

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Оксенюка Івана Івановича
«Вторинна іонна мас-спектрометрія взаємодії водню з поверхнею
гідридоутворюючих сплавів», подану на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.20 – «фізика
пучків заряджених частинок»

Актуальність обраної теми

У переході на використання відновлюваної та безвуглецевої енергетики певну нішу займає використання водню у якості енергоносія та для накопичення енергії. При цьому важливою проблемою є накопичення водню, що може вирішуватися за допомогою металогібридного способу зберігання водню. Він дозволяє безпечно та довготривало накопичувати водень з надзвичайно високою об'ємною густиною та помірно низьким тиском і полягає в утворенні воднем оборотних металогібридів з гідридоутворюючими металами чи спеціалізованими сплавами-накопичувачами. Критично необхідним етапами поглинання чи вивільнення водню матеріалами-накопичувачами є процеси на їх поверхні, такі як дисоціативна адсорбція (хемосорбція) чи асоціативна десорбція молекул водню, а також міграція атомів водню між поверхнею та об'ємом матеріалу. Для аналізу поверхні в дисертаційній роботі використовується метод вторинної іонної мас-спектрометрії (ВІМС). Цей метод базується на аналізі вторинних іонів, які емітуються з досліджуваної поверхні унаслідок бомбардування її пучком прискорених первинних іонів, що надає низку унікальних можливостей для вивчення процесів взаємодії водню з поверхнею гідридоутворюючих матеріалів. Однак через значну складність процесів емісії вторинних іонів необхідні систематичні дослідження емісії та характеристик вторинних іонів з воднем (в умовах присутності водню, як основи методу ВІМС при дослідженні процесів взаємодії водню з гідридоутворюючими сплавами. Відповідно, метою дисертаційної роботи Оксенюка І. І. було визначення фізичних закономірностей вторинної іонної емісії при бомбардуванні поверхні пучком прискорених іонів у присутності водню, а також визначення закономірностей та характеристик процесів взаємодії водню з поверхнею сплавів-накопичувачів водню, застосовуючи метод ВІМС. Слід також відмітити, що завдання дисертаційної роботи вирішувались відповідно до тематичних планів фундаментальних та прикладних науково-дослідних робіт. У зв'язку з цим актуальність обраної теми є достатньо обґрунтованою.

Ступінь обґрунтованості і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Дослідження, що виконано в дисертації, спираються на традиційні та апробовані методи, що використовуються в фізиці пучків заряджених

частинок. Дослідження вторинної іонної емісії та ВІМС доповнювалися аналізом методами TDS, XRD, SEM, EDS, аналітичним та чисельним математичним моделюванням. Отримані результати порівнювалися із наявними даними у тематичній науковій літературі. Основні наукові результати дисертаційної роботи опубліковані в рецензованих наукових журналах, обговорені та отримали позитивну оцінку на наукових конференціях і школах. Наукові результати, що їх одержано в дисертації, мають чітку фізичну інтерпретацію. Висновки дисертаційної роботи відповідають змісту отриманих результатів і є добре обґрунтованими та достовірними.

Ступінь новизни отриманих результатів

До найбільш суттєвих нових наукових результатів, вперше отриманих здобувачем, належать такі:

1. З'ясовано, що виходи водневмісних вторинних іонів пов'язані у першу чергу з концентрацією хемосорбованого водню на поверхні і що парціальний тиск водню, температура зразків та густина струму пучка первинних іонів зазвичай не впливають на цей зв'язок. Це надає можливість *in situ* досліджувати і характеризувати процеси взаємодії водню з поверхнею сплавів методом ВІМС у різних експериментальних умовах.
2. Показана можливість виявлення гетерогенності фазового складу досліджених сплавів та елементного складу фаз спираючись на ВІМС-аналіз взаємодії зразків сплавів з воднем.
3. Визначено характеристики емісії водневмісних вторинних іонів у широкому діапазоні поверхневих концентрацій водню та співставлено їх з теоретичними моделями формування поліатомних вторинних іонів.
4. Розроблено та застосовано аналітичну модель, яка описує комбінований вплив процесів адсорбції, абсорбції, десорбції та бомбардування пучком прискорених іонів на концентрацію водню у складі поверхні.
5. Визначено характеристики елементарних процесів взаємодії водню з поверхнею досліджених сплавів-накопичувачів водню: адсорбції, міграції водню від поверхні в глибину, десорбції. Визначено низку кількісних характеристик таких процесів, зокрема величини енергії активації десорбції молекул водню $E_a = 1.6 \div 1.7$ eV для сплаву TiFe та $E_a = 1.85$ eV для Zr_2Fe , величину енергії активації абсорбції водню з поверхні до об'єму $E_a = 0.6$ eV для сплаву Zr_2Fe .
6. За допомогою ВІМС визначено, що при взаємодії кисню зі сплавом $LaNi_5$ на його поверхні утворюється кисневмісна структура, яка включає атоми La і Ni. Її утворення супроводжується значними змінами спектру та виходів вторинних іонів. За допомогою ВІМС показано, що збільшення кількості кисню у складі поверхні $LaNi_5$ призводить до зниження її хемосорбційної ємності та зниження імовірності хемосорбції молекул водню.

