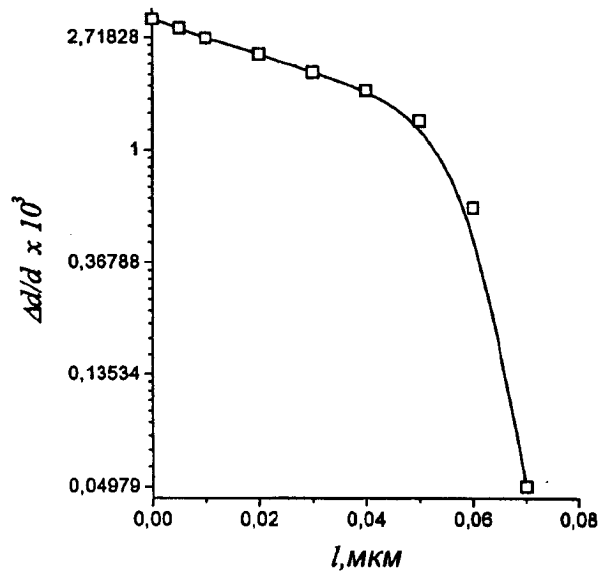


Рис. 2. Відносна зміна параметра ґратки в імпантованому шарі зразка GaAs

шим, ніж у кристалічній матриці. Це можна пояснити утворенням у кристалі областей, що містять велику кількість вакансій в обох підґратках GaAs, а також значним впливом пружних полів [10], що приводить до перегрупування точкових дефектів. Оскільки ефективний розмір вакансії дорівнює приблизно 0,8 радіуса відповідного атома, то відбувається зменшення параметра ґратки.

У процесі часової релаксації системи за рахунок деформаційного поля, створеного шліфуванням, відбувається перерозподіл точкових дефектів у приповерхневому імпантованому шарі, оскільки відбивна здатність  $R_i$ , яка характеризує перетворення в системі ТД, змінюється складним чином (не-монотонно) (рис. 3). Зменшення  $R_i$  в початковий момент після шліфування можна пояснити, як відмічалось вище, переходом міжвузловинного арсену на стоки. Деформаційне поле шліфованого шару значно сильніше, ніж імпантованого. На користь цього припущення свідчить зміна знака кривини пластин на протилежний. Аналіз рис. 3 показує, що такі зміни в поведінці  $R_i$  рефлекса 200 (параметра нестехіометрії) можна пояснити, припустивши існування певної концентрації (досить значної, порядку  $10^{19} \text{ см}^{-3}$ ) рівноважних точкових дефектів в умовах відсутності зовнішнього впливу. При накладанні пружних деформаційних полів рівновага буде порушуватись в такт зміни знака деформації. Згідно з загальноприйнятими уявленнями [11] енергія вакансій повинна бути вищою в областях розтягу, тоді частина їх буде в цій області надлишковою і вони почнуть рухатись в бік зменшення енергії (область

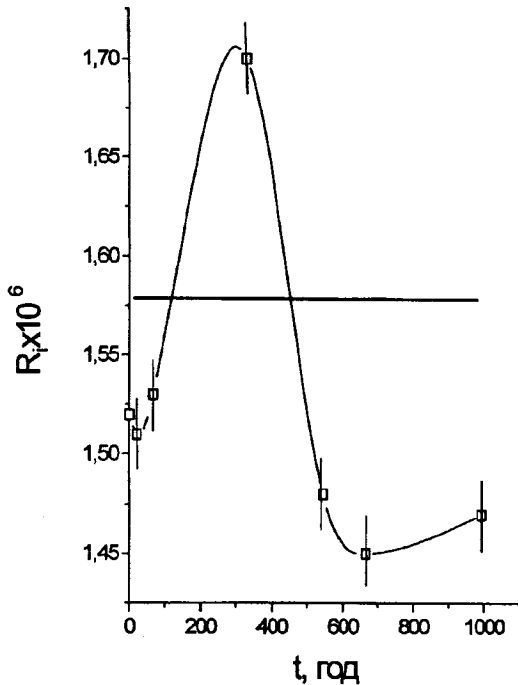


Рис. 3. Зміна інтегральної відбивної здатності  $R_i$  для квазізабороненого рефлексу 200 в зразках GaAs в процесі релаксації. Суцільна горизонтальна лінія на графіку відповідає зміні  $R_i$  для контрольного зразка без шліфування

стиску). Про це також свідчить і поведінка кривої на рис. 3 (зростання  $R_i$  при  $t > 150$  год). У протилежній фазі деформації концентрація вакансій може відновитися, однак за умови достатньо низького енергетичного бар'єра для утворення їх в дефектно-домішкочивій атмосфері. Наступне зменшення величини  $R_i$  на рис. 3 можна також пояснити зростанням концентрації міжвузловинних атомів, джерелом яких є порушений шар і які завдяки дифузії досягли робочої поверхні зразків.

