

УДК 548.73/.75+621.315.592  
PACS NUMBER: 71.18.+Y

ISSN 1729-4428

Б.К. Остафійчук, Л.С. Яблонь, В.О. Коцюбинський  
**Кристалічна і магнітна мікроструктура приповерхневих шарів  
монокристалічних плівок LaGa-заміщеного залізо-ітрієвого  
гранату імплантованих іонами F<sup>+</sup>**

*Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника,  
вул. Шевченка, 57, Івано-Франківськ, 76000, Україна e-mail project1709@pu.if.ua, тел: +(03422) 59-60-75*

В роботі на основі даних конверсійної месбауерівської спектроскопії, рентгенівської дифрактометрії та математичного моделювання процесу іонної імплантації досліджено процес генерації радіаційних дефектів у монокристалічних епітаксійних La,Ga-заміщених плівках залізо-ітрієвого гранату опромінених іонами F<sup>+</sup> з енергією 90 кеВ в дозовому інтервалі  $1 \cdot 10^{13}$ - $2 \cdot 10^{14}$  см<sup>-2</sup>. Розглянуто механізми розвпорядкування кристалічної і магнітної мікроструктури імплантованого шару.

**Ключові слова:** ферит-гранатові плівки; іонна імплантація, радіаційні дефекти, конверсійна месбауерівська спектроскопія.

*Стаття постуила до редакції 01.09.2004; прийнята до друку 20.10.2004.*

## I. Вступ

Монокристалічні плівки La,Ga-заміщених ферит-гранатів застосовуються в якості активного середовища для пристроїв функціональної мікроелектроніки. Заміщення іонів Fe<sup>3+</sup>, які займають кристалічно нееквівалентні тетра- та октапорожнини (d- та a-позиції заміщуються у співвідношенні  $\approx 90 \pm 5\% : 10 \pm 5\%$  [1], відповідно), іонами Ga<sup>3+</sup> використовується з метою зменшення намагніченості насичення при незмінній величині ефекту Фарадея, що дозволяє застосовувати для обертання площини поляризації значно менші зовнішні магнітні поля, порівняно з чистим залізо-ітрієвим гранатом (ЗІГ). Заміщення іонів Y<sup>3+</sup> в додекаедричних позиціях іонами La<sup>3+</sup> призводить до зростання сталої ґратки плівки, як результат, до зменшення різниці між сталими ґраток плівки та підкладки порівняно з чистим ЗІГ, що обумовлює незначні ростові напруги в гетероепітаксійній системі. Поряд із застосуванням в магнітооптиці, La,Ga:ЗІГ плівки застосовуються в надвисокочастотній електроніці в якості слабomagнітного прошарку між плівками ЗІГ, в яких генеруються магнітостатичні хвилі (МСХ) [1]. Можливість генерації в досліджуваних структурах циліндричних магнітних доменів (ЦМД) та вузька, в порівнянні з іншими матеріалами цього класу, ширина смуги феромагнітного резонансу і, відповідно, менші втрати при перемагнічуванні відкривають можливість застосування

досліджуваного матеріалу в пристроях енергонезалежної магнітної пам'яті.

Застосування іонної імплантації (ІІ) для модифікації кристалічної та магнітної мікроструктури приповерхневих шарів досліджуваних плівок може здійснюватися як для створення планарної складової намагніченості та каналів просування ЦМД (ЦМД-технології) так і для оптичних хвилеводів (магнітооптика).

## II. Об'єкти та методи дослідження

Монокристалічні плівки складу Y<sub>2,8</sub>La<sub>0,2</sub>Fe<sub>4,54</sub>Ga<sub>0,46</sub>O<sub>12</sub> та товщиною 2,44 мкм, вирощувалися методом рідкофазної епітаксії, на немагнітних підкладках гадоліній-галієвого гранату (ГГГ) з площиною зрізу <111>. Імплантація проводилась іонами F<sup>+</sup> з енергією 90 кеВ в дозовому інтервалі  $1 \cdot 10^{13}$ - $2 \cdot 10^{14}$  см<sup>-2</sup> в умовах, що виключали самовідпал і ефекти каналювання.

