ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА
Т. 15, № 1 (2014) С. 63-68

PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE
V. 15, № 1 (2014) P. 63-68

УДК 544.546:548.4+621.315.592

ISSN 1729-4428

В.М. Пилипів, В.О. Коцюбинський, І.М. Гасюк, О.З. Гарпуль, В.В. Куровець

Математичне моделювання процесу радіаційного дефектоутворення в імплантованих іонами фтору монокристалах ґадоліній-ґалієвого ґранату

ДВНЗ "Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника", вул. Шевченка, 57, Івано-Франківськ, 76018, Україна, ogorishna@ukr.net

Представлено результати математичного моделювання процесу радіаційного розупорядкування структури поверхневого шару монокристалу ґадоліній-ґалієвого ґранату, імплантованого іонами фтору. Отримано розподіли з глибиною в поверхневому шарі енерговиділення при пружному та непружному гальмуванні імплантанта в структурі, імплантованих іонів та зміщених ними іонів матриці, структурного розупорядкування в кристалі, розраховано каскади атомних зіткнень імплантанта з атомами мішені та ймовірності утворення каскадів вторинних зміщень з різною кількістю іонів.

Ключові слова: математичне моделювання, іонна імплантація, ґадоліній-ґалієвий ґранат.

Стаття поступила до редакції 23.10.2013; прийнята до друку 15.12.2013.

Вступ

Вивчення особливостей радіаційного дефектоутворення в монокристалах ґадоліній-ґалієвого ґранату (ҐҐҐ) є важливим кроком до пояснення перебігу цих процесів в складних багатошарових системах. Особливий інтерес, зокрема, викликає вивчення впливу механічних напруг в епітаксійних ферит-ґранатових плівках (ФҐП), вирощених на монокристалічних підкладках ҐҐҐ, на перебіг генерації та релаксації імплантаційно-індукованих дефектів в поверхневих шарах цих плівок. Нагадаємо, що комплекс унікальних фізичних властивостей таких ФҐП зумовлює широкі можливості їх практичного застосування в якості активного середовища при конструюванні пристроїв функціональної електроніки.

Експлуатаційні характеристики пристроїв на основі ФҐП визначаються, в першу чергу, магнітними властивостями поверхневого шару, які тісно пов'язані з його дефектністю та присутністю поля деформацій, а, значить, досягнення заданих структурних та магнітних властивостей цього шару є актуальним завданням, розв'язання якого дозволить оптимізувати функціональні можливості мікро- та наноелектронних пристроїв.

Одним з найефективніших методів післяростової обробки поверхневого шару ФҐП залишається іонна імплантація, яка дозволяє створити в кристалічній структурі локальні ділянки із бажаними фізичними властивостями, що представляє практичний інтерес для магнітомікроелектроніки та інтегральної магнітооптики.

I. Експеримент

В роботі досліджувалися монокристали ҐҐҐ, вирощені методом Чохральського із кристалографічною площиною зрізу (111) та імплантовані легкими іонами F^+. Імплантацію проведено на прискорювачі МРВ-202 в умовах, що виключають каналювання іонів-імплантантів та термостимульовану релаксацію розупорядкованої структури, з вибором наступних режимів: E = 90 кеВ, дози $1\cdot10^{13}$, $2\cdot10^{13}$, $4\cdot10^{13}$, $6\cdot10^{13}$ та $1\cdot10^{14}$ см$^{-2}$.

Для отримання кількісних характеристик процесу радіаційного дефектоутворення здійснено математичне моделювання процесу іонної імплантації в ҐҐҐ за допомогою пакету SRIM-2000 [1], що дозволило здійснити безпосереднє визначення розподілу іонних пробігів та індукованих ними дефектів за методом Монте-Карло. Перевагами застосованого методу (в порівнянні з розрахунками на основі кінетичного рівняння Больцмана є точніше врахування пружних та непружних втрат енергії в каскадах атомних зіткнень (КАЗ). Вплив на результат основного недоліку програми – здійснення розрахунків в наближенні аморфної мішені – зведено до мінімуму умовами проведення іонного опромінення, які виключали виникнення ефектів каналювання (імплантація проводилась під кутом 7º відносно

нормалі до площини плівки).

