

В.М. Пилипів¹, О.З. Гарпуль¹, Б.К. Остафійчук¹, В.О. Коцюбинський¹, В.В. Куровець¹,
О.Ю. Бончик²

Структурне розупорядкування приповерхневого шару імплантованих іонами кремнію плівок залізо-ітрієвого гранату

¹Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
вул. Шевченка, 57, Івано-Франківськ, 76025, Україна

²Інститут прикладних проблем механіки і математики імені Я.С. Підстригача
вул. Наукова, 3 б, м. Львів, 290601, Україна

В роботі представлені результати досліджень приповерхневих шарів плівок залізо-ітрієвого гранату, імплантованих іонами кремнію з енергією 90 кеВ та дозами $1 \cdot 10^{13}$, $6 \cdot 10^{13}$ та $2 \cdot 10^{14}$ см⁻². Проведене математичне моделювання процесу імплантації іонів кремнію у плівку ЗІГ показало, що утворення пар Френкеля та дефектів більш складного типу є рівноймовірним. Теоретично розраховано профіль концентрації радіаційних дефектів, який, в основному, формується дефектами, утвореними внаслідок пружних взаємодій іона-імплантанта з атомами мішені. Експериментально встановлено, що імплантація іонів кремнію у плівки ЗІГ призводить до утворення в приповерхневому шарі монотонно спадних профілів відносної деформації.

Ключові слова: ферит-гранатові плівки, іонна імплантація, крива дифракційного відбивання, профіль відносної деформації.

Стаття постуила до редакції 12.10.2011; прийнята до друку 15.12.2011.

Вступ

Розвиток сучасної науки і техніки висуває нові вимоги до структури приповерхневого шару монокристалів, внаслідок чого виникає необхідність контролю його параметрів та розробки технологій для досягнення заданих властивостей. Оскільки монокристали та плівкові матеріали зі структурою гранату широко використовуються в приладах сучасної мікроелектроніки, магнітооптики та оптоелектроніки, то одним із перспективних методів модифікації цих матеріалів є іонна імплантація, яка дає можливість цілеспрямовано змінювати кристалічну структуру їх приповерхневих шарів, а, відповідно, і магнітні властивості. Внаслідок іонної імплантації збільшується ефективність перетворення імпульсного НВЧ-сигналу в біжучі спінові хвилі, створюється можливість генерації цих хвиль з набагато меншими втратами [1], подавлюються жорсткі циліндричні магнітні домени та створюються канали їх просування [2]. Структурні порушення в іонно-імплантованому шарі дозволяють істотно впливати на величину ефективного поля одновісної магнітної анізотропії [3]. Дослідження щодо впливу радіації на фізичні властивості і структуру матеріалів можуть дати інформацію, необхідну для оцінки надійності пристроїв, що працюють в умовах радіаційних дій.

Незважаючи на значну кількість наукових робіт, в яких розглядається вплив імплантації на властивості приповерхневих шарів матеріалів, самі механізми дефектоутворення та деформації кристалічної ґратки є дослідженими недостатньо.

У зв'язку із цим, встановлення фізичних закономірностей трансформації кристалічної ґратки епітаксійних ферит-гранатових плівок внаслідок іонної імплантації при різних режимах, а також вивчення механізмів процесу радіаційного дефектоутворення, є актуальною науковою проблемою.

Метою роботи було вивчення структурного розупорядкування приповерхневих шарів імплантованих іонами кремнію монокристалічних епітаксійних плівок залізо-ітрієвого гранату (ЗІГ, $Y_3Fe_5O_{12}$) при різних режимах опромінення, з урахуванням можливих механізмів радіаційного дефектоутворення як за рахунок ядерних, так і за рахунок електронних енергетичних втрат.

І. Експеримент

Об'єктами дослідження були вихідний та імплантований зразки монокристалічної плівки залізо-ітрієвого гранату, вирощеної в промислових умовах за стандартною технологією рідкофазної епітаксії

(РФЕ) на діелектричній підкладці гадоліній-галієвого гранату (ГГ, $Gd_3Ga_5O_{12}$, $a_s = 12,3820 \text{ \AA}$) з віссю росту [111] і товщиною 500 мкм в п'ятизонній печі для РФЕ Garnet-3 (НВП "Карат") при температурі переохолодження розчину-розплаву 10°C .