Рентгеноструктурні дослідження проводились з використанням двокристалічної бездисперсійної схеми на установці ДРОН-2.0 в симетричній геометрії Бреґа (CuK<sub>α1</sub>-випромінювання), відбиваюча площина <444>. Утворення і накопичення радіаційних дефектів при іонній імплантації веде до змін міжплощинної відстані в порушеному шарі (відносна деформація в напрямку нормальному до площини плівки зростає). Ці зміни зумовлюють

появу на експериментальних кривих дифракційного відбивання (КДВ) додаткової осциляційної структури (ДОС), що є результатом інтерференції рентгенівських променів, розсіяних приповерхневим шаром з неперервним розподілом міжплощинних відстаней.

Конверсійні електронні мессбауерівські спектри (КЕМС)  $Fe^{57}$ , отримувалися при кімнатній температурі в режимі постійних прискорень; використовувалось джерело  $\gamma$ -квантів  $Co^{57}$  в хромовій матриці з активністю  $\sim 90$  мКи. Реєстрація конверсійних електронів здійснювалась проточним лічильником (96% He + 4%  $CH_4$ ); калібровка спектрів проводилась відносно  $\alpha$ -Fe.

Для монокристалічних плівок ЗІГ з площиною зрізу (111) число нееквівалентних позицій, що виникають внаслідок залежності величини квадрупольного розщеплення від величини кута  $\theta$  між напрямком ефективного магнітного поля та віссю симетрії градієнта електричного поля скорочується до трьох ( $\theta_{a1} = 0; \theta_{a2} = 70^\circ 52'; \theta_d = 54^\circ 44'$ ) і КЕМ спектр є суперпозицією трьох компонент зі співвідношенням площ  $S_d : S_{a1} : S_{a2} = 6 : 3 : 1$ . Заміщення Fe немагнітними іонами призводить до появи нееквівалентних позицій  $Fe^{57}$  з порівняно меншими ефективними полями на ядрах. Ймовірності утворення нееквівалентних позицій визначалися з біноміального розподілу:

$$P_z^{(n)} = \frac{z!}{n!(z-n)!} k^{(2-n)} (1-k)^n, \text{ де } z - \text{ координатне}$$

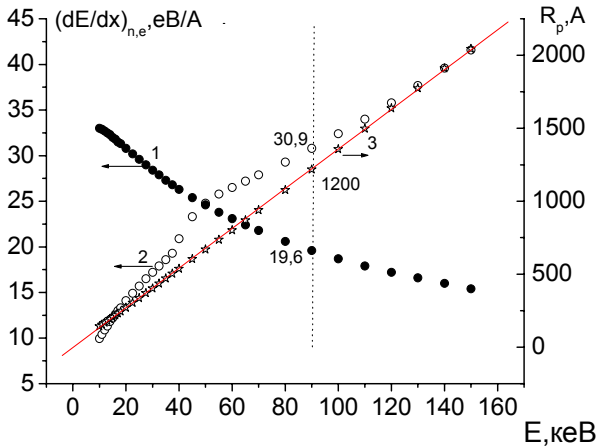
число ( $z = 4, 6$ );  $n$  – число магнітних сусідів,  $0 \leq n \leq z$ ,  $k$  – відносна кількість немагнітних іонів в сусідніх підгратках. Використовувалися дані про вміст іонів  $Ga^{3+}$  на формульну одиницю ( $x_{Ga} = 0,46$ ), отримані методом мікрорентгеноспектрального аналізу. Виходячи з ймовірності знаходження магнітних іонів в ближньому оточенні  $Fe^{57}$  було виділено чотири магнітнееквівалентні позиції мессбауерівського ядра. Експериментальні спектри апроксимувалися чотирма секстетамі (3 нееквівалентні  $a_1, a_2, a_3$  – октапозиції і одна d-тетрапозиція) та дублетом D, що відповідає атомам  $Fe^{57}$ , які не приймають участі в надобмінній взаємодії і знаходяться в парамагнітному стані. Вибір параболічної форми фону зумовлювався проявами геометричних факторів при наборі експериментального спектру,  $t_{набору} = 48$  год. Задовільна апроксимація спектру для неімплантованої плівки була можлива тільки припускаючи, що ядра  $Fe^{57}$  з числом магнітних сусідів  $\leq 2$  перебувають в парамагнітному стані.