II. Результати та обговорення

Вважалося, що генерація дефектів носить незалежний характер для окремих підґраток оксидної сполуки. Елементарним актом дефектоутворення вважалася генерація френкелівської пари "вкорінений атом – вакансія". В рамках використаної моделі, утворення дефекту вважалося можливим лише у випадку, коли енергія, передана імплантантом іонові мішені, перевищує порогове значення E_d (E_d = 76, 56 і 40 еВ для Gd^{3+}, Ga^{3+} та O^{2-} [2]). Застосовувався метод моделювання іонної імплантації, описаний в [3].

В загальному випадку, імплантант в процесі гальмування в твердому тілі втрачає енергію внаслідок як пружних розсіювань на ядрах атомів мішені, так і непружних зіткнень, які супроводжуються збудженням та емісією електронів атомних оболонок. Величина енергетичних втрат іона на одиниці пробігу визначається співвідношенням $\frac{-dE}{dx} = N_0\left[S_n\left(E_i\right) + S_e\left(E_i\right)\right]$, де N_0 – середня кількість атомів в одиниці об'єму мішені (для ЗІҐ $N_0 = 8{,}4\cdot10^{22}$ іонів/см^3), E_i – енергія іона, $S_n\left(E_i\right)$ та $S_e\left(E_i\right)$ – перерізи ядерного та електронного гальмувань відповідно.

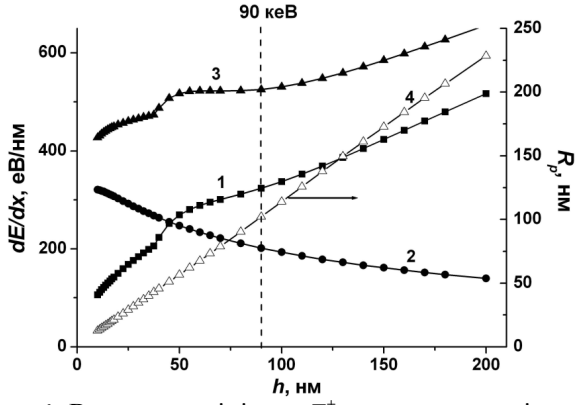

Рис. 1. Втрати енергії іоном F^+ при гальмуванні в монокристалі ҐҐҐ (електронні – 1, ядерні – 2, сумарні – 3) та середній проекційний пробіг (4).

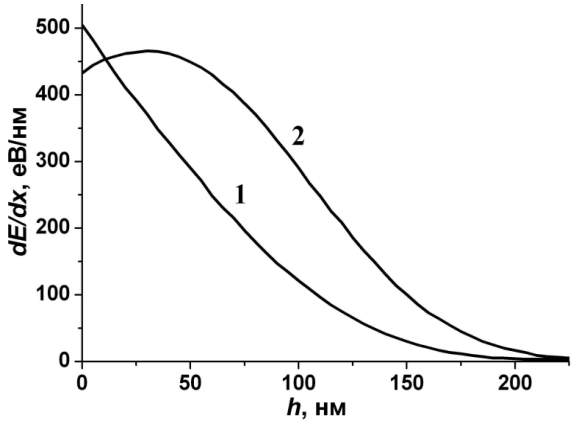

Рис. 2. Енерговиділення при гальмуванні іона F^+ (E = 90 кеВ) в монокристалі ҐҐҐ: непружні (1) та пружні (2) енергетичні втрати.

При імплантації іонів F^+ в ҐҐҐ енергетичні втрати при пружному гальмуванні немонотонно зростають зі збільшенням енергії імплантанта, в той час як втрати при непружному гальмуванні зменшуються (рис. 1). При енергії імплантанта 90 кеВ домінуючими є електронні втрати (62% від загальних), які для вибраних умов експерименту складають 320 еВ/нм.

Розрахований за [4] розподіл непружних енергетичних втрат імплантанта з початковою енергією 90 кеВ на одиниці довжини пробігу є монотонно спадним із максимумом на поверхні, де величина *dE/dx* досягає значення 500 еВ/нм (рис. 2, крива 1). В поверхневому шарі товщиною 20 нм значення пружних та непружних втрат близькі між собою і перебувають в межах 440 - 480 еВ/нм.

