

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

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

Дослідження поведінки матеріалів під дією радіаційного навантаження залишається на сьогодні важливою і у той же час складною задачею, що має, як теоретичне, так і практичне значення. Тому не зупиняється пошук нових методів, а також вдосконалення вже існуючих, для вирішення цієї проблеми. Ядерний скануючий мікросонд належить до сучасних установок, які широко використовуються для вивчення мікроструктури матеріалу. Основними його перевагами є висока чутливість ядерно-фізичних методів дослідження та можливість побудови карт розподілу елементів, що дозволяє не тільки виявляти присутні домішки, але й їхній розподіл у матеріалі. Якщо на даній установці забезпечити умови опромінювання, які б дозволили отримувати великі дози опромінення за короткий проміжок часу, то це б дало змогу вивчати вплив опромінювання на перерозподіл хімічних елементів в матеріалі в режимі реального часу. На сьогоднішній день ядерні мікросонди як установки для опромінювання широко використовуються лише для отримання тривимірних структур у резистивних матеріалах і вивчення впливу опромінення на біологічні об'єкти в режимі поодиноких іонів. Основні вимоги в таких задачах направлені на роздільну здатність мікросонду. В той же час для вивчення радіаційно-стимульованих процесів в таких матеріалах як метали чи напівпровідники потрібні значні дози опромінення, тому вимоги до густини струму, як і до величини самого струму пучка, є першочерговими. У зв'язку з цим винайдення режимів формування іонних мікропучків, що дозволяють накопичувати великі дози опромінення за короткий проміжок часу, відкриває шлях до використання ядерних скануючих мікросондів при дослідженні радіаційно-стимульованих процесів у твердих тілах. Таким чином, дана робота є актуальною з теоретичної та особливо з практичної сторони, бо створює

можливість спостереження поведінки матеріалів у залежності від дози опромінення новим методом.

Викладені в дисертації теоретичні та експериментальні результати одержано з використанням відомих методів, достовірність яких не визиває сумніву. Методи обрахунку траєкторій заряджених частинок за допомогою матричних перетворень перевірені в задачах оптики заряджених частинок в багатьох роботах інших авторів, де вони показали свою надійність. Вибір максимального зведеного аксептансу в ролі критерію якості зондоформуючих систем при їх порівнянні в задачах оптимізації іонно-оптичних параметрів на сьогоднішній день є загальноприйнятим. Для встановлення розмірів пучка при обробці профілів виходу вторинної електронної емісії під час сканування пучком мідної сітки використано добре відомий метод математичної підгонки Левенберга-Марквардта. Експериментальні вимірювання проведені за допомогою відомих методів реєстрації продуктів взаємодії іонів пучка з атомами мішені з використанням промислових детекторів. Теоретичні розрахунки були підтверджені експериментально. Усе це дає підставу вважати результати дисертаційної роботи достовірними та обґрунтованими.

Новизна одержаних результатів визначається удосконаленням методу отримання розподілу частинок у пучку на вході зондоформуючої системи за допомогою стандартних вузлів мікрозонду. Був розроблений новий підхід фокусування пучка іонів із використанням системи фокусування на базі магнітних квадрупольних лінз, що дозволяє отримати на мішені рівномірний розподіл густини струму пучка більшої площі з більшим повним струмом, ніж існуючі. Адекватність розробленого підходу експериментально доведено шляхом порівняння теоретичних і експериментальних профілів виходу вторинних електронів при скануванні пучком напівнескінченної мішені. Винайдено підхід, який дозволяє виконувати перефокусування пучка при зміні його енергії зі збереженням розмірів зонду без необхідності зміщувати опромінювану мішень. Встановлено залежності густини струму від розмірів зонду і робочої відстані для різних зондоформуючих систем.

Науково-практична значущість роботи полягає у можливості застосування отриманих результатів для розширення використання мікрозондів

в таких галузях як радіаційна фізика, оскільки на сьогоднішній день ядерні скануючі мікросонди зазвичай використовують лише для опромінення резистивних матеріалів і біологічних об'єктів малими струмами пучків іонів прискорених до енергії декількох мегаелектронвольт (MeV). Розроблені в дисертаційній роботі методи формування іонних пучків MeV-них енергій у багатострумівій моді з високої щільністю іонів сприяють швидкому накопиченню дози опромінення, а тому дають змогу застосовувати ядерні мікросонди для вивчення поведінки металів, напівпровідників і діелектриків під дією опромінювання. Результати роботи можуть бути використані всіма науковими групами, які спеціалізуються на іонопучкових методах аналізу матеріалів.

Проте рецензована дисертація має і певні недоліки, до яких слід віднести наступні:

1. У першому розділі дисертації було б доцільно сформулювати визначення макро- та мікропучків, а також явно навести діапазон швидкостей іонних пучків, що розглядаються, у одиницях швидкості світла для зручності читачів.

2. У другому розділі при порівнянні типів систем фокусування, які можуть бути використані в ІПФ НАН України, був обраний триплет, що потребує зміщення першого дублету магнітних квадрупольних лінз. В той же час, розгляд розподіленого триплету з використанням однієї з лінз першого дублету, що не вимагає змінення конструкції мікросонду, не виконано.

3. У четвертому розділі на рис. 4.3 було б наочніше наводити і експериментально підібрані вихідні (реперні) значення струмів живлення котушок полюсів лінз, отримані у запропонованому підході попереднього калібрування.

4. Наведені карти розподілу елементів (рис. 4.9в та 4.10) мають різне збільшення, що ускладнює порівняння рівномірності розподілу осажденої плівки сірки, отриманої двома різними методами.

5. При формулюванні результатів бажано чіткіше визначати власні здобутки, які до цього не були ніким отримані, та наголошувати у тексті дисертації на принципових відмінностях від інших робіт.

Наведені недоліки у жодному разі не знижують високої оцінки результатів і висновків дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Романенка О.В. є завершеним дослідженням, яке виконане на високому науковому рівні, містить вирішення важливої наукової задачі формування пучків іонів у зондоформуючих системах на базі магнітних квадрупольних лінз з метою ефективного опромінення матеріалів. Мова та стиль подання матеріалу у дисертації є чіткими та зрозумілими. За темою дисертації опубліковано 5 статей у спеціалізованих наукових журналах, що входять до переліку ДАК МОН України. Її апробація представлена на міжнародних конференціях у вигляді двох статей та шести тез доповідей. Зміст автореферату повністю відображає сутність дисертаційної роботи. Дисертація й автореферат оформлені відповідно до вимог Атестаційної колегії Міністерства освіти і науки України.

Таким чином, дисертаційна робота Романенка О.В. за актуальністю, новизною, практичним значенням, об'ємом і завершеністю виконаних досліджень відповідає всім вимогам Атестаційної колегії Міністерства освіти і науки України, які висуваються до кандидатських дисертацій з фізико-математичних наук. За основними положеннями та змістом робота повністю відповідає спеціальності 01.04.20 – фізика пучків заряджених частинок, а її автор Романенко О.В. заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук.

Старший науковий співробітник відділу вакуумної електроніки
Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України
кандидат фізико-математичних наук,

старший науковий співробітник

К.В. Ільєнко

Підпис К.В. Ільєнка засвідчую.

Учений секретар Інституту радіофізики
та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України
кандидат фізико-математичних наук



І.Є. Почаніна