

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Повх Марії Миколаївни

“Природне старіння іонно-імплантованих шарів епітаксійних плівок та монокристалів гранату”,

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю

01.04.18 – фізика і хімія поверхні

Актуальність теми виконаної роботи та її зв'язок з планами відповідних галузей науки та народного господарства

На сьогоднішній день не втратили важливості дослідження фізичних властивостей епітаксійних ферит-гранатових плівок (ЕФП), що у великій мірі пов'язано з їх використання в електронній техніці в якості функціональних матеріалів.

Широкий спектр можливих практичних застосувань ЕФП в якості активного середовища електронних пристроїв зумовлює продовження наукових досліджень таких плівок з метою пошуку шляхів керованої зміни їх фізичних властивостей.

Епітаксійні плівки залізо-ітрієвого гранату (ЗП) $Y_3Fe_5O_{12}$ та плівки ЗП із заміщенням магнітних іонів немагнітними, які вирощені на немагнітних підкладках гадоліній-галієвого гранату (ГП) $Gd_3Ga_5O_{12}$, є одними з найперспективніших матеріалів для створення НВЧ-пристроїв, що працюють у діапазоні частот 10^8 - 10^{11} Гц.

Не спадає увага розробників електронних пристроїв до ЕФП у зв'язку зі створенням планарних хвилеводних структур та магнітооптичних пристроїв. Також велика увага приділяється розробці матеріалів для сенсорних пристроїв візуальної магнітометрії. Плівки ЗП та плівки ЗП із заміщенням магнітних іонів немагнітними володіють доменною магнітною мікроструктурою. Оптимізація умов отримання та післяростової обробки ЕФП відкриває можливості покращення робочих параметрів пристроїв енергонезалежної магнітної пам'яті на циліндричних магнітних доменах.

Експлуатаційні характеристики більшості пристроїв на ЕФП визначаються властивостями приповерхневих шарів ферит-гранатових плівок що зумовлює важливість вдосконалення методів цілеспрямованої модифікації їх фізичних властивостей. Якість ЕФП для їх використання в надвисокочастотній (НВЧ) техніці визначається шириною лінії феромагнітного резонансу (ФМР). Чим вужча ширина лінії ФМР тим якісніша ЕФП для НВЧ пристроїв. Для пристроїв енергонезалежної магнітної пам'яті на циліндричних магнітних доменах надзвичайно важлива структура приповерхневого шару ферит-гранатових плівок.

Застосування методу іонної імплантації (І) відкрило можливості створення в ЕФП локальних областей із заданими фізичними властивостями

Науковий досвід, який стосується вивчення можливостей цілеспрямованої модифікації властивостей робочих шарів ЕФП з допомогою І, є на сьогодні досить

значним. Однак, ціла низка питань стосовно особливостей перебігу механізмів дефектоутворення в ЕФГП під дією опромінення іонами, зокрема: встановлення типу і розмірів складних радіаційних дефектів, впливу режимів імплантації та лазерного відпалу, зміни в структурі ЕФГП, що відбуваються з плином часу, залишаються відкритими. Це підтверджує важливість та науково-практичне значення досліджень, здійснених у даній дисертаційній роботі.

Тому дослідження змін в структурі ферит-гранатів, що зазнали іонної імплантації та лазерного відпалу, в процесі природного старіння є *актуальною* науковою задачею, спрямованою на поглиблення розуміння особливостей радіаційного дефектоутворення в складних оксидних сполуках, що пов'язано з подальшою розробкою фізичних основ цілеспрямованої модифікації фізичних властивостей монокристалічних гранатових матеріалів.

Найбільш істотні наукові результати, які містяться в дисертаційній роботі та їх наукова новизна

Результати дисертації мають **наукову новизну**, оскільки суттєво доповнюють знання і розуміння перебудови кристалічної структури імплантованих іонами He^+ , B^+ і F^+ поверхневих шарів ЕФГП та монокристалів ГГ при іонній імплантації та природному старінні за кімнатних температур.