За результатами проективного розподілу непружного енерговиділення, основний вклад в електронну підсистему мішені імплантант здійснює в поверхневому шарі товщиною 50 нм, в той час як непружні втрати зміщених іонів кристалу, які складають ~ 28% від втрат іона-імплантанта, максимальними є в діапазоні глибин 60 - 80 нм (рис. 3, а). В цьому ж діапазоні знаходяться максимуми

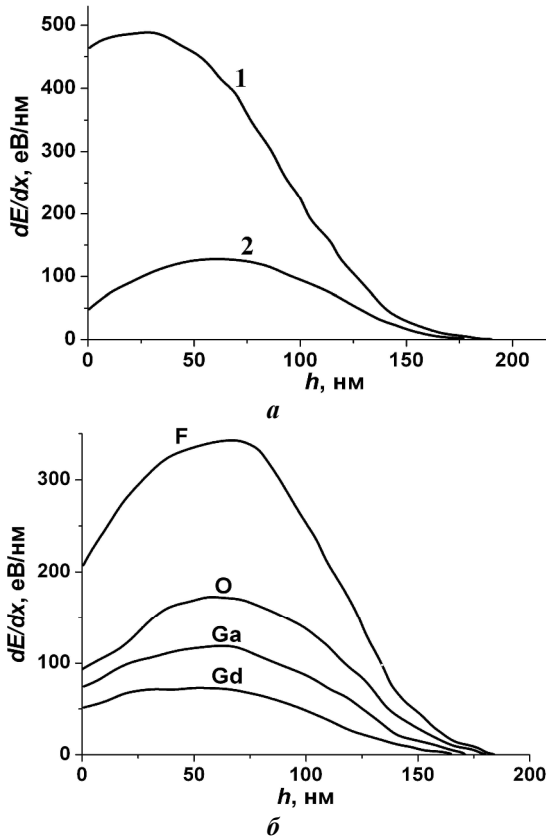

Рис. 3. Розподіл енерговиділення при непружному гальмуванні в монокристалі ҐҐҐ іона F^+ (E = 90 кеВ) (а, крива 1) та іонів віддачі (а, крива 2), а також при пружних зіткненнях імплантанта та зміщених іонів кристалу (б).

розподілів пружних втрат енергії як імплантанта, так і зміщених ним іонів кристалу (рис. 3, б).

Найбільш ефективно радіаційне розупорядкування відбувається в аніонній підґратці, де кількість зміщених іонів досягає 1,5 на 1 нм пробігу імплантанта, що перевищує цей показник для підґраток Ga та Gd у 2,5 та 5 разів відповідно. Проективний пробіг іонів F^+ з початковою енергією 90 кеВ в структурі ҐҐ складає 97 нм з поперечним розкидом 38 нм, максимальна глибина проникнення імплантанта сягає 200 нм (рис. 4).

Середня кількість іонів мішені, зміщених внаслідок пружних взаємодій з іонами імплантанта, становить близько 340. Максимальне дефектоутворення відбувається на глибині 70 ± 5 нм, де ймовірність перекривання іонних треків та формування протяжних комплексів дефектів є максимальною, що грунтується на розрахунках методом Монте-Карло розвитку КАЗ (рис. 5). Тут хрестиками відмічені атоми матриці, які отримали енергію, більшу від E_d – енергії зміщення атома з вузла кристалічної ґратки. Як видно з діаграми, для застосованих експериментальних умов каскад

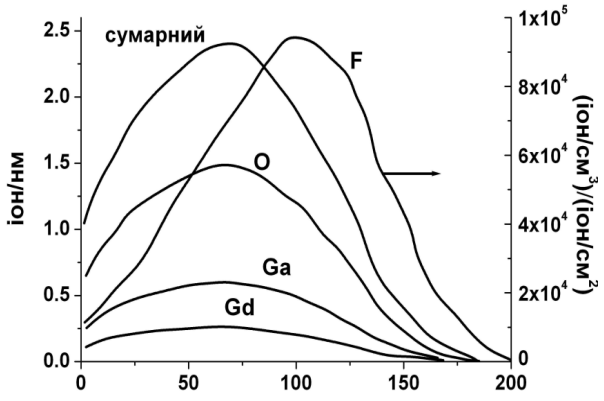

Рис. 4. Поелементні профілі розподілу кількості іонів мішені, зміщених на 1 нм пробігу імплантанта, та нормований до дози опромінення профіль імплантованих в монокристал ҐҐ іонів F^+ (E = 90 кеВ).