### III. Моделювання процесу радіаційного дефектоутворення

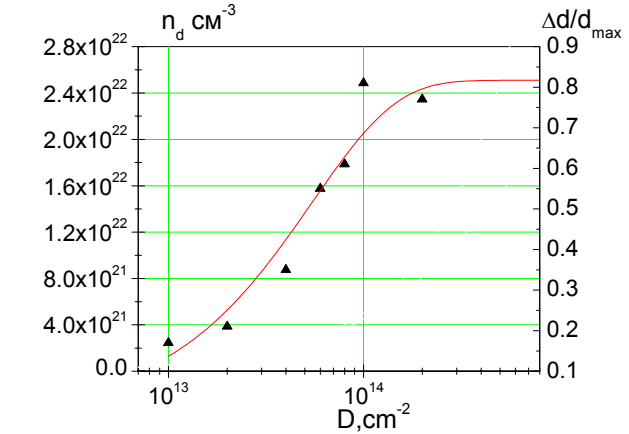
Для коректного аналізу експериментальних даних було здійснено моделювання процесу радіаційного дефектоутворення в досліджувану структуру. Вважалося, що генерація дефектів носить незалежний характер для окремих підграток оксидної

сполуки. Розрахунки утворення каскадів атом-атомних зіткнень (КААЗ) здійснювалися в наближенні аморфної мішені, що забезпечувалося умовами експерименту (імплантація проводилась під кутом  $7^\circ$  відносно нормалі до площини плівки). Елементарний акт дефектоутворення – генерація пари Френкеля, вкорінений атом – вакансія, пов'язані між собою силами електростатичного притягання. В рамках застосованої моделі вважалося, що утворення дефекту можливе лише у випадку, коли енергія передана імплантантом іону мішені перевищує порогове значення  $E_d$  ( $E_d = 66,56$  і  $40$  еВ для  $Y^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$  та  $O^{2-}$  [2]). Вважалося, що дефектоутворення відбувається тільки внаслідок передачі енергії імплантантом в ядерну підсистему мішені внаслідок пружних зіткнень; підпорогові ефекти (структурне розвпорядкування при не пружних процесах збудження та іонізації електронних оболонок) не враховувалися. Диференціальні перерізи пружного  $\sigma_n$  і непружного  $\sigma_e$  дефектоутворення співмірні тільки в приповерхневій зоні товщиною 10-20 нм при товщині порушеного шару  $\sim 150$  нм [3]; розрахунок залежності іонізаційних і пружних енергетичних втрат іона-імплантанта від його початкової енергії та довжини проективного пробігу іона-імплантанта представлено на рис. 1. Застосовувалося моделювання П на основі методу Монте-Карло; вважалося, що атом-атомні взаємодії в каскаді взаємозалежні і абсолютно пружні. Іон-імплантант чи атом віддачі випадковим чином взаємодіє з атомом мішені, ймовірність зіткнення пропорційна перерізу зіткнення з врахуванням концентрації атомів певного сорту, їх енергії зв'язку в ґратці та порогових енергій зміщення. Максимальна енергія, яку може передати рухомий атом масою  $M_i$  з енергією  $T_i$  партнеру з масою  $M_m$ :  $T_{max} = 4M_m M_i / (M_m + M_i) T_i$ ;  $T = Rnd(T_{max})$  – енергія передана атому віддачі. При розвитку КААЗ атоми, що володіють  $T > E_d$  створюють власні каскади поки  $T$  не стане менше  $E_d$ . Інформація про генерацію і розвиток КААЗ була піддана статистичній обробці. Для застосованих умов задачі максимально імовірним є процес генерації Френкелівської пари  $\sim 60\%$ ; розвиток каскаду з 2 атомів віддачі  $\sim 20\%$ , 3 –  $8\%$ , 4 –  $5\%$  і т.д. Середній об'єм розвпорядкованої зони  $V_A = 20 \text{ \AA}^3$ . Чіткої залежності  $V_A(h)$  для проаналізованих статистичних масивів (для 100 іонів-імплантантів) не виявлено, спостерігається максимум значення  $V_A$  на глибині  $\sim 50$  нм. Середній диференціальний переріз  $\sigma_n$  розраховувався з статистичного розподілу енергій переданих імплантованим атомом мішені з глибиною в процесі гальмування;  $\bar{\sigma}_n = 5,95 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ .

В найпростішому випадку, який реалізується при імплантації легкими іонами ( $M_i \ll \bar{M}_m$ ) зміна концентрації радіаційних дефектів описується рівнянням  $n_d(D) = n_0 + N\sigma_d D$ ;  $N$  – концентрація іонів мішені; ( $N_{ЗИГ} = 8,2 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$ );  $D$  – доза опромінення;  $n_0$  – концентрація генетичних (ростових) точкових дефектів;  $n_0 \ll n_d$  [4]. При значній концентрації



**Рис. 1.** Залежність енергетичних втрат, пов'язаних з пружним (1) та не пружним (2) гальмуванням імпланта та довжини проєктивного пробігу (3) від енергії імпланта  $F^+$  (ФГП складу  $Y_{2,8}La_{0,2}Fe_{4,54}Ga_{0,46}O_{12}$ ).



**Рис. 2.** Залежність відносної зміни максимальної деформації  $(\Delta d/d)_{\max}$  від дози імплантації іонами  $F^+$  ( $E = 90$  кеВ) (маркери), апроксимація рівнянням (2) (суцільна лінія) та відповідні значення концентрації зміщених атомів - пояснення в тексті.

зміщень ймовірність того, що новоутворені компоненти пар Френкеля опиняться в зоні нестійкості інших дефектів зростає і збільшення  $n_d$  з ростом  $D$  обмежується анігіляцією зміщених атомів на вже існуючих вакансіях. Накопичення радіаційних дефектів, що обмежується анігіляцією описується рівнянням [5]

$$dn_d / dn = N\sigma_d(1 - Vn_d), \quad (1)$$

розв'язок якого

$$n_d(D) = 1 / V_n (1 - \exp[-N\sigma_d V_n D]),$$

де  $V_n$  – об'єм зони нестійкості.

Поява в кристалі точкових дефектів та їх комплексів призводить до спотворення кристалічної ґратки внаслідок зміщень оточуючих дефект іонів; при даній температурі цей стан можна вважати квазірівноважним. В рамках такої моделі зміна об'єму кристалу при внесенні сферичносиметричних дефектів в пружноізотропному середовищі є пропорційна до концентрації дефектів. Таким чином, відносна зміна максимальної деформації  $(\Delta d/d)_{\max}$ , зафіксована експериментально, є величиною чутливою до концентрації дефектів в порушеному шарі:

$$(\Delta d/d)_{\max}(D) = \bar{V}_d n_d(D) \quad (2)$$

$\bar{V}_d$  – ефективний об'єм дефекта (усереднений по дефектах усіх типів). Апроксимуючи експериментальну залежність  $(\Delta d/d)_{\max}$  функцією (2) з врахуванням (1) (рис. 2) було отримано чисельні характеристики радіаційного дефектоутворення: радіус зони нестійкості становить  $r_{zn} = 4,4 \pm 0,9 \text{ \AA}$ , ефективний радіус дефекту  $r_{ef} = 0,9 \pm 0,2 \text{ \AA}$ ,  $r_{ef} = r_0 - r_1$ ,  $r_0$  – радіус дефекту після релаксації в порожнині радіуса  $r_1$ . Отримане значення  $r_{zn}$  корелює

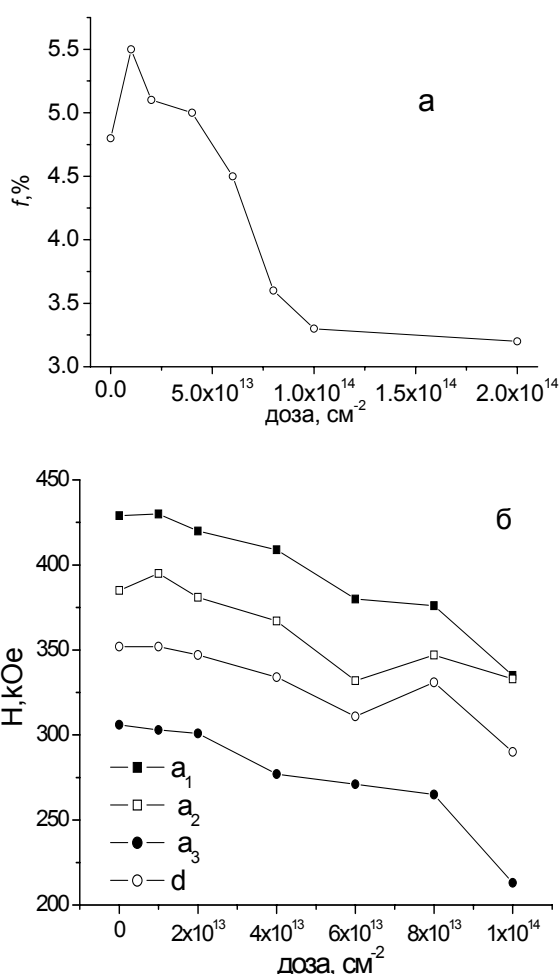
з отриманими значеннями радіуса зони нестійкості для випадку імплантації іонами  $B^+$  ( $E = 80$  кеВ) в ЗІГ, де  $r_{zn} = 3,5 \text{ \AA}$  [3].