Імпантација здійснювалася на прискорювачі МРВ-2 "Balzers" потоком іонів кремнію із енергією 90 кеВ та дозами $1 \cdot 10^{13}$, $6 \cdot 10^{13}$ та $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ в умовах відсутності ефектів каналювання та самовідпалу.

У рентгенівських дифракційних дослідженнях використовувалось характеристичне випромінювання $CuK\alpha$ рентгенівської трубки БСВ-29. Для вимірювання кривих дифракційного відбивання (КДВ) досліджуваних зразків у симетричній геометрії дифракції за Бреггом використовувалась оптична схема високороздільної рентгенівської дифрактометрії (площина відбивання (444)). Прецизійні вимірювання сталих ґраток плівки та підкладок виконувались методом Бонда.

Вивчення механізму процесу генерації радіаційних дефектів у плівках ЗІГ, спричинених ядерними енергетичними втратами іона Si^+ , здійснювалося із використанням програми SRIM-2008. Розрахунок профілів радіаційних дефектів, утворених внаслідок електронного гальмування іона-імпантанта, виконувався за методикою [4]. Розподіл ступеня структурного розупорядкування кристалічної ґратки ЗІГ внаслідок імпантациї іонів Si^+ отримано з допомогою програми SUSPRE.

II. Математичне моделювання процесу імпантациї плівки ЗІГ іонами кремнію

Для вивчення особливостей формування під впливом іонно-атомних зіткнень радіаційних дефектів та їх розподілу за глибиною в порушеному шарі виконано моделювання процесу моноенергетичної імпантациї в ЗІГ іонів кремнію з допомогою програми SRIM-2008. Числові значення порогових енергій зміщення іона з вузла ґратки для Y^{3+} , Fe^{3+} та O^{2-} в досліджуваній структурі вибирались рівними 66, 56 та 40 еВ відповідно [5]. Розрахунки утворення каскадів атом-атомних зіткнень здійснювались у наближенні аморфної мішені, що є цілком прийнятним при використаних умовах імпантациї, оскільки кут між пучком імпантованих іонів та нормаллю до поверхні плівки складає 7° , і це унеможливило присутність ефекту каналювання. Відомо, що високоенергетичний іон у процесі гальмування в кристалі втрачає свою енергію внаслідок пружних зіткнень із зарядженими ядрами атомів, екранованими електронними оболонками, і непружних зіткнень, зумовлених збудженням та емісією електронів у цих оболонках. Внаслідок цього існує два шляхи утворення радіаційних дефектів: за рахунок ядерних енергетичних втрат та за рахунок електронних енергетичних втрат іона-імпантанта [6]. При малих дозах опромінення обидва процеси можна розглядати як незалежні.

Величина енергетичних втрат іона визначається співвідношенням: $\frac{dE}{dx} = N_0 [S_n(E_i) + S_e(E_i)]$, де

N_0 – концентрація атомів мішені (для ЗІГ $N_0 = 8,4 \cdot 10^{22} \text{ іонів/см}^3$), E_i – енергія іона, $S_n(E_i)$ та $S_e(E_i)$ – перерізи ядерного та електронного гальмувань відповідно.

Виконані розрахунки показали, що при імпантациї плівки ЗІГ іонами Si^+ з енергією 90 кеВ дещо переважає пружний тип гальмування (електронні та ядерні енергетичні втрати складають відповідно 370 та 470 еВ/нм (рис. 1)). Загальні енергетичні втрати імпантанта при цій енергії перевищують 800 еВ/нм, що, як відомо, передбачає можливість розвитку каскадів вторинних зіткнень.

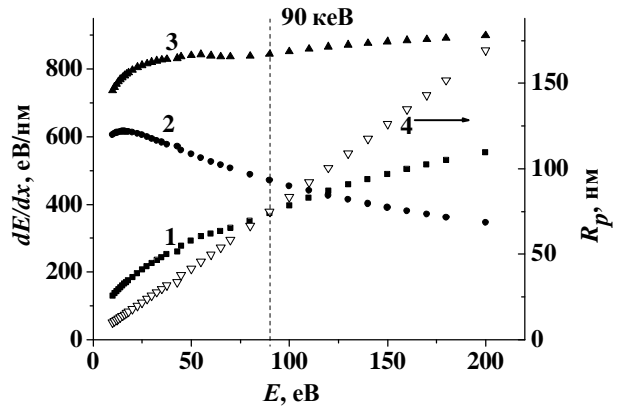


Рис. 1. Залежності проективного пробігу іона кремнію (4) та його енергетичних втрат (при гальмуванні в плівці ЗІГ) від початкової енергії: 1 – електронні, 2 – ядерні, 3 – сумарні втрати.