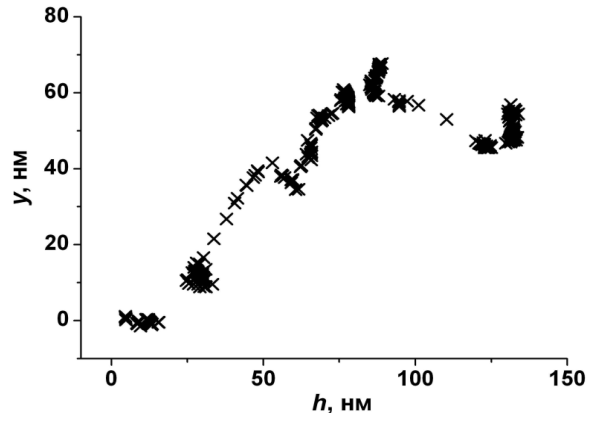

Рис. 5. Характерний вигляд треку імплантанта під час гальмування іона F^+ (E = 90 кеВ) в монокристалі ҐҐ.

складається як з точкових дефектів, так і з відокремлених кластерів. Максимальна концентрація протяжних дефектів фіксується саме на глибинах 60 - 90 нм.

При імплантації легкими іонами їх енергія, передана як в електронну, так і в ядерну підсистеми мішені, по всій довжині іонного треку не перевищує критичних значень (≥ 1 еВ/іон), при яких можливий розвиток термічних піків [5] і, таким чином, ріст рівня дефектності структури відбувається з набором дози, що підтверджується близькою до лінійної залежністю відносної деформації ґратки від дози опромінення [6, 7]. При цьому утворення і ріст аморфної фази відбувається з набором дози в результаті накопичення радіаційних дефектів в тій глибині плівки, яка відповідає положенню максимуму переданої в ядерну підсистему енергії. Поверхневий шар плівки залишається при цьому хоч і в значно пошкодженому, але кристалічному стані. В ході набору дози накопичення і об'єднання дефектів з досягненням критичних доз призводить до утворення поверхневої аморфної зони. При цьому відбувається також процес дифузії точкових дефектів з глибини до поверхні, який стимулюється ґрадієнтом напруг. Загалом, можна очікувати зародження кристалічно розупорядкованої об'ємної ділянки в поверхневій зоні з подальшим збільшенням її товщини в глибину плівки.

Механізм розупорядкування кристалічної ґратки при опроміненні важкими іонами передбачає супроводження гальмування імплантанта утворенням аморфної зони, що оточує його трек, тобто формуванням за короткий час (10^{-11} с) "теплового піку". З набором дози густина аморфних зон зростає, що призводить до їх перекриття і утворення суцільного аморфного шару. Таким чином, механізми аморфізації структури при імплантації легкими і важкими іонами є відмінними: накопичення ізольованих дефектів у першому випадку і пряма ударна аморфізація у другому. Критична доза імплантації, при якій пошкоджений шар повністю аморфізується, для цих випадків суттєво відрізняється за величиною.

В цій роботі для застосованих експериментальних умов імплантації іонами F^+ реалізується проміжний випадок. Статистична обробка результатів моделювання процесу іонної імплантації показала, що максимально ймовірним є процес ґенерації френкелівської пари – близько 48%, відносна ймовірність розвитку каскаду з двох атомів віддачі не перевищує 15 %, трьох – 8 %, чотирьох – 5 % (рис. 6). Таким чином, в процесі гальмування формується трек, що складається як з віддалених один від одного на відстань до 1 нм взаємноізольованих пар Френкеля, так і ділянок, енерговиділення в яких достатнє для формування кластеру дефектів. Руйнування кристалічної структури в цьому випадку відбувається в процесі набору дози, як результат накопичення дефектів обох типів з наступним зв'язуванням їх у комплекси.