Граничні значення концентрації дефектів, в межах яких динамічний характер дифракції рентгенівських променів порушеним шаром порушується і розсіювання відбувається відповідно до кінематичної теорії, становлять  $(2,6 \pm 3) \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ , тобто «аморфізація» починається, коли зміщено з регулярних положень  $\approx 3\%$  загальної кількості іонів.

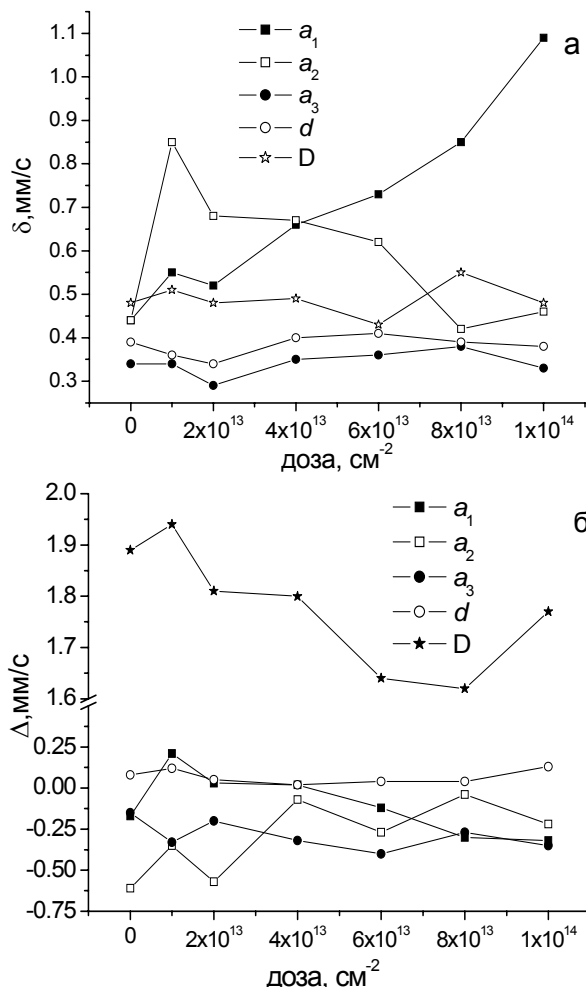
#### IV. Результати та обговорення

Ймовірність ефекту Мессбауера  $f$  чутлива до змін кристалічної мікроструктури;  $f$  несе інформацію про фононний спектр кристалу, жорсткість міжатомних зв'язків та анізотропний характер коливань і зменшується з ростом розвпорядкування структури при іонній імплантації. Проте експериментальна залежність  $f(D)$  (рис. 3, а) характеризується зростанням ймовірності ефекту в порівнянні з неімплантованою плівкою при дозах імплантації  $(1-2) \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ , яке виходить за межі похибки апроксимації і відтворюється в дозових залежностях інших параметрів месбауерівських спектрів (рис. 3, б; 4, а; 4, б).

Цей факт пояснюється пружним характером локальних змін міжплощинної відстані для даних доз опромінення (виникнення напруг розтягу в напрямку перпендикулярному до площини плівки і стиску в напрямку паралельному). Відповідно до результатів, отриманих при математичній обробці рентгенодифрактометричних даних, профіль відносної зміни міжплощинної відстані для  $D = (1-4) \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  є монотонно спадним з максимумом деформації на поверхні [6]. В



**Рис. 3.** Залежність ймовірності ефекту Мессбауера  $f$  (а) та ефективних магнітних полів на ядрах  $Fe^{57}$  для різних нееквівалентних позицій атомів заліза (б) від дози імплантації іонами  $F^+$  ( $E = 90$  кеВ). ФГП складу  $Y_{2,8}La_{0,2}Fe_{4,54}Ga_{0,46}O_{12}$ .