Глибинний розподіл енергії, переданої імпантантами іонам матриці, було розраховано за методикою [7] (рис. 2, а) та змодельовано методом Монте-Карло [8] (рис. 2, б). Розрахований аналітично розподіл непружних енергетичних втрат імпантанта на одиниці довжини пробігу є монотонно спадним із максимумом на поверхні. Для профілів пружних енергетичних втрат імпантанта, розрахованого аналітично (рис. 2, а) і змодельованого (рис. 2, б), характерні наявність максимумів на глибинах близько 20 нм та 40 нм відповідно (із дещо вищим значенням dE/dx в першому випадку) і практично ідентичний подальший характер зміни dE/dx з глибиною.

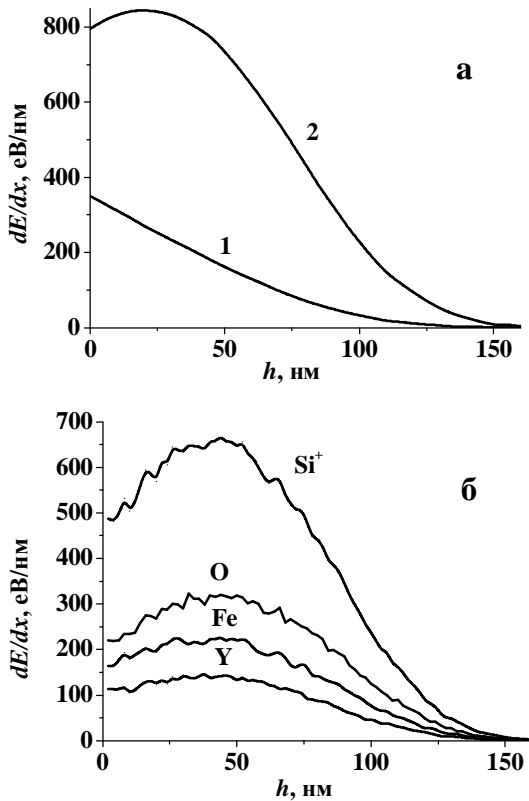


Рис. 2. Глибинний розподіл пружних (2) і непружних (1) енергетичних втрат імплантанта на одиниці довжини пробігу (а) та розподіли енергії іона кремнію, переданої атомам матриці при ядерному гальмуванні в плівці ЗП (б).

На рисунку 3 наведено профіль концентрації імплантованих іонів кремнію (приведений в розрахунку на одиничну дозу опромінення) та розподіл кількості зміщених іонів матеріалу на одиниці пробігу імплантанта. Відповідно до розрахунків, проективний пробіг іонів кремнію з початковою енергією 90 кеВ в структурі ЗП становить 80 ± 5 нм, максимальна глибина проникнення іонів-імплантантів сягає 170 ± 6 нм. Радіаційне розпорядкування найефективніше відбувається в аніонній підґратці, де кількість зміщених іонів досягає 3,2 на 1 нм пробігу імплантанта, що перевищує цей показник для підґраток заліза та ітрію приблизно у 2,5 та 5 разів відповідно. Середня кількість іонів, зміщених внаслідок пружних взаємодій імплантованого іона з атомами мішені, становить 440. Максимальне дефектоутворення відбувається на глибині 50 ± 3 нм, де ймовірність перекривання іонних треків та формування протяжних комплексів дефектів є максимальною.

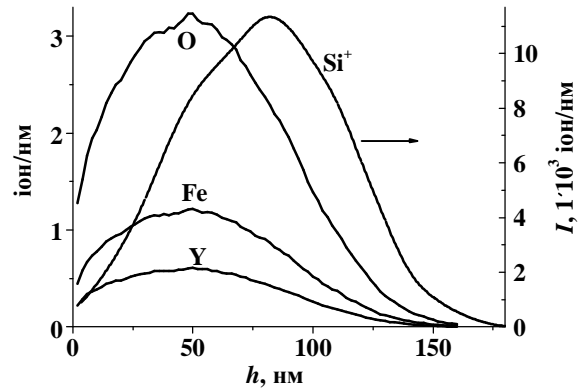


Рис. 3. Розподіл кількості іонів мішені, зміщених на 1 нм пробігу імплантанта, та нормований до дози опромінення профіль імплантованих у плівку ЗП іонів кремнію з енергією 90 кеВ.