Із характеру генерації радіаційних дефектів можна припустити, що термічно активована реком-

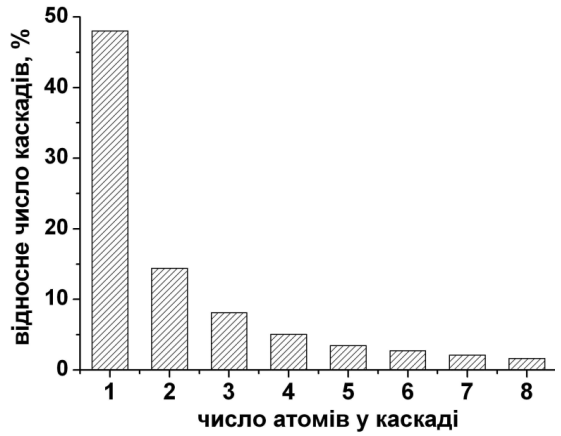

Рис. 6. Ймовірність утворення каскадів вторинних зміщень з різною кількістю іонів при імплантації монокристалу ҐҐ іонами F^+ (E = 90 кеВ).

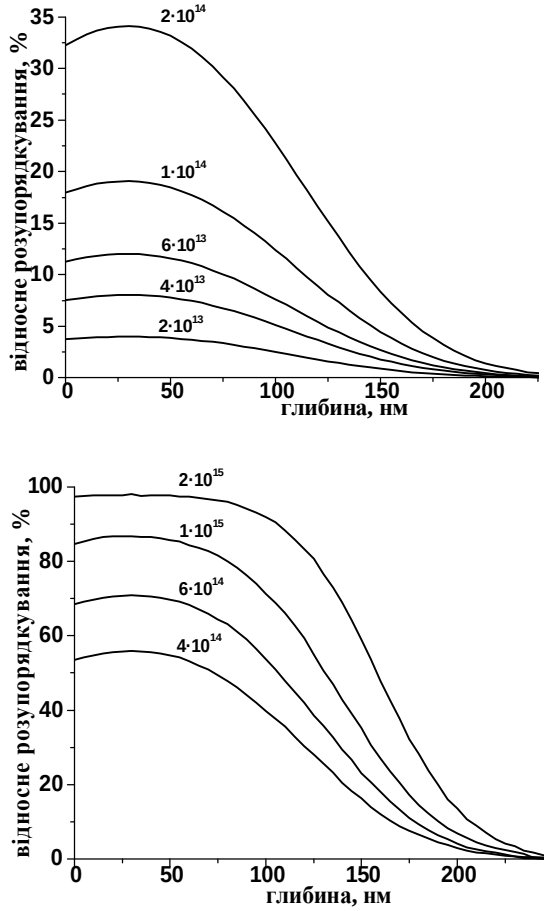

Рис. 7. Розрахункові профілі розподілу структурного розупорядкування ҐҐ, імплантованого іонами F^+ з енергією 90 кеВ.

бінація пари вакансія-вкорінений іон найімовірнішою є саме між первинними компонентами пари (анігіляція скорельованих пар). В нестійких парах атом зберігає зв'язок зі своєю вакансією, навколо якої утворюється зона нестійкості, її розміри визначаються залежністю періодичної частини потенціальної енергії вкоріненого атома від відстані до його вакансії. Оцінювальні розрахунки величини зони нестійкості навколо рівноважного положення у вузлі ґратки, потрапивши в межі якої вибитий атом атермічно чи з мінімальними затратами енергії може рекомбінувати з власною вакансією, можна зробити за співвідношенням $r_0 = \sqrt{\dfrac{e^2 a}{4\pi\varepsilon_0 U_m}}$, де a – середня відстань між атомами кристалічної ґратки (для ҐҐ середньозважене значення $a \approx 0{,}275$), U_m – енергія міграції міжвузлового атома [8]. Енергія активації процесу міграції $U_m \approx 3$ еВ, і радіус зони нестійкості r_0 для вкорінених атомів в структурі ҐҐ рівний 0,36 нм.