Дисертанткою розвинуто порівняльний експериментально - аналітичний підхід до аналізу змін магнітної мікроструктури модифікованих іонним опроміненням приповерхневих шарів ЕФГП та монокристалів ГГ, що ґрунтується на використанні методу двокристалічної Х-променевої дифрактометрії та статистичної динамічної теорії розсіяння Х-променів, моделюванні процесів іонної імплантації і дифузії в приповерхневих порушених шарах ферит-гранатів, моделюванні дифракції Х-променів в реальних кристалах із шаруватою структурою, а також математичної обробки експериментальних кривих дифракційного відбивання (КДВ).

Дисертанткою глибоко розглянуто утворення ростових та радіаційних дефектів в гранатах і підходи до їх діагностики методом Х-променевої дифрактометрії, проаналізовано і сформований алгоритм визначення параметрів дефектів.

Варто відзначити, що в даній дисертаційній роботі вперше встановлені кореляції між профілями відносної деформації та експериментальними КДВ для імплантованих ЕФГП та монокристалів ГГ на різних етапах їх старіння.

На основі аналізу експериментальними КДВ та моделювання профілів відносної деформації на різних етапах старіння, отримано важливо нові числові дані про ефективність радіаційного дефектоутворення для монокристалів ГГ та ЕФГП підданих імплантації.

Серед отриманих істотних результатів дисертаційної роботи варто відзначити такі:

1. Встановлено, що при імплантації гранатів іонами He^+ , B^+ та F^+ в області середніх енергій формується трек, який складається із ізольованих френкелевих пар та кластерів точкових дефектів. Із збільшенням дози опромінення руйнування кристалічної структури

відбувається як результат накопичення точкових дефектів та кластерів. Розупорядковані області в подальшому еволюціонують в дислокаційні петлі, а точкові дефекти дифундують в полі напруг, приєднуючись до дислокаційних петель, або залишаючись одиночними і стійкими.

2. Для кристалів, які містять призматичні кластери будь-якої орієнтації та розмірів, отримано функціональні залежності та розраховано структурно чутливі до дефектів X-променеві параметри (статичний фактор Кривоглаза-Дебая-Валлера та коефіцієнт екстинкції), в яких враховано ефекти анізотропії в орієнтації призматичних кластерів. Встановлено, що інтенсивність дифузного фону, розрахованого в процесі моделювання з урахуванням та без урахування анізотропії в орієнтації нецентральносиметричних дефектів, може відрізнятись в кілька разів.

7. Під час природного старіння імплантованих іонами He^+ , V^+ та F^+ епітаксійних плівок та монокристалів гранатів у приповерхневому порушеному шарі відбуваються два послідовні процеси: незначне зростання максимальної деформації, яке пов'язане із переважаючим процесом дифузії міжвузельних атомів у напрямку максимально деформованого шару над процесами анігіляції дефектів; зменшення величини деформації по товщині порушеного шару пов'язане із процесами анігіляції дефектів шляхом їх приєднання до дислокаційних петель та зменшенням концентрації точкових дефектів шляхом рекомбінації пар Френкеля, відстань між компонентами яких знаходиться на межі зони нестійкості.

8. У процесі природного старіння іонно-імплантованих ЕФІП зменшення величини відносної деформації найбільш ефективно відбувається в області пружно-деформованого шару.

9. Природне старіння іонно імплантованих плівок ЗІГ різної товщини відбувається шляхом дифузії та рекомбінації пар Френкеля, відстань між компонентами яких знаходиться на межі зони нестійкості.

10. Зміни структури приповерхневих шарів плівок LaGa:Zr у процесі природного старіння після імплантації іонами F^+ та лазерного відпалу залежать від того, зі сторони імплантованого шару чи зі сторони підкладки відбувалося опромінення лазером.

