

Відгук

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Куровець Валентини Василівни

«Кристалічна та магнітна мікроструктури епітаксійних плівок ферит-гранатів, імпантованих іонами гелію»,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.18 – фізика і хімія поверхні

Актуальність теми дисертаційного дослідження

Магнітні матеріали із структурою гранату широко використовуються як активне середовище у приладах сучасної мікроелектроніки та магнітооптики. Зокрема, тонкі плівки таких матеріалів можуть виступати основою для елементів твердотільних лазерів, сенсорних пристроїв візуалізації та вимірювання магнітних полів, у приладах нового покоління спінової наноелектроніки на надвисоких частотах. Для цілеспрямованої модифікації експлуатаційних характеристик даних матеріалів застосовується зокрема й іонна імплантація, роль якої зводиться до створення дефектного тонкого приповерхневого шару з відмінними структурними властивостями та, відповідно, магнітними параметрами.

При іонній імплантації плівок зі структурою гранату виявляється ряд особливостей, які не характерні для масивних монокристалів Si чи Ge. Ці особливості, зокрема, наявність кількох магнітних підґраток, багатоконпонентність (з включенням елементів з різними іонними радіусами) та висока радіаційна стійкість, визначають перспективність використання гранатових структур. Так, імплантація іонами гелію, що використовується для створення у гранатах хвилеводних шарів, дає можливість проводити модифікацію кристалічної структури приповерхневих шарів на значній глибині при відносно незначному спотворенні кристалічної ґратки. Крім того, в плівках ферит-гранатів можуть виникати суттєві ростові напруги, які також впливають як на кристалічну та магнітну структуру вказаних плівок, так і на перебіг дефектоутворення в них при іонній імплантації.

Тому, визначення кількісних характеристик радіаційних дефектів, які виникають при іонній імплантації плівок ферит-гранатів іонами гелію, встанов-

лення закономірностей перебудови кристалічної структури приповерхневих шарів плівок ферит-гранатів при цьому, з'ясування взаємозв'язків між змінами кристалічної структури та магнітними і механічними властивостями є **актуальним** науково-практичним завданням. Актуальність роботи підтверджується також тим фактом, що дослідження проводились у рамках наукових програм Національної Академії наук України та досліджень, пов'язаних з науковою тематикою Міністерства освіти і науки України.

Проведені дисертантом дослідження здійснені у межах наукової школи чл.-кор. НАН України Богдана Костянтиновича Остафійчука, одним з напрямків якої є вивчення плівок ферит-гранатів, що зазнали різні види модифікації. Зокрема, в роботі отримали подальше продовження успішні кроки наукової школи з використанням X-променевого структурного та месбауерівського аналізів, а також математичного моделювання фізичних процесів.

Дисертаційна робота Куровець В.В. виконана на кафедрі матеріалознавства і новітніх технологій ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» у рамках реалізації наукових проектів МОН України, що підтверджує практичний сенс отриманих дисертантом результатів.

До найбільш істотних **наукових результатів**, одержаних у дисертаційному дослідженні плівок ферит-гранатів, імплантованих іонами гелію з енергією 100 кеВ, слід віднести наступні:

– експериментальне встановлення основних типів радіаційних дефектів у імплантованих іонами гелію епітаксійних плівках ферит-гранатів: дислокаційні петлі, середній розмір яких у максимально деформованому шарі зменшується від 5 нм для дози $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ до 2 нм для дози $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$, розупорядковані ділянки у формі еліпсоїдів з максимальним лінійним розміром 10 нм та точкові дефекти, ефективний радіус яких становить 0,11 нм;

– теоретичне обґрунтування наявності двох складових профілю концентрації радіаційних дефектів, та, відповідно, профілю відносної деформації, одна з яких пов'язана з ядерними, а друга – з електронними енергетичними втратами іонів-імплантантів;

– встановлення факту, що ефективність процесу радіаційного дефектування та величина мікротвердості плівок ферит-гранатів суттєво залежить від ступеня ковалентності хімічних зв'язків, причиною чого є заміщення у катіонній підґратці та ступінь релаксації гетероструктури у залежності від товщини плівок;

– встановлення залежності величини мікротвердості приповерхневих шарів плівок ферит-гранатів при імплантації іонами гелію;

– виявлено особливості формування дефектної підсистеми в лантан і галій заміщених залізо-ітрієвих гранатах після іонної імплантації гелієм, зокрема, зростання кількості радіаційних дефектів, зміщення максимуму деформацій в глибину та зниження значень мікротвердості.

Обґрунтування і достовірність наукових висновків дисертаційної роботи Куровець В. В. забезпечена поєднанням комплексу взаємодоповнюючих сучасних прецизійних методів аналізу кристалічної структури та магнітної мікроструктури епітаксійних плівок ферит-гранатів із засобами математичного моделювання і обробки отриманих результатів. Добра узгодженість результатів між собою та із результатами інших авторів підтверджує надійність отриманої у роботі нової інформації. Всі основні результати і висновки добре аргументовані, а теоретичні розрахунки у цілому підтверджуються відповідними експериментальними даними.