Із характерного вигляду каскаду атом-атомних зіткнень імплантованого іона кремнію з енергією 90 кеВ з атомами матриці, зображеного на рис. 4, видно, що, поряд з точковими радіаційними дефектами, спостерігаються також певні скупчення (кластери) дефектів. Первинно вибиті імплантантом іони мішені в свою чергу створюють значну кількість вторинних дефектів (~ 87 % від загального числа).

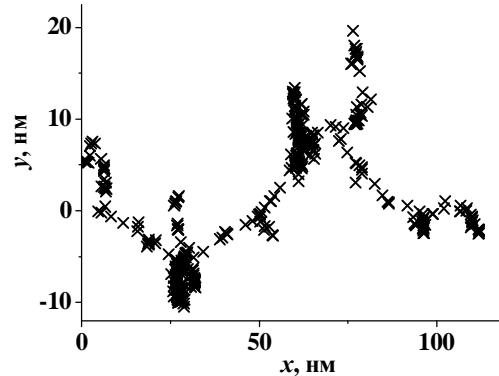


Рис. 4. Каскад атом-атомних зіткнень під час імплантації плівки ЗП іонами кремнію з енергією 90 кеВ.

Статистична обробка інформації щодо процесу утворення і розвитку каскадів вторинних зіткнень для 2000 іонів-імплантантів показала, що при вибраних умовах імплантації максимально ймовірним є процес утворення френкелівської пари – 44 %, для розвитку каскаду з двох атомів віддачі – 14 %, трьох – 9 % і т. д. (рис. 5). Ймовірність розвитку каскаду із десяти атомів віддачі і більше складає близько 17 %.

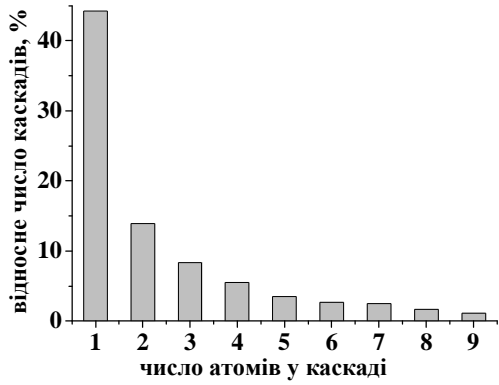


Рис. 6. Ймовірність утворення каскадів вторинних зміщень з різною кількістю іонів в каскаді при імпантатції плівки ЗП іонами кремнію ($E=90$ кеВ).

З використанням методики [3] розраховано профілі структурного розупорядкування плівки ЗП при опроміненні її іонами кремнію з енергією 90 кеВ різними дозами (рис. 7). Розрахункові розподіли характеризуються максимумом на глибині 25 ± 5 нм і корелюють із положенням максимуму на кривих розподілу концентрації дефектів (рис. 8). Відносне розупорядкування приповерхневої ділянки плівки ЗП для дози опромінення $1 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ становить 3 %, $6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ – 19%, $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ – 50 %.

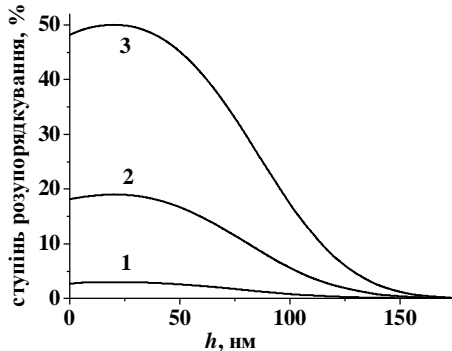


Рис. 7. Теоретично розраховані профілі розподілу ступеня структурного розупорядкування кристалічної ґратки ЗП для випадку імпантатції іонами кремнію з енергією 90 кеВ і дозами $1 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ (1), $6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ (2) та $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ (3).