**Рис. 4.** Залежність ізомерних зсувів (а) та квадрупольного розщеплення для ядер  $Fe^{57}$  у різних нееквівалентних позицій (б) від дози імплантації іонами  $F^+$  ( $E = 90$  кеВ). ФГП складу  $Y_{2,8}La_{0,2}Fe_{4,54}Ga_{0,46}O_{12}$ .

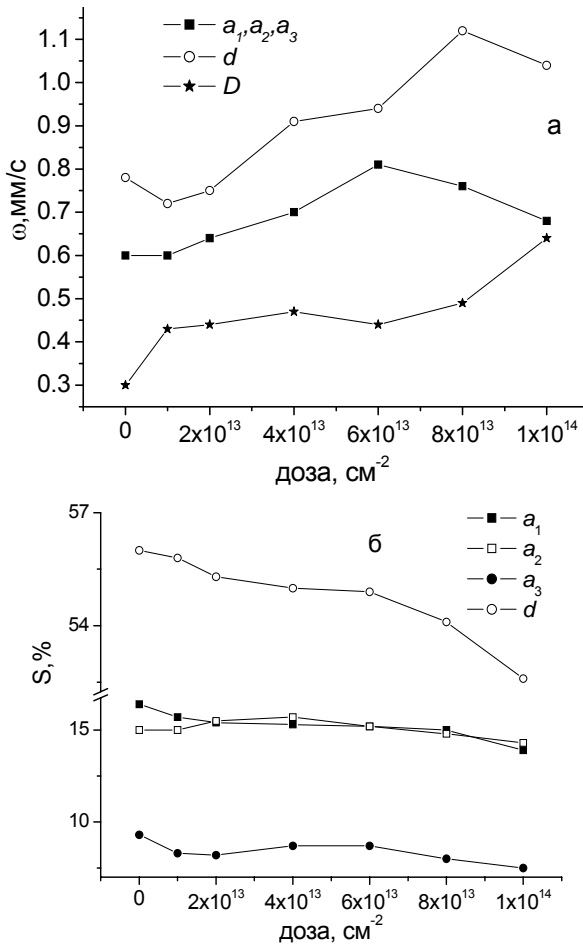
приповерхневому шарі товщиною  $\sim 80$  нм, з якого вилітає  $\sim 90\%$  конверсійних електронів, відносна зміна міжплощинної відстані становить  $+(0,10 \div 0,15)\%$ . Пружний характер зменшення відстані між атомними площинами перпендикулярно до площини півки веде до зменшення відстаней  $Fe_a-O$  та  $Fe_d-O$ , що фіксується як зростання ефективного поля  $H_{ef}$  на ядрах  $Fe^{57}$  та ймовірності ефекту  $f$ , причому чутливішим до наведених напруг є ядра  $Fe^{57}$  в а-позиціях. Зміни  $H_{ef}$  зумовлюються деформаційно індукованим перерозподілом спінової густини електронів s-оболонки атома  $Fe^{57}$ . Це припущення підтверджується зафіксованим зростанням ізомерних зсувів, що зумовлюється зменшенням ступеня ковалентності хімічного зв'язку  $Fe_a-O$  (4,а) [7].

Застосування дози опромінення  $D > 2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$  веде до порушення пружного характеру дефектоутворення; спостерігається зниження  $H_{ef}^a$  при зростанні ширини лінії  $w$ , що пояснюється ростом числа кристалічно та магнітнееквівалентних

позицій ядер  $Fe^{57}$ , які слабо відрізняються за величиною  $H_{ef}$ , причому саме а-підгратка з координаційним числом 6 є менш радіаційно стійка внаслідок близькості мас імплантанта та кисню.

Зміна квадрупольного розщеплення з ростом дози опромінення для ядер  $Fe^{57}$  в октакоординаті носить складний характер; це пов'язано з високою чутливістю цього параметру до змін у симетрії ближнього оточення мессбауерівського ядра внаслідок накопичення радіаційних дефектів; для d-підгратки квадрупольне розщеплення змінюється слабо (рис. 4,б).

