

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Романенка Олександра Вікторовича

«Формування іонного мікропучка для дослідження радіаційно-стимульованої міграції домішок у твердому тілі», яку представлено на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.20 – фізика пучків заряджених частинок

Дисертаційна робота Романенка Олександра Вікторовича присвячена формуванню іонних пучків з метою їх подальшого використання для проведення досліджень в області радіаційного матеріалознавства. Одна з найважливіших сучасних завдань цієї галузі фізики є прогнозування поведінки матеріалів, які будуть використовуватися в нових енергетичних установках, зокрема, термоядерних реакторах, і будуть опромінюватися інтенсивними потоками швидких нейтронів. В даний час основними інструментами для проведення експериментальних досліджень з вивчення зміни характеристик матеріалів у таких умовах є джерела прискорених заряджених частинок. Застосування пучків іонів з енергією в декілька MeV дозволяє збільшити швидкість створення радіаційно-стимульованих дефектів в порівнянні з діючими реакторами на декілька порядків. Саме тому створення комплексів, що містять прискорювачі іонів і аналітичну апаратуру для дослідження результатів опромінення, ведеться в багатьох лабораторіях світу.

Використання ядерного скануючого мікрозонда (ЯСМЗ) для опромінення і подальшого дослідження змін властивостей матеріалів добре розробленими методами мікроаналізу є досить перспективним. У той же час процеси формування пучка для аналізу і для опромінення мають суттєві відмінності. І якщо в першому випадку прийоми формування добре вивчені, то для цілей опромінення оптимізація і процеси формування пучка вимагає більш ретельних досліджень.

Однією з вимог, яка висувається при опроміненні матеріалів, є внесення рівномірно розподіленої дози опромінення у строго задану ділянку зразка. Розподіл часток близьке до рівномірного можна, в принципі, отримати використовуючи коліматори, які просто "вирізають" частину падаючого потоку частинок. Природно, що при цьому інтенсивність пучка на мішені істотно зменшується. Фокусування пучка іонів дозволяє суттєво підвищити густину струму пучка. Проблему одержання рівномірного розподілу густини струму по площині при опромінюванні сфокусованим пучком іонів, вирішують шляхом сканування вибраної ділянки мішені. Проте це збільшує час опромінення. Альтернативним рішенням є знаходження способів формування сфокусованого іонного пучка з рівномірним розподілом густини струму. Крім цього важливою задачею є отримання рівномірно розподілених дефектів по глибині зразка при

використанні сфокусованого пучка іонів з енергією декількох MeV, що важливо при дослідженні товстих зразків. Рішення саме цих завдань і складає основу дисертаційної роботи О.В.Романенка.

Слід зазначити, що дисертаційна робота виконана в рамках фундаментальних і прикладних наукових тем, відповідно до плану наукових досліджень Інституту прикладної фізики НАН України згідно з Державними науковими програмами і пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки.

Таким чином, на підставі вище наведеного, вважаю, що тема дисертаційної роботи О.В. Романенка, яка присвячена пошуку оптимальних умов для опромінення досліджуваних матеріалів прискореним пучком іонів, безсумнівно, є **важливою, корисною та актуальною**.

Дисертація написана простою, зрозумілою мовою, добре оформлена, містить наочні ілюстрації. Виклад матеріалу є послідовним і логічним, супроводжується обґрунтованими висновками.

Серед найбільш **важливих та нових результатів** варто відмітити наступне:

- розроблено спосіб вносити рівномірно розподілену дозу опромінення по площині вибраної області мішені сфокусованим іонним пучком MeV-них енергій у зондоформуєчій системі на базі розподіленого «російського квадруплету» магнітних квадрупольних лінз;
- знайдено спосіб вносити рівномірно розподілену дозу опромінення по глибині у заданій ділянці зразка іонним пучком сфокусованим магнітними квадрупольними лінзами;
- проведено порівняльний аналіз різних типів зондоформуєчих систем при формуванні іонних пучків з максимальною густиною струму;
- вдосконалено метод визначення параметрів розподілу яскравості пучка на вході в зондоформуєчу систему ядерного мікрозонду, що дозволило встановити розподіл частинок не тільки в привієсовій частині, а й у всьому пучку, а також визначити привієсову яскравість макроручка.