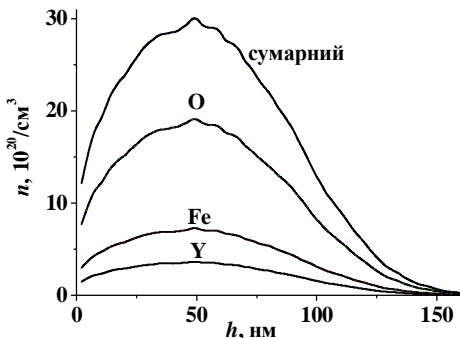


Рис. 8. Поелементні профілі розподілу дефектів за глибиною порушеного шару ЗП в припущенні відсутності взаємодії між ними. Розрахунок зроблений для дози опромінення $6 \cdot 10^{13} \text{ Si}^+/\text{см}^2$.

Узагальнені результати моделювання процесу дефектоутворення у плівках ЗП, імпантованих іонами кремнію з енергією 90 кеВ та дозами $1 \cdot 10^{13}$, $6 \cdot 10^{13}$ та $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, наведено у табл. 1.

Таблиця 1
Результати моделювання процесу радіаційного дефектоутворення в плівках ЗП, імпантованих іонами кремнію з енергією 90 кеВ

Доза опромінення, см^{-2}	$1 \cdot 10^{13}$	$6 \cdot 10^{13}$	$2 \cdot 10^{14}$
Проективний пробіг R_p , нм	80		
Товщина імпантованого шару h , нм	170		
Максимальні енергетичні втрати іона $(dE/dx)_{\text{max}}$, еВ/нм	850		
Положення максимуму енергетичних ядерних втрат $(dE/dx)_{\text{max}}$, нм	50		
Максимальна концентрація дефектів n , $10^{20}/\text{см}^3$	5	30	100
Максимальна глибина залягання радіаційних дефектів, нм	160		
Ступінь структурного розупорядкування, %	3	19	50

III. III. Результати експерименту та їх обговорення

Імпантатційно генеровані радіаційні дефекти у приповерхневому шарі плівок викликають появу в ньому градієнта міжплощинних відстаней та механічних напруг, що відображається на КДВ кутовим перерозподілом інтенсивності когерентної складової розсіювання рентгенівських променів. У більшості випадків імпантатція плівок ЗП іонами різних мас (H, B, Ne, O, Xe) приводить до появи в приповерхневому шарі напруг розтягу в напрямку, перпендикулярному до площини плівки [9].

Експериментальні КДВ вихідного зразка та плівок, підданих імпантатції іонами кремнію з енергією 90 кеВ та дозами $1 \cdot 10^{13}$, $6 \cdot 10^{13}$ та $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, представлено на рис. 9. За нуль прийнято кутове положення рентгенівського рефлексу плівки для вихідного зразка. Імпантатція кремнію з дозою $1 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ призводить до підняття інтенсивності між рефлексами плівки та підкладки, тобто спостерігається зростання величини міжплощинної відстані в порушеному шарі. Після імпантатції з дозою $6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ на КДВ фіксується поява додаткового напливу, який свідчить про те, що характер відносної зміни міжплощинної відстані є близьким до монотонного. В процесі набору дози спостерігається збільшення кутової відстані між рефлексами плівки та підкладки. Імпантатція з дозою $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, очевидно, супроводжується аморфізацією приповерхневого

шару та релаксацією наведених в епіструктурі напруг, оскільки після неї кутова відстань півка – підкладка набуває значення, меншого за величину, характерну для неімплантованої півки (рис. 10). При цьому додаткових напливів чи іншого перерозподілу інтенсивності дифрагованих рентгенівських променів не спостерігається.

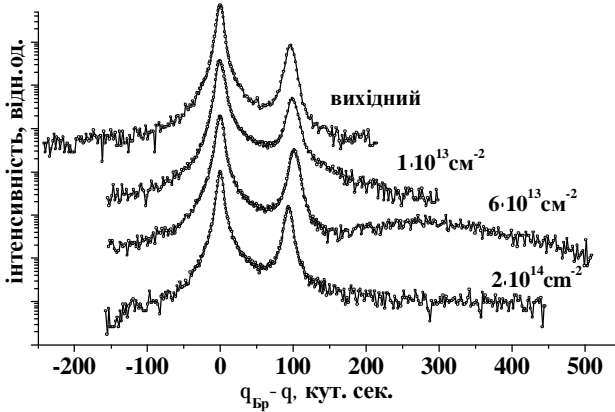


Рис. 9. Експериментальні КДВ вихідного зразка та плівок ЗП, підданих імплантації іонами кремнію з енергією 90 кеВ та дозами $1 \cdot 10^{13}$, $6 \cdot 10^{13}$ та $2 \cdot 10^{14}$ см^{-2} .