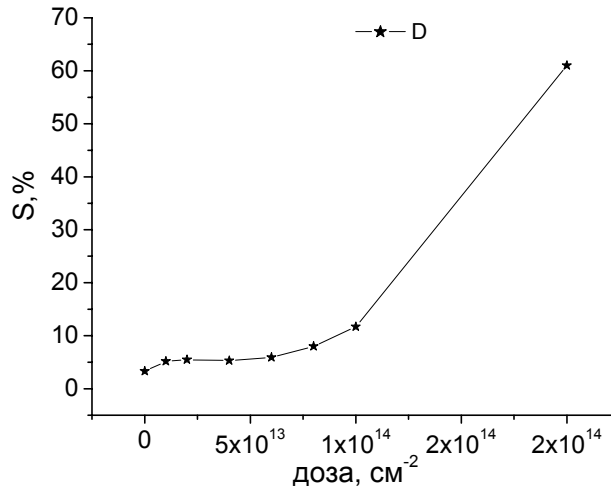
Ширина лінії, як параметр чутливий до симетрії локального оточення  $Fe^{57}$  зростає в порівнянні з чистим ЗГ при заміщенні іонів  $Fe^{3+}$  на іони  $Ga^{3+}$ , які володіють меншим іонним радіусом і спотворюють симетрію **внутрікристалічних електричних** поля в місцях знаходження ядер заліза. Поява різним чином орієнтованих та спотворених координаційних поліедрів та розорієнтація площини півки відносно (111) викликає додаткове **уширення** ліній надтонкої



**Рис. 5.** Залежність ширини ліній (а) та інтегральної інтенсивності парціальних компонент мессбауерівських спектрів  $Fe^{57}$  (б) від дози імплантації іонами  $F^+$  ( $E = 90 \text{ кеВ}$ ). ФГП складу  $Y_{2,8}La_{0,2}Fe_{4,54}Ga_{0,46}O_{12}$ .

структури спектра (рис.5,а). Зміна відносних площ парціальних підспектрів в основному визначається ростом з набором дози відносного об'єму приповерхневого шару плівки з радіаційно-індукованим магнітним розвпорядкуванням (рис. 5,б).

В неімплантованій плівці ядра  $Fe^{57}$  з числом магнітних сусідів  $\leq 2$  перебуватимуть в парамагнітному стані і формуватимуть дублетну складову спектру з квадрупольним розщепленням  $\Delta \approx 1,9 \text{ мм/с}$ , що свідчить про зниження валентності заліза з 3 до 2. Імплантаційне розвпорядкування спричинює ріст відносного вмісту парамагнітної фази (рис.6), причому спостерігається тенденція до зниження квадрупольного розщеплення для (рис. 4, б) Величини ізомерних зсувів  $\delta$  для дублетної компоненти спектрів дещо менші наведених в літературі даних для  $Fe^{2+}$  [8]; це зменшення можна пояснити в першу чергу наявністю кисневих вакансій в ближньому оточенні мессбауерівських ядер та, можливо, впливом хімічно активних іонів фтору.



**Рис. 6.** Залежність інтегральної інтенсивності дублетної компоненти мессбауерівських спектрів  $Fe^{57}$  від дози імплантації іонами  $F^+$  ( $E = 90 \text{ кеВ}$ ). ФГП складу  $Y_{2,8}La_{0,2}Fe_{4,54}Ga_{0,46}O_{12}$ .

## V. Висновки

- Максимальною ймовірністю при  $\Pi F^+$  ( $E = 90 \text{ кеВ}$ ) ФГП складу  $Y_{2,8}La_{0,2}Fe_{4,2}Ga_{0,45}O_{12}$  володіє процес генерації френкелівської пари аніонна вакансія-вкорінений кисень; середній об'єм розвпорядкованої зони утвореної при КААЗ становить  $\sim 20 \text{ \AA}^3$ ; усереднений радіус нестійкості дефектів становить  $4,4 \pm 0,9 \text{ \AA}$ , ефективний радіус дефекту  $0,9 \pm 0,2 \text{ \AA}$ ;
- Рівень структурного розвпорядкування, після якого порушений шар розсіює рентгенівські промені кінематично починається при концентрації дефектів  $(2,6 \pm 0,3) \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ ;
- Ефективні магнітні поля на ядрах  $Fe^{57}$  зменшуються з ростом дози імплантації, октапідгратка  $Fe^a$  порівняно більш чутлива до структурного та магнітного розвпорядкування внаслідок заміщення Ga тетраедричних позицій  $Fe^a$  та генерації радіаційних дефектів при імплантації;
- При дозах  $D = (1-2) \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$  внаслідок появи пружних напруг стиску в площині плівки спостерігається ріст величини ймовірності ефекту Мессбауера, величин ефективних магнітних полів на ядрах  $Fe^{57}$ , що пояснюється деформаційним перерозподілом спінової густини s-електронів атома  $Fe^{57}$  і підтверджується тенденцією до зростання ізомерних зсувів, тобто зменшенням ступеня ковалентності зв'язку  $Fe_a - O$ ;
- У вихідній плівці наявні іони  $Fe_a^{3+}$  з числом магнітних сусідів  $\leq 2$  в парамагнітному стані;
- Радіаційне дефектоутворення зумовлює ріст відносного вмісту магнітнезвпорядкованої фази; взаємодія окремих КААЗ в області максимальних енергетичних втрат імплантанта