Значення для науки і практики отриманих автором результатів полягають у тому, що встановлені в дисертаційній роботі взаємозв'язки між параметрами дефектної кристалічної структури епітаксійних плівок ферит-гранатів, імплантованих іонами гелію, та їх магнітною мікроструктурою і механічними характеристиками дають можливість вдосконалити технології цілеспрямованої модифікації магнітних властивостей даних матеріалів, що має важливе практичне значення для розвитку даної галузі науки. Результати роботи можуть бути використані в наукових дослідженнях і при розробці нових технологій та матеріалів функціональної електроніки в Інституті металофізики

ім. Г.В. Курдюмова НАН України, Інституті прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача, Національному університеті «Львівська політехніка». Крім того, отримані результати варто використовувати при викладанні спецкурсів з фізики твердого тіла, фізики поверхневих явищ та X -променевої методів дослідження поверхні, а також з комп'ютерного моделювання фізичних процесів у кристалах.

Повнота викладення наукових положень та висновків в опублікованих працях

Основні результати дисертації у повному обсязі опубліковані в провідних фахових наукових журналах, а саме в 11-ти статтях, 2 з яких опубліковані у журналах, внесених до реєстру міжнародних наукометричних баз. Матеріали дисертаційної роботи доповідались на 12-ти міжнародних конференціях. Обсяг друкованих робіт та їх кількість відповідають вимогам Міністерства освіти і науки України щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук.

Структура автореферату у повній мірі відображає основний зміст дисертаційної роботи. Для нього підібраний найбільш показовий ілюстративний матеріал, що демонструє результати дослідження структури плівок, характеризує найважливіші залежності параметрів деформацій, розраховані та виміряні криві дифракційного відбивання X -променів.

До змісту та оформлення дисертаційної роботи Куровець В.В. є наступні пропозиції та зауваження:

1. Відомо, що визначення параметрів дефектів на основі експериментальних кривих дифракційного відбивання X -променів є багатопараметричною задачею. Враховуючи наближення і допущення, які використані у дисертації, все ще залишається питання щодо однозначності запропонованих моделей розподілу деформацій за товщиною як індикатора формування дефектної підсистеми з точкових дефектів і дислокаційних петель.

2. На жаль, у дисертації не вказано величину розбіжності між теоретичною і експериментальною кривими дифракційними відбивання, не відображено використані при моделюванні кореляційні функції, що відповідним чином впливає і на отримані параметри деформаційного профілю плівок (максимальне значення деформації та її протяжність). Наприклад, криві залежності профілю відносної деформації ЗІГ для різних товщин від дози опромінення (рис.4.7, б та 4.8) настільки близькі, що різниця між ними може бути зумовлена експериментальними похибками.

3. Механізм формування дефектної структури з ростом товщини епітаксійних плівок у роботі пов'язується з переважним впливом «дрібних» дислокаційних петель при товщинах плівки, менших 3 мкм, а при більших товщинах – зменшенням ростових механічних напруг. Проте відомо, що при малих товщинах плівок визначальну роль може відігравати шорсткість поверхні (середньоквадратична висота нерівностей та їх середній крок), яка приводить на практиці до розподілу резонансних магнітних полів по площі плівки і знижує її високочастотну сприйнятливості.

4. У роботі проведено досить детальний аналіз зміни дефектної та магнітної структури плівок залізо-ітрієвих гранатів внаслідок іонної імплантації іонами гелію. Проте не запропоновано конкретних рекомендацій щодо оптимальних режимів та вибору параметрів іонної імплантації для отримання бажаних магнітних властивостей, а також забезпечення стійкості цих кристалів до утворення нових дефектів.

5. У дисертації наявні деякі орфографічні, граматичні та стилістичні огріхи, використовуються несистемні одиниці вимірювання. Наприклад, на графічних залежностях мікротвердість вказується і в кг/мм² (рис.3.33) і ГПа (рис.3.36), що утруднює проведення порівняльного аналізу. Не всюди описано використання позначення.

Проте, зроблені зауваження і побажання не впливають на загальний високий науковий рівень дисертації, не піддають сумніву основні наукові результати, отримані автором, та їх практичне значення

На підставі викладеного вважаю, що дисертація Куровець В.В. є завершеним науковим дослідженням, в якому отримані нові науково-обґрунтовані результати, що вирішують задачі керованої зміни кристалічної та магнітної структури епітаксійних плівок ферит-гранатів. Робота відкриває шляхи для оптимізації властивостей інтегрованих спінтронних та мангітооптичних пристроїв та вдосконалення, у зв'язку із цим, сучасної бази електронної техніки.

За актуальністю задач, обсягом досліджень, науковим рівнем і практичною цінністю отриманих результатів дисертація Куровець В.В. **«Кристалічна та магнітна мікроструктури епітаксійних плівок ферит-гранатів, імплантованих іонами гелію»** безумовно задовольняє всім вимогам щодо кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.18 – фізика і хімія поверхні.

Офіційний опонент,
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
доцент кафедри фізики твердого тіла
Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича МОН України

М.Д. Борча

Підпис М.Д. Борчі

Вчений секретар Чернівецького національного
університету імені Юрія Федьковича



І.М. Кубай