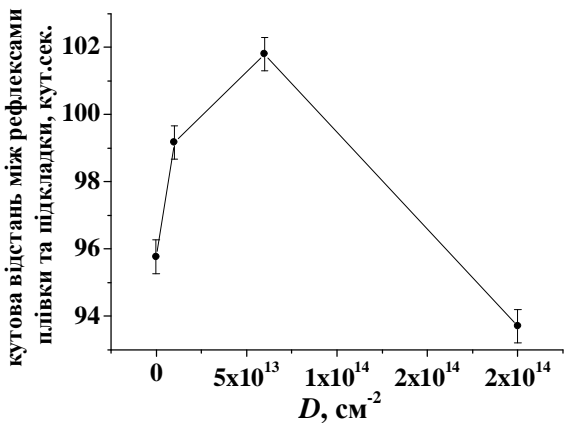


Рис. 10. Дозова залежність кутової відстані між рентгенівськими рефлексами від непорушеного шару півки та підкладки гетероструктури.

КДВ, отриману для плівки ЗП, імплантованої іонами кремнію дозою $6 \cdot 10^{13} \text{см}^{-2}$, було проаналізовано з метою отримання інформації про розподіл відносної зміни міжплощинної відстані та фактора статичного розупорядкування Дебая-Валлера за глибиною порушеного шару. Для цього застосовувались методика [10] та програмне забезпечення Superlat [11].

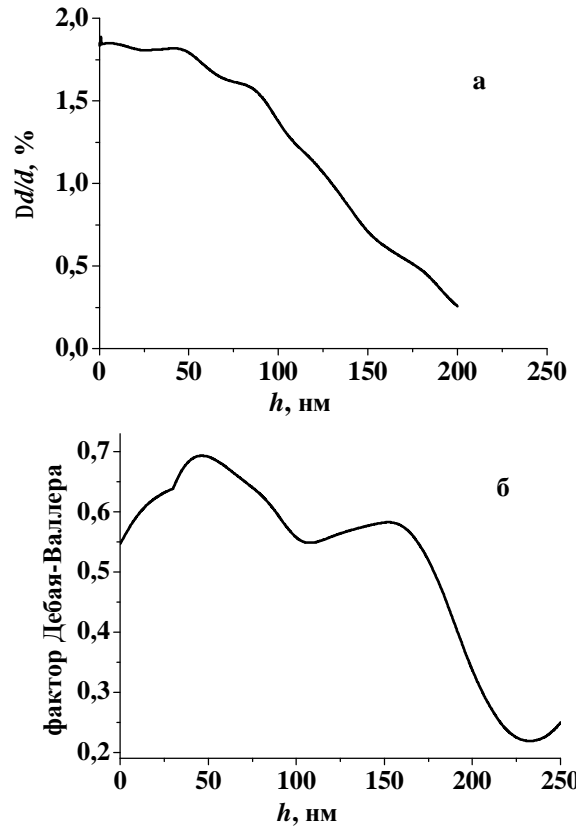


Рис. 11. Розраховані з експериментальних КДВ профілі розподілів відносної зміни міжплощинної відстані (а) та величини фактора статичного розупорядкування Дебая-Валлера (б) для плівки ЗП, імплантованої іонами кремнію ($E = 90$ кеВ, $D = 6 \cdot 10^{13} \text{см}^{-2}$).

Виявлено, що імплантація плівки ЗП іонами кремнію дозою $6 \cdot 10^{13} \text{см}^{-2}$ призводить до утворення монотонно спадного профілю відносної зміни міжплощинної відстані у порушеному шарі (рис. 11, а). Товщина порушеного шару, відповідно до рентгенодифрактометричних даних, складає близько 200 нм, що узгоджується з результатами моделювання (рис. 3). Варто відзначити, що похибка розрахунку зростає зі зменшенням величини відносної деформації, тому дані про розподіл деформацій, величина яких менша 0,2%, некоректні.

Вигляд профілю розподілу величини фактора розупорядкування Дебая-Валлера (рис. 11, б) близький до сходиноподібного, проте можна відзначити присутність локального максимуму в ділянці глибин 40-60 нм, де локалізується максимум профілю розподілу зміщених іонів кристалічної ґратки (рис. 3).