на глибині 500-1000 Å веде до появи областей з надстехіометричним киснем, що зменшує ступінь ковалентності зв'язку Fe-O та зумовлює появу Fe<sup>2+</sup> в парамагнітному стані.

**Остафійчук Б.К.** – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри матеріалознавства і новітніх технологій, проректор з наукової роботи;  
**Яблунь Л.С.** – старший лаборант кафедри матеріалознавства і новітніх технологій;  
**Коцюбинський В.О.** – кандидат фізико-математичних наук, молодший науковий співробітник кафедри матеріалознавства і новітніх технологій.

- [1] *Элементы и устройства на ЦМД. Справочник* / Под ред. Евтихеева Н.Н., Наумова Б.Н. Радио и связь, М. 488 с. (1987).
- [2] Я.О. Довгый, В.И. Китык, А.О. Матковский, Д.Ю. Сугак, С.Б. Убизский. Квантово-механический подход к образованию дефектных состояний в гадолиний-галлиевых гранатах // *ФТТ*, **34**(4), сс. 1078-1087 (1992).
- [3] 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 // *ФХТТ*, **4**(1), сс. 112-116 (2003).
- [4] Ю.Ф. Бибикина, В.М. Маткин, И.И. Марчик и др. Применение метода ЯГР для изучения радиационных дефектов в ферритах // *Изв. АН КазССР. Серия физико-математ.*, **2**, сс. 65-72 (1982).
- [5] S.V. Ubizskii, A.O. Matkovskii, N. Mironova-Ulmane, V. Skvortsova, A. Suchocki, Y.A. Zhydachevskii, P. Potera. Displacement Defect Formation in Complex Oxide Crystals under Irradiation // *Phys. Stat. Sol. (a)*, **177**, 349 (2000).
- [6] Б.К. Остафійчук, В.Д. Федорів, Л.С. Яблонь, І.П. Яремій, Б.І. Яворський. Залежність ступеня деформації LaGa-заміщених ферит-гранатових плівок від дози іонної імплантації // *ФХТТ*, **3**(4), сс. 687-692 (2002).
- [7] Б.К. Остафійчук, О.М. Ткачук, В.М. Ткачук, В.Д. Федорів. Механізм формування ефективних магнітних полів та ізомерного зсуву на ядрах Fe<sup>57</sup> в ітрієвому ферит-гранаті при іонній імплантації кисню // *Журнал фізичних досліджень*, **3**(1), сс. 113-116 (1999).
- [8] *Химические применения мессбауеровской спектроскопии* / Под. ред. В.И. Гольдинского. Мир, М. 503 с. (1970).

B.K. Ostafiychuk, L.S. Yablon, V.O. Kotsuybinsky

## Crystal and Magnetic Microstructure of Fluorine Implanted Surface Layers of LaGa-Substituted Ferrite-Garnet Films

*Precarpathian National University named after V. Stefanyk,  
57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76000, Ukraine*

Radiation defects formation in fluorine implanted LaGa-substituted epitaxial ferrite-garnet films are investigated on the base of conversion electron messbauer spectroscopy datas and simulation of ion implantation process. Crystal and magnetic microstructure disordered mechanism in superficial implanted layers are studied. The influence of disturbed regions defect level upon the effective fields values on the Fe<sup>57</sup> nuclei, effect probability and covalent bond degree Fe-O has been considered.