Достовірність отриманих результатів в даній дисертаційній роботі обумовлена застосуванням відомих і достовірних методів розрахунку, моделювання і вимірювання параметрів пучка, узгодженням отриманих результатів з результатами інших авторів та відповідністю експериментальних і розрахункових даних, зокрема:

- використані у дисертації формалізація задачі оптимізації розмірів коліматорів та програмні коди для обчислювання акцептансу пучка неодноразово використалися іншими авторами і успішно пройшли апробацію, що засвідчено в статтях відповідних фахових видань;

- отримана в дисертації залежність густини струму від розмірів плями на мішені узгоджується з раніше отриманими іншими авторами результатами досліджень для субмікронного інтервалу;

- результати експериментів по формуванню пучка з рівномірним розподілом струму знаходяться у відповідності з теоретичними даними.

Основні результати дисертації в повній мірі відображені в 5 статтях опублікованих у міжнародних фахових журналах, що входять до переліку ДАК МОН України і пройшли обговорення на міжнародних конференціях про що свідчать 6 тез і 2 статті доповідей. Серед публікацій дублювання немає. Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням дисертації.

Результати роботи можуть бути використані для розширення сфери наукових досліджень, які проводяться на іонних мікрозондах. Особливо це стосується експериментів пов'язаних з вивченням зміни характеристик матеріалів під дією опромінення. В першу чергу результати роботи можуть бути застосовані на каналі ядерного скануючого мікрозонду Інституту прикладної фізики НАН України. Здобутки виконаної роботи можуть бути використано і у інших лабораторіях світу, в яких проводяться аналогічні дослідження.

Оцінюючи позитивно дисертаційну роботу в цілому, слід, однак, висловити деякі **зауваження**:

- у роботі не наведено кількісні оцінки що до ефективності використання ядерного скануючого мікрозонда для опромінювання матеріалів (наприклад, можливої швидкості утворення радіаційних дефектів);
- при визначенні оптимального розміру коліматорів для отримання пучка з прямокутним розподілом щільності використовується метод числового моделювання (с.85). У той же час в роботі не наведено дані про застосоване програмне забезпечення;
- при експериментальній перевірці методу збереження розмірів зонду зі зміною енергії пучка без необхідності заміщення мішені автор наводить позитивний результат лише для одної вибраної енергії (рис. 4.5 на с. 102);
- на рис. 3.3 (с.73) наведена частотна характеристика струму пучка, але не дане пояснення природи основних дестабілізуючих факторів;
- деякі формули ((2.9) с.44, (3.1) с.68) наводяться без необхідного пояснення або посилань;
- в тексті зустрічається опис загальновідомих даних, зокрема: детальний опис принципів роботи квадрупольних лінз і профіль генерування дефектів при проходженні іону в матеріалі (рис. 4.1 на стр. 95);
- у тексті зустрічаються окремі стилістичні неточності і помилки, які, однак, не спотворюють сенсу викладеного матеріалу.

Наведені недоліки, однак, не знижують наукову значимість дисертації. Вона являє собою самостійну закінчену науково-дослідну роботу і вирішує важливу наукову задачу – формування іонного пучка придатного для опромінення зразків матеріалів в установках ядерного мікрозонду. Отримані автором результати є новими, актуальними і мають значне практичне значення.

Вважаю, що дисертаційна робота «Формування іонного мікропучка для дослідження радіаційно-стимульованої міграції домішок у твердому тілі» повністю відповідає встановленим вимогам до кандидатських дисертацій, а її автор, **Романенко Олександр Вікторович**, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.20 – фізика пучків заряджених частинок.

Офіційний опонент,
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
начальник лабораторії НДК «Прискорювач»
Національного наукового центру
«Харківський фізико-технічний інститут»
НАН України

В.А. Кушнір

Підпис В.А. Кушніра засвідчую:
вчений секретар
Національного наукового центру
«Харківський фізико-технічний інститут»
НАН України


29.09.2016

О.В. Волобуєв