Використовуючи методику [7], розраховувалися профілі розподілу ступеня структурного розупорядкування приповерхневого шару плівки ЗП, імплантованої іонами кремнію з енергією 90 кеВ. Виявлено, що швидкість зміни максимального значення ступеня розупорядкування плівки різко зростає саме в діапазоні доз опромінення $6 \cdot 10^{13}$ - $4 \cdot 10^{14} \text{см}^{-2}$, набуваючи для флюенсу $2 \cdot 10^{14} \text{см}^{-2}$

значення близько 50% (рис. 12, а). Імпантација при цій дозі супроводжується аморфізацією приповерхневого шару.

Спирючи на результати моделювання за методами [7] та [8], можемо стверджувати, що для застосованих експериментальних умов аморфізація приповерхневого шару плівки ЗП відбувається стрибком, і при дозі опромінення $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ товщина аморфного шару складає 30-40 нм (рис. 12, б). З подальшим набором дози товщина розупорядкованого шару збільшуватиметься, причому швидкість її росту поступово зменшується. Максимальна товщина аморфізованого шару при дозах, більших $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$, становитиме 130-140 нм.

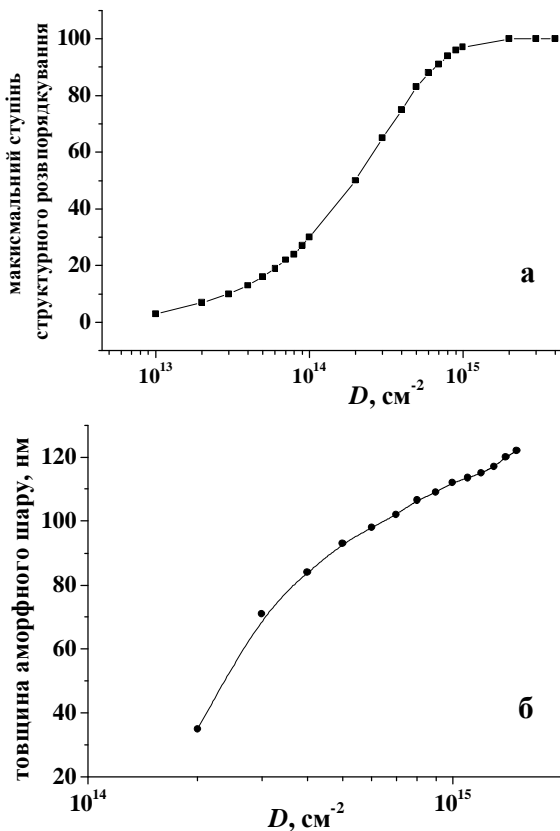


Рис. 12. Теоретично розраховані залежності максимальних значень ступеня структурного розупорядкування приповерхневого шару плівки ЗП, імпантованої іонами кремнію з енергією 90 кеВ (а) та товщини аморфізованого шару на поверхні цієї плівки від дози опромінення.

Висновки

Компаративний аналіз результатів математичного моделювання процесу імпантациї іонів кремнію

з енергією 90 кеВ у плівку ЗП та даних рентгенівської дифрактометрії дозволив стверджувати наступне:

- проективний пробіг іонів кремнію становить 80 ± 5 нм, максимальна глибина проникнення іонів-імпантантів сягає 170 ± 6 нм, а максимальне дефектоутворення відбувається на глибині 50 ± 3 нм;
- для застосованих умов імпантациї максимально ймовірним є процес утворення френкелівської пари – 44 %, ймовірність розвитку каскаду із двох атомів віддачі складає 14 %, трьох – 9 % і т. д. Утворення каскадів із десяти атомів віддачі і більше можливе у близько 17 % випадків;
- відносно розупорядкування приповерхневої ділянки плівки ЗП для дози опромінення $1 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ становить 3 %, $6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ – 19%, $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ – 50 %;
- структурне розупорядкування приповерхневого шару плівки ЗП різко зростає в діапазоні доз $2 \cdot 10^{13}$ - $6 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$;
- аморфізація приповерхневого шару плівки ЗП розпочинається при дозі опромінення $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, коли ступінь структурного розупорядкування становить 50%;
- початкова товщина аморфізованого шару становить близько 30-40 нм, максимальна – близько 130-140 нм при дозі опромінення $2 \cdot 10^{15}$ - $4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$;
- імпантација плівки ЗП іонами кремнію дозою $6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ призводить до утворення монотонно спадного профілю відносної зміни міжплощинної відстані з максимальним значенням відносної деформації розтягу 1,8 % та розупорядкованим приповерхневим шаром до глибини 200 нм, що узгоджується із результатами моделювання.