Таким чином, на основі одержаних результатів можна зробити висновок, що велика дифузійна рухливість міжвузловинних атомів у полях пружних деформацій, викликаних як імплантованим, так і шліфованим шаром, є причиною їх швидкого стікання на поверхню та інші стоки, що приводить до просторового розділення вакансій і міжвузловинних атомів. Тобто релаксація нерівноважних точкових дефектів відбувається не шляхом утворення дислокаційних петель, а шляхом їх переважного стоку на поверхню. Збереження великої концентрації дефектів в імплантованому шарі

після різних обробок може свідчити про їх трансформацію у малорухливі комплекси.

1. Кладько В.П., Крыштаб Т.Г., Семенова Г.Н. и др. // ФТТ.— 1991.— 33, вып.11.— С.3192 — 3198.
2. Кладько В.П., Крыштаб Т.Г., Клейнфельд Ю.А. и др. // ФТП.— 1992.— 26, вып.2.— С.368 — 372.
3. Кладько В.П., Крыштаб Т.Г., Семенова Г.М. // Письма в ЖТФ.— 1992.— 18, вып. 24.— С.1 — 5.
4. Fujimoto I. // Jap. J. Appl. Phys.— 1984.— 23, N5.— P.287 — 289.
5. Кладько В.П. // УФЖ.— 1994.— 39, №3.— С.330 — 333.
6. Cohen B.G., Focht M.W. // Solid State Electron.— 1970.— 13, N2.— P.105 — 108.
7. Носков А.Г., Труханов Е.М. // ПТЭ.— 1985.— №5.— С.173 — 175.
8. Кон В.Г., Прилепский М.В., Суходрева И.М. // Поверхность. Физика, химия, механика.— 1984.— №11.— С.122 — 128.
9. Klad'ko V.P. // Met. Phys. Adv. Tech.— 1999.— 18, N5.— P.549 — 556.
10. Пантелеев В.А., Муравьев В.А. // ФТТ.— 1977.— 19, вып.3.— С.682 — 686.
11. Павлов П.В., Семин Ю.А., Скупов В.Д., Тетельбаум Д.И. // ФТП.— 1986.— 20, вып.3.— С.503 — 507.

Одержано 25.01.01

#### СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ИМПЛАНТИРОВАННЫХ СЛОЕВ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ В ПОЛЯХ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ

В.П.Кладько, Л.И.Даценко, З.В.Максименко, И.В.Кладько

#### Резюме

Методом двухкристалльной рентгеновской дифрактометрии исследовано влияние механических напряжений, вызванных ионной имплантацией и шлифованием одной из поверхностей кристаллов арсенида галлия, на перераспределение точечных дефектов в приповерхностной области. Объясняется немонотонный характер релаксации напряжений в системе имплантированный слой — матрица — шлифованный слой, которое основано на предположении о различных скоростях перемещения точечных дефектов в полях упругих деформаций.

#### THE STRUCTURE PROPERTIES OF IMPLANTED LAYERS OF ARSENIDE GALLIUM IN ELASTIC DEFORMATION FIELDS

V. P. Klad'ko, L. I. Datsenko, Z. V. Maksimenko, I. V. Klad'ko

Institute of Semiconductor Physics, Nat. Acad. Sci. of Ukraine  
(45, Nauky Prosp., Kyiv 03028)

#### Summary

By the method of double-crystal X-ray diffractometry, we have studied the influence of mechanical stresses caused by ion implantation and by grinding one of the surfaces of crystals GaAs on the redistribution of point defects in the near-surface region. The nonmonotone character of a relaxation of deformations in the system "implanted layer — matrix — polish layer", which consists in different displacement speeds of point defects in the fields of elastic deformations, is explained.