Аналізом перебігу КАЗ, отриманим моделюванням методом Монте-Карло, встановлено, що середній об'єм розупорядкованого кластера V_A складає 23 Å^3. Для проаналізованих статистичних масивів (5000 іонів-імплантантів) максимум значення $V_A(h)$ виявлено на глибині ~ 70 нм. Середній диференціальний переріз, що розраховувався зі статистичного розподілу енергій, переданих імплантованим атомом мішені, з глибиною в процесі гальмування, становить $\sigma_n = 1{,}68\cdot10^{-15}$ см^2. Згідно з [9], кластери дефектів при кімнатній температурі являють собою парамагнітні включення в феримагнітній матриці, а їх концентрація визначається співвідношенням $c = 1 - exp(\beta D)$, *де* β – коефіцієнт, пропорційний числу радіаційних дефектів в 1см^3 на один іон, $\beta = N\sigma_n V_A$, де N – концентрація іонів мішені ($N = 8{,}4\cdot10^{22}$ см$^{-3}$), D – доза опромінення. Для кількісної характеристики процесу накопичення структурного розупорядкування в поверхневому шарі ФҐП це співвідношення в роботі [10] модифіковане нами до вигляду $w(D) = 1 - \exp\left(-\dfrac{N_A}{N_{кр}}\right)$, $N_A = \sigma_n N D$, $N_{кр}$ – критичне значення концентрації дефектів, при якому розпочинається аморфізація структури.

Очевидно, що при концентраціях дефектів, нижчих за критичну, при яких об'єднання кластерів дефектів є малоймовірним, можна очікувати пропорційності відносної деформації кристалічної ґратки та величини концентрації дефектів.

На кривій $\omega(D)$ прослідковуються три ділянки, які можна інтерпретувати наступним чином. В ділянці низьких доз іонні треки не перекриваються, дефектність структури є мінімальною. При проміжних дозах починається поступове накопичення точкових дефектів з наступним зв'язуванням їх у комплекси, що підтверджується експериментальним фактом різкого зростання відносної зміни міжплощинної відстані. Подальше збільшення дози веде до перекриття іонних треків та появи комплексів, здатних приєднувати до себе точкові дефекти. Дифузія дефектів спричинює утворення розупорядкованих аморфних зон, що призводить до поступового виходу залежності $\omega(D)$ на плато. Ці висновки доповнюють результати роботи [11], в якій

аналогічна залежність отримана експериментально за припущення пропорційності інтегральної інтенсивності парамагнітної компоненти месбауерівського спектру ступеню розупорядкування кристалічної ґратки. На постімплантаційну дефектну структуру монокристалу ҐҐ чинить вплив і його ростова дефектна структура, детально розглянута нами в [12].

Із застосуванням методики [13] розраховано профілі розподілу ступеня відносного розупорядкування мішені при опроміненні ҐҐ іонами F^+ (E = 90 кеВ) з дозами, використаними в експерименті та вищими (рис. 7), на основі чого побудовано дозову залежність максимальних значень ступеня розупорядкування кристалічної структури (рис. 8).

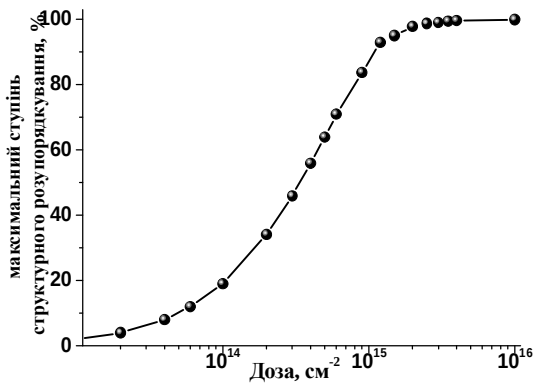

Рис. 8. Дозова залежність максимального значення профілів розподілу структурного розупорядкування ҐҐ, імплантованого F^+ з енергією 90 кеВ.

Авторами [14] пропонується критерій опису стану іонно-імплантованого шару ФҐП, відповідно до якого пружний характер порушень зберігається для ступенів розупорядкування 0,28 - 0,61 незалежно від енергії імплантанта та дози опромінення, тоді як релаксація механічних напруг і пластичні перетворення в кристалі спостерігаються при перевищенні значення 0,61. Відповідно до цього твердження, руйнування структури в нашому випадку повинно розпочатися в інтервалі доз $1\cdot10^{14}$-$5\cdot10^{14}$ см$^{-2}$. За результатами моделювання (рис. 8), розупорядкування різко зростає на початку цього інтервалу, тобто при дозах $1\cdot10^{14}$ - $2\cdot10^{14}$ см$^{-2}$, яким відповідає концентрація $(1 - 2)\cdot10^{22}$ см$^{-3}$ зміщених іонів, що складає 15 - 25% загальної кількості іонів ґратки.

