

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Оксенюка Івана Івановича

«ВТОРИННА ІОННА МАС-СПЕКТРОМЕТРІЯ ВЗАЄМОДІЇ ВОДНЮ З ПОВЕРХНЕЮ ГІДРИДОУТВОРЮЮЧИХ СПЛАВІВ»

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.20 – фізика пучків заряджених частинок.

Актуальність роботи.

На теперішній час є актуальним напрацювання інноваційних рішень для реалізації концепції енергетичного переходу. В цьому напрямку особливе місце обіймають технології використання водню як вторинного енергоносія. Зважаючи на більш високу вартість водню порівняно з іншими первинними енергоносіями рентабельність його використання в підсумковому ланцюжку технологічного процесу може бути досягнута за рахунок більш економічних способів транспортування, накопичення та зберігання. Ці три операції є в певних випадках взаємопов'язаними. Основними показниками при оцінці способів зберігання водню є співвідношення його маси та маси накопичувача, об'єму, абсолютних значень маси та об'єму, кількості циклів накопичення-виділення, величини втрат протягом зберігання з безумовним урахуванням чинників безпеки зберігання. І за цим показником металогідриди є цілком конкурентним сполуками співставними зі зберіганням водню в газоподібному стані під тиском, або у зрідженому стані. Іншим показником є масовий та об'ємний запаси енергії, але тут водень істотно поступається традиційним енергоносіям. Удосконалення технологій синтезу метало гідридів потребує розуміння базових основ та закономірностей їх взаємодії з воднем та супутніми технологічними газами. Для цього вторинна іонна мас-спектрометрія видається одним з перспективних інструментів, який дозволяє по атомарно вивчати елементний та фазовий склад приповерхневих шарів метало гідридних матеріалів та їх

Надійшло до редакції
09.12.2021 р.

Надійшло О.В. [підпис]

сполук з воднем, що утворюються в інкубаційній стадії насичення. Таким чином, актуальність роботи не викликає жодного сумніву.

Робота виконана згідно наукових планів організації – місця виконання, про що свідчить відповідний розділ дисертації та автореферату.

В першому розділі проаналізовано фізичні механізми та закономірності явища вторинної іонної емісії, зокрема, залежність коефіцієнта розпилення від характеристик часинок, геометрії поля випромінювання, особливостей будови та хімічного складу мішені. Розглянуто режими розпилення: режим одиночного вибивання, режим лінійних каскадів та піковий режим, які характеризуються якісно відмінними інтенсивностями радіаційно-стимульованого руху атомів мішені. Зазначено на необхідність урахування процесів модифікації поверхні зондуючи ми іонами, що призводитиме до зміни в процесі експериментального дослідження первинних властивостей зразків. Слід зазначити, що дисертаційна робота містить нетипово багато посилань (372 джерела з власними роботами), разом з тим вони охоплюють широкий часовий діапазон в тому числі роботи після 2020 року.

У другому розділі описано установку для вторинної іонної мас-спектрометрії. Звертає увагу те, що дисертант виконав з роботи з її удосконалення та осучаснення, що, зокрема, дало можливість одержувати дані в цифровій формі. Вирішено проблему відокремлення в продуктах вторинної емісії первинних сполук від тих, що були утворені внаслідок модифікуючої дії зондуючого іонного пучка.

В третьому розділі проведено системні дослідження закономірностей виходу іонів вторинної емісії в тому числі водень містких різної зарядності від термодинамічних умов – температури насичення воднем та тиску. Здобуті дані дають можливість вивчати інкубаційну стадію взаємодії водню з металогідридом та встановлювати роль фазового складу у здатності утворювати сполуки з воднем. Проведено порівняння залежностей інтенсивності емісії вторинних іонів від парціального тиску водню в камері зразка при різних значеннях густини струму первинних іонів. Визначено залежності

інтенсивності емісії негативних та позитивних вторинних іонів від температури зразка при підвищеному парціальному тиску водню в камері зразка. Дослідження проведені зі зразками сполук TiFe , $\text{Zr}_{37.7}\text{Ti}_{4.7}\text{Mn}_{20.2}\text{Fe}_{37.4}$, $\text{Zr}(\text{V}_{0.75}\text{Fe}_{0.25})_2$, Zr_2Fe , $\text{Zr}_{65}\text{V}_{30}\text{Ti}_5$, LaNi_5 .

В четвертому розділі запропоновано математичну модель, яка враховує перебіг комплексу процесів поверхневого та об'ємного накопичення водню а також його десорбції і поведінки під дією іонного пучка. Одержані результати розрахунку співставлялись з експериментальними результатами та була показана їх добра узгодженість. Встановлено вплив процесів утворення, десорбції або іонного розпилення сполук з воднем на струм емісії водень містких вторинних іонів при різних температурах зразків та при різних величинах підвищеного парціального тиску водню у камері.

У п'ятому розділі встановлено закономірності впливу кисню на вихід вторинних іонів зі сплаву LaNi_5 порівняно з впливом водню. Визначено, що вторинна емісія іонів $\text{La}_n\text{Ni}_m\text{O}_k^\pm$ під впливом кисню залежить від змін імовірності іонізації та змін відношення числа атомів кисню до числа атомів металу у складі поверхневої структури. Одержано залежності інтенсивності емісії кластерних вторинних іонів нікелю від парціального тиску кисню та водню отримані при вимірюваннях зі зразком нікелю. Експериментально визначено залежності інтенсивності емісії позитивних вторинних іонів з нікелем від парціального тиску кисню та залежності від часу розпилення після експозиції зразка LaNi_5 у кисні. Результати є важливими для практичного використання метало гідридів, оскільки утворювані кисневі сполуки є перешкодою для процесів накопичення та виділення водню

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій.

Для досягнення поставленої мети та вирішення відповідних задач були застосовані добре апробовані експериментальні методи дослідження з радіаційної фізики та фізики пучків заряджених частинок. Застосовані

аналітичні методи розрахунку та методи обробки експериментальних даних, що підтверджує достовірність здобутих результатів.

Результати роботи відображено у 19 наукових працях, у тому числі у 7 статтях у спеціалізованих наукових виданнях, що індексуються Scopus та 12 матеріалах і тезах доповідей на наукових конференціях.

Автореферат досить точно відображає зміст дисертації.

Практичне значення роботи полягає у створенні наукових основ відпрацювання та удосконалення технологій синтезу метало гідридних сполук для потреб водневої енергетики.

Зауваження до тексту та змісту дисертації.

В ході вивчення тексту дисертації було помічено ряд недоліків:

1. Не зрозуміло чому ЕДРС та СЕМ аналіз проводився тільки для сполуки $Zr_{65}V_{30}Ti_5$, тоді як в роботі досліджувалась низка інших сполук і вони так само могли утворювати різноманітні фази. Якщо ж цієї різноманітності фаз не очікувалось, то це так само слід було підтвердити експериментально.

2. В роботі залишилось осторонь питання яким чином на результати досліджень впливала кількість циклів накопчення-десорбції водню. Адже у багатьох метало гідридів існує проблема водневого окрихчення після певної кількості циклів.

3. В оглядовій частині роботи слід було навести порівняння методу вторинної іонної мас-спектрометрії з іншими методами вивчення метало гідридів, наприклад, позитронної анігіляційної спектроскопії.

4. По тексту зустрічається термін «густина струму» та «щільність струму» див. наприклад стор. 67, 72, 115. Слід було зупинитись на якомось одному терміні. На стор. 27 вжито вислів «приймав участь» тоді як правильно «брав участь». На стор. 82 вжито слово «малюнок» тоді як правильно «рисунок»

Однак вказані недоліки не знижують науково-практичної цінності виконаної дисертаційної роботи і не впливають на її позитивну оцінку.

Вважаю, що в роботі вирішено важливу наукову задачу створення наукових основ застосування вторинної іонної мас-спектрометрії для вивчення особливостей будови металогідридів за різних термодинамічних умов початкової стадії насичення воднем. За масштабом вирішеної проблеми, якістю публікацій, наукової та практичної цінності, об'єму, оформленню дисертаційна робота Оксенюка Івана Івановича відповідає вимогам Департаменту атестації кадрів МОН України до дисертацій кандидата наук, зокрема пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.20 – фізика пучків заряджених частинок.

Офіційний опонент,
Директор Інституту
електрофізики і радіаційних технологій
НАН України,
член-кореспондент НАН України
доктор технічних наук,
кандидат фізико-математичних наук,
с.н.с.



В.В. Литвиненко

08.12.2025

Підпис Литвиненка В.В.

ЗАСВІДЧУЮ

в.о. вченого секретаря Інституту електрофізики і
радіаційних технологій НАН України



В.В. Шатов

08.12.2025