Ступінь обґрунтованості використаних методів і достовірність одержаних результатів

Достовірність наукових результатів дисертаційної роботи підтверджується значною кількістю проведених експериментів та їх повторюваністю, застосуванням сучасної експериментальної бази, доброю кореляцією розрахованих і експериментально отриманих параметрів, узгодженням отриманих результатів із літературними даними.

Робота пройшла апробацію на 6-ти наукових конференціях, а її результати опубліковані у 7 фахових наукових журналах (з яких 6 статей включено до наукометричних баз Scopus та/або Web of Science). Тому з ними добре ознайомлена наукова громадкість.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних літературних джерел. Вона містить 168 сторінок основного тексту, включає 1 таблицю та 62 рисунки.

Автореферат повністю відповідає змісту дисертаційної роботи.

Практичне значення результатів роботи

Практичне значення отриманих у дисертаційній роботі результатів полягає в поглибленні розуміння процесів, які приводять до зміни параметрів дефектної кристалічної структури ЕФГП і монокристалів гранатів, імплантованих іонами He^+ , V^+ та F^+ , під час їх природного старіння, та особливостей радіаційного дефектоутворення в складних оксидних сполуках, що сприяє вдосконаленню технології модифікації фізичних властивостей таких матеріалів. Отримані результати можуть бути використані для створення нових методів структурної діагностики іонно-імплантованих приповерхневих шарів монокристалів.

Поряд з цим, в процесі ознайомлення із дисертаційною роботою виникли певні зауваження:

1. Відомо що концентрація аморфізованих кластерів пропорційна відносному вмісту дублетної компоненти мьосбауерівського спектру для досліджуваних матеріалів, проте такий метод дослідження не був застосований.
2. В дисертаційній роботі не вказані температурні режими лазерного відпалу ЕФГП.
3. Для кращого розуміння фізики процесів, які відбуваються в імплантованих шарах ЕФГП, варто провести розрахунок розподілу полів механічних напруг у плівках різної товщини.
4. В дисертаційній роботі зустрічаються різні висловлювання, які не мають повного розкриття по тексту, наприклад: "...значення максимальної деформації трохи зменшилося"(ст. 144); "...як показала практика, для найкращого співпаданя..."(ст. 83).
5. На ст. 101 температура росту ЕФГП і температури переохолодження розчину-розплаву наведені в $^{\circ}\text{C}$, а не K , як прийнято (983°C та 14°C , відповідно).

Дисертаційна робота написана з логічним і послідовним викладенням матеріалу, який відповідає сформульованим цілям і висновками.

Усі зроблені зауваження не можуть вплинути на загальну високу оцінку роботи, виконану на високому експериментальному і теоретичному рівнях з широким застосуванням сучасного експерименту та обчислювальної техніки.

Дисертаційна робота Повх Марії Миколаївни є цілісною та завершеною науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, що в сукупності є значним досягненням для розвитку фізичних уявлень про зміни дефектної кристалічної структури ЕФГП і монокристалів гранатів, імплантованих іонами He^+ , V^+ та F^+ , в процесі їх природного старіння.

Вважаю, що дисертаційна робота Повх Марії Миколаївни “Природне старіння іонно-імплантованих шарів епітаксійних плівок та монокристалів гранату”, повністю задовольняє вимоги ДАК України щодо кандидатських дисертацій за актуальністю, обґрунтованістю та достовірністю одержаних результатів, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.18 – фізика і хімія поверхні.

Офіційний опонент.
доцент кафедри фізики
Національного університету
“Львівська політехніка”. к.ф.-м.н.



С.О. Юр'єв

Підпис доцента Юр'єва С.О.
“Засвідчую”
Вчений секретар Національного університету
“Львівська політехніка”



Р.Б. Брилинський

12.11.2019 р.

Національний
Інститут Освіти і Наук
03-02-15/39
15 11 19