Для підвищення достовірності результатів моделювання необхідно враховувати активізацію рекомбінаційних процесів при перетині зон нестійкості дефектів в результаті збільшення їх щільності при наборі дози. Так, домінуючу роль близькодіючо-анігіляційного механізму відбудови структури для іонно-опроміненого залізо-ітрієвого ґранату (ЗІҐ) підтверджують дані [15] про величину характерних часів елементарних актів процесу міграції дефектів $(1,6 - 8,4)\cdot10^{-13}$ с. Тут же експериментально визначено величини енергії активації процесу рекомбінаційного відновлення точкових дефектів для структури ЗІҐ (2,0 - 3,2 еВ), які будуть знижуватись з переходом системи в метастабільний стан при накопиченні дефектів. Таким чином, паралельно з процесами утворення дефектів відбувається відновлення кристалічної ґратки, і важливим параметром при цьому є співвідношення швидкостей генерації та рекомбінації дефектів.

Найімовірнішим механізмом розу порядкування структури при імплантації є гомогенне зародження аморфної зони, як результат взаємодії дифундуючих простих дефектів з наступним утворенням деякого зародка, на якому накопичуватимуться інші дефекти (коагуляційний механізм).

Висновки

Енергетичні втрати при пружному гальмуванні іонів F^+ в ҐҐ немонотонно зростають зі збільшенням енергії імплантанта, а втрати при непружному гальмуванні зменшуються. Для застосованих умов експерименту (енергія імплантанта 90 кеВ) домінуючими є електронні втрати (62 % від загальних), що склали для умов експерименту 320 еВ/нм.

За результатами проективного розподілу непружного енерговиділення, основний вклад в електронну підсистему мішені імплантант здійснює в поверхневий шар товщиною близько 50 нм, в той час як непружні втрати зміщених іонів кристалу, які складають ~ 28 % від втрат іона-імплантанта, максимальними є в діапазоні глибин 60 – 80 нм. В цьому ж діапазоні перебувають максимуми розподілів пружних втрат енергії як імплантанта, так і зміщених ним іонів кристалу.

Радіаційне розупорядкування найефективніше відбувається в аніонній підґратці, де кількість зміщених іонів досягає 1,5 на 1 нм пробігу імплантанта, що перевищує цей показник для підґраток Ga та Gd у 2,5 та 5 разів відповідно.

Проективний пробіг іонів F^+ з початковою енергією 90 кеВ в структурі ҐҐ становить 97 нм з поперечним розкидом 38 нм, максимальна глибина проникнення імплантанта сягає 200 нм. Середня кількість іонів, зміщених внаслідок пружних взаємодій імплантованого іона з атомами мішені, становить близько 340. Максимальне дефектоутворення відбувається на глибині 70 ± 5 нм, де ймовірність перекривання іонних треків та формування протяжних комплексів дефектів є найбільшою. Для застосованих експериментальних умов каскад атомних зіткнень складається як з точкових дефектів, так і з окремих відокремлених кластерів. Максимальна концентрація протяжних дефектів фіксується на глибинах 60 – 90 нм.

Найімовірнішим є процес ґенерації френкелівської пари – близько 48 %, в той час як відносна ймовірність розвитку каскаду з двох атомів віддачі не перевищує 15 %, трьох – 8 %, чотирьох – 5 %. Таким чином, в процесі гальмування формується трек, що складається як з віддалених один від одного на відстань ≤ 1 нм взаємноізольованих пар Френкеля, так і ділянок, енерговиділення в яких достатнє для формування кластеру дефектів.

Руйнування кристалічної структури відбувається в процесі набору дози, як результат накопичення дефектів обох типів з наступним зв'язуванням їх у комплекси.

Відповідно до аналізу даних про перебіг каскадів атомних зіткнень, середній об'єм розупорядкованого кластера V_A рівний 23 Å^3. Для проаналізованих статистичних масивів максимум значення $V_A(h)$ спостерігається на глибині ~ 70 нм. Середній диференціальний переріз, розрахований зі статистичного розподілу енергій, переданих імплантованим атомом мішені, з глибиною в процесі гальмування складає $\sigma_n = 1{,}68\cdot10^{-15}$ см^2.