Пилипів В.М. – канд. фіз.-мат. наук, доцент, декан факультету математики та інформатики.

Гарнуп О.З. – старший лаборант навчально-наукового центру діагностики матеріалів.

Б.К. Остафійчук – доктор фіз.-мат. наук, професор, член-кор. НАН України, ректор Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.

Коцюбинський В.О. – канд. фіз.-мат. наук, доцент, докторант кафедри матеріалознавства і новітніх технологій.

В.В. Куровець – м.н.с. кафедри матеріалознавства і новітніх технологій.

О.Ю. Бончик – старший науковий співробітник.

- [1] В.В. Тихонов, А.В. Толкачев, Б.К. Остафійчук. Наблюдение резонансов обменных спиновых волн в имплантированном слое пленки ЖИГ // *Письма в ЖТФ*, **17**(15), сс. 49-52 (1991).
- [2] А. Эшенфельдер. *Физика и механика цилиндрических магнитных доменов*. Мир, М. 496 с. (1983).
- [3] М.Н. Kryder, X. Wang, C.S. Kraft, A.M. Guzman Investigations of Implantation Induced Changes in Surfaces Layers of Epitaxial Garnet Films // *J. MMM*. **35**. pp. 307-310 (1983).

- [4] Б.К. Остафійчук, В.Д. Федорів, В.О. Коцюбинський, І.П. Яремій. Механізми дефектоутворення в монокристалічних плівках залізо-ітрієвого гранату при іонній імплантації легкими іонами // *Фізика і хімія твердого тіла*, **4**(1), сс. 63-70 (2003).
- [5] S.B. Ubizskiy, A.O. Matkovskii, N. Mironova-Ulmane, V. Skvortsova, A. Suchocki, P. Potera. Displacement Defect Formation in Complex Oxide Crystals under Irradiation // *Phys. Stat. Sol.* **A177**, pp. 349-366 (2000).
- [6] Х. Риссел, И. Руге *Ионная имплантация*. Наука, М. 320 с. (1983).
- [7] J.P. Eymery Laboratoire Formules analytiques pour le calcul du profil d'ions implantées / J. P. Eymery, A. Fnidiki // *Revue Phys. Appl.* (23), pp. 925-932 (1988).
- [8] J.F. Ziegler *The Stopping and Range of Ions in Solids* / J.F. Ziegler, J.P. Biersack, U. Littmark – Pergamon Press, 265 p. (1995).
- [9] D. Kollwee Comparison of strain and damage profiles induced by implantation of Xe^+ , Ne^+ and H_2^+ ions in Yttrium Iron Garnet / D. Kollwee, L.S. Wielunski, H.S. Jin, R.E. Benenson // *Nucl. Instrum. and Meth. in Phys. Res.* **B2**, pp. 729-732 (1984).
- [10] S.G. Podorov and V.I. Punegov. Iterative solution of the inverse problem of dynamic diffraction in inhomogeneous crystals // *Technical Physics*, **44**(3), pp. 299-302 (1999).
- [11] Режим доступу: www.podorov.de.

V.M. Pylypiv¹, O.Z. Garpul¹, B.K. Ostafiychuk¹, V.O. Kotsubynskii¹, V.V. Kurovets¹,
O.Yu. Bonchuk²

The Structural Disorder of Near-Surface Layer Yttrium-Iron Garnet Films Implanted by Silicon Ions

*1 Precarpathian national University named after Vasyl Stefanyk,
57 Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76025, Ukraine*
*2 Pidstryhach Institute of Applied Problems of Mechanics and Mathematic
3 б, Naukova Str., Lviv, 290601, Ukraine
ogorishna@ukr.net*

This paper presents research results of near-surface layers of YIG films implanted by Si ions with energy of 90 keV and doses of $1 \cdot 10^{13}$, $6 \cdot 10^{13}$ and $2 \cdot 10^{14}$ cm⁻². The mathematical simulation of ion implantation of Si⁺ in YIG film showed that the formation of Frenkel pairs of defects and more complex type are equiprobable. Theoretically calculated concentration profile of radiation defects, which are mainly formed by defects formed as a result of elastic interactions of ion-implant atoms from the target. Experimentally established that the implantation of Si⁺ ions in YIG films leads to the formation in the surface layer, monotonously descending profiles of relative deformation.