

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Барабашова Андрія Павловича

«Електронно-стимульовані процеси в твердому азоті»,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук

за спеціальністю 01.04.07 – «фізика твердого тіла»

Дисертаційна робота Барабашова Андрія Павловича зорієнтована на вивчення електронно-стимульованих явищ у твердому азоті. Різноманітні модифікації твердого азоту привертають увагу фахівців у галузі фізики твердого тіла як ідеальні модельні об'єкти для дослідження їх фундаментальних властивостей, оскільки деякі з них не є достатньо вивченими й дотепер. Більш того, твердий азот має багато практичних застосувань, що також стимулює науковий інтерес до нього. Зокрема, полімерний азот, в якому всі атоми з'єднані одинарним ковалентним зв'язком в тривимірну кристалічну ґратку, має унікальні властивості. Він має найвищу щільність хімічної енергії, тобто є рекордно ефективним з точки зору потужності та абсолютно екологічно чистим паливом, а також надтвердою речовиною. Саме тому, задача дослідження низькотемпературних електронно-стимульованих явищ в твердому азоті, а саме, електронно-стимульована десорбція молекул й атомів з поверхні твердого азоту та нестационарна десорбція, що вирішуються у дисертаційній роботі А. П. Барабашова, є цілком обґрунтованою та актуальною.

Результати досліджень, що викладені в дисертації, базуються на експериментах, які були виконані з використанням надійних сучасних високоточних установок й методик, добре узгоджуються між собою та з відповідними літературними даними теоретичних й експериментальних робіт. Слід особливо відзначити запроваджений дисертантом метод нестационарної десорбції, який дозволив виявити внесок реакцій нейтралізації в електронно-стимульовану десорбцію з твердого азоту. Використання методів активаційної спектроскопії а також наведений у другому розділі спектральний

багатофункціональний комплекс забезпечили необхідну **надійність** і **достовірність** отриманих даних.

Актуальність досліджень підтверджується також тим, що експерименти, які становлять основний зміст дисертації, проведено у відділі спектроскопії молекулярних систем і наноструктурних матеріалів Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна НАН України у відповідності з відомчими тематиками: «Елементарні збудження і фазові стани простих молекулярних твердих тіл і наноструктур» (номер державної реєстрації 0112U002639, термін виконання 2012–2016 рр.); «Термодинамічні властивості наноструктурованих систем, композитів, молекулярних твердих тіл в екстремальних умовах низьких температур» (номер державної реєстрації 117U002290, термін виконання 2017 – 2021 рр.). Одночасно список тем, наведений вище, засвідчує зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами.

До безумовної переваги роботи слід віднести результати, що мають перспективи їх **практичного використання**, зокрема для забезпечення безаварійної експлуатації прискорювачів часток, елементи яких працюють за температури рідкого гелію, а також для моніторингу поверхонь елементів космічної апаратури. Отримані дані можуть бути використані також для створення полімерного азоту.

У дисертаційній роботі отримана досить велика і оригінальна інформація відносно ефектів, стимульованих збудженням електронної підсистеми кристалу твердого азоту. У цій ситуації доцільно відзначити лише найбільш суттєві результати, що визначають актуальність, **наукову та прикладну значущість роботи.**

1. Вперше встановлено внесок зарядових центрів у процес десорбції збуджених молекул та атомів азоту. Диссоціативна рекомбінація N_4^+ з електроном пропонується в якості ключового процесу, який лежить в основі десорбції збуджених молекул. Рекомбінацію центрів N_3^+ з електронами та рекомбінацію центрів N^+ розглянуто в якості базових реакцій, відповідальних за десорбцію збуджених атомів.

2. Отримано нові дані стосовно просторового розподілу позитивно заряджених центрів у попередньо опромінених плівках твердого азоту. Було з'ясовано, що найбільш високий вміст стабільних автолокалізованих (