Розраховано розподіли з дозами (в тому числі експериментальними) ступеня відносного розупорядкування для опромінення ҐҐ ґ іонами F^+ (E = 90 кеВ) та побудовано дозову залежність максимальних значень ступеня розупорядкування кристалічної структури.

Встановлено, що руйнування структури повинно розпочатися в інтервалі доз $1\cdot10^{14}$-$5\cdot10^{14}$ см$^{-2}$. Початковим дозам цього інтервалу ($1\cdot10^{14}$-$2\cdot10^{14}$ см$^{-2}$) відповідають концентрації (1 - 2)$\cdot10^{22}$ см$^{-3}$ зміщених іонів ґратки, що складає 15 – 25 % загальної кількості іонів.

[1] J. F. Ziegler, Handbook of Ion Implantation Technology (North-Holland, New York, 1992).
[2] A.O. Matkowski, D.Yu. Sugak, S. B. Ubizskii and I. V. Kityk, Opto-Electronics Review, 3(2), 41, (1995).
[3] J. F. Ziegler, J. P. Biersack , U. Littmark. The Stopping and Range of Ions in Solids (Pergamon Press, 1995).
[4] C. R. Fritzsche. Applied Rhysics 12 (4), 347 (1977).
[5] B.K. Ostafijchuk, V.M. Tkachuk, O.N. Voronchak, B.I. Javorskij, Metallofizika i novejshie tehnologi, 16(8), 51 (1994).
[6] B. K. Ostafijchuk, V.A. Olejnik, V.M. Pylypiv, B.T. Semen, L.M. Smerklo, B.I. Javorskij, V.I. Kravec, I.V. Koval'., Kristallicheskaja i magnitnaja struktura implantirovannyh sloev monokristallicheskih plenok zhelezo-ittrievogo rranata (K., Prepr. AN USSR. In-t metallofiziki; №1–91, 1991).
[7] K. Komenou, J. Hirai, K. Asama, M. Sakai, J. Appl. Phys, 49(12), 5806, (1978).
[8] T.D. Dzhafarov. Radiacionno-stimulirovannaja diffuzija v poluprovodnikah (Jenergoizdat, Moskva, 1991).
[9] V. N. Berzhanskij, V. E. Petrov, V.L. Kokoz, Fizika tverdogo tela, 33(11), 3372 (1991).
[10] V.M. Pilipiv, Ukraïns'kij fizichnij zhurnal, 53(1), 61 (2008).
[11] Sh. Sh. Bashkirov, N. G. Ivojlov, E. S. Romanov, Fizika tverdogo tela, 27(9), 2853, (1985).
[12] V.M. Pilipiv, B.K. Ostafijchuk, T.P. Vladimirova, Є.M. Kislovs'kij, V.B. Molodkin, S.J. Olihovs'kij, O.V. Reshetnik, O.S. Skakunova, S.V. Lizunova, Nanosistemi, nanomateriali, nanotehnologiï, 9(2), 375, (2011).
[13] J. P. Eymery, A. Fnidiki, Revue Phys. Appl, 23, 925, (1988).
[14] A. Markjalis, L. Pranjavichus, Lit. fiz. sb., Vip. XVIII (5), 647, (1978).
[15] V. O. Kocjubins'kij, V. V. Nemoshkalenko, B. K. Ostafijchuk, Ja.P. Salij, V. D. Fedoriv, P. I. Jurchishin, Metallofizika i novejshie tehnologi, 23(11), 1449, (2001).

V.M. Pylypiv, V.O. Kotsuybynsky, I.M. Gasyuk, O.Z. Garpul, V.V Kurovec

Mathematical Modeling of Radiation Defects Implanted of Ions Fluoride in Single Crystals of Gadolinium Gallium Garnet

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 57 Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine

Presented the results of mathematical modeling of process of radiation disordering the structure of the surface layer of single crystal gadolinium gallium garnet - implanted by ions of fluorine. Received distributions with depth in the surface layer of energy in elastic and inelastic braking implant in the structure of implanted ions and of shifted of ions matrix of structural disordering in the crystal, calculated cascades of atomic collisions with the atoms of the target of the implant and the probability of formation of secondary displacement cascades with different numbers of ions.

Keywords: mathematical modeling, ion implantation, gadolinium gallium garnet.