Значимість роботи для науки та практики

Отримані результати щодо емісії вторинних іонів, є вагомим внеском до розвитку методу ВІМС, його аналітичних можливостей при застосуваннях пов'язаних з воднем. Отримані результати щодо процесів та характеристик взаємодії водню з дослідженими зразками сплавів-накопичувачів водню сприятимуть оптимізації їх використання та розробкам нових металогідридних накопичувачів водню для застосувань у відновлюваній водневій енергетиці.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях

Основні результати дисертації викладено у 19 наукових працях, що задовольняють вимогам ДАК МОН України до публікацій, на яких ґрунтується дисертаційна робота. Аналіз представлених публікацій дає підставу стверджувати, що всі основні положення дисертації в повній мірі опубліковано й апробовано на конференціях. Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням дисертації.

Зауваження щодо змісту дисертації

Робота не позбавлена деяких недоліків.

1. У огляді літератури дуже розгорнуто розглянуто явище вторинної іонної емісії, наявні в літературі роботи з застосування ВІМС для аналізу водню з металами. Однак дуже стисло розглянуто взаємодію водню зі матеріалами-накопичувачами і майже відсутній розгляд процесів та характеристик його взаємодії з саме з поверхнею матеріалів. Такі процеси перелічені лише як етапи взаємодії водню з матеріалами і не наведено їх детального розгляду, хоча цілий розділ дисертації (Розділ 4) присвячено дослідженням саме таких процесів. На початку підпункту 1.2.1 є тільки посилання на низку статей та монографій де розглядаються деталі взаємодії водню з поверхнею металів, однак фактично відсутній розгляд їх змісту.

2. Всі рисунки у огляді літератури містять лише англomовні написи та позначення.

3. В огляді не приділено увагу такому методу як пряме Резерфордівське розсіювання (англomовна назва методу Elastic Recoil Detection Analysis), який є базовим методом для визначення кількісної характеристики розподілу водню по глибині в приповерхневих шарах досліджуваних зразків.

4. В отриманих спектрах практично всіх зразків, що досліджуються, зафіксовано наявність вуглецю, яке може бути викликане присутністю тонкої органічної плівки на поверхні. На жаль, цей факт не зазначений у дисертації.

5. Текст підписів до деяких рисунків містить деталі та подробиці, які варто було б відмічати в основному тексті.

6. На деяких графіках із експериментальними залежностями, що побудовані по дискретно вимірюваних значеннях, зокрема у розділі 3 не наведено похибки вимірювань.

Проте ці зауваження не зменшують цінності представлених результатів дисертації.

Відповідність встановленим вимогам до кандидатських дисертацій.

В дисертаційній роботі розв'язано важливе наукове завдання встановлення фізичних закономірностей емісії вторинних іонів при бомбардуванні пучком прискорених іонів аргону поверхні сплавів в умовах присутності водню; визначення характеристик процесів взаємодії водню з поверхнею гідридоутворюючих сплавів застосовуючи вторинну іонну мас-спектрометрію. Структура дисертації в повній мірі відповідає вимогам, які пред'являються до кандидатських дисертаційних робіт. Зміст дисертації послідовно відображає постановку задач, методи їх вирішення та інтерпретацію отриманих результатів. Тому дисертація є цілісною завершеною роботою.

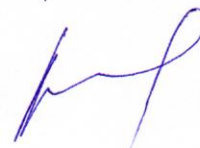
На підставі вище викладеного можна стверджувати, що робота Оксенюка І. І. «Вторинна іонна мас-спектрометрія взаємодії водню з поверхнею гідридоутворюючих сплавів» за актуальністю, ступенем новизни, значимістю для науки і практики, а також за структурою і об'ємом відповідає вимогам, що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, зокрема пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», та свідчить про високий рівень наукового досвіду автора, який заслуговує присвоєння йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.20 – «фізика пучків заряджених частинок».

Завідувач відділу фізики пучків заряджених частинок
Інституту прикладної фізики НАН України,
доктор фізико-математичних наук, професор



О.Г. Пономарьов

Підпис Пономарьова О.Г.
доктора фізико-математичних наук, професора,
завідувача відділу Фізики пучків заряджених частинок **завіряю.**
Вчений секретар
Інституту прикладної фізики НАН України
кандидат фізико-математичних наук



О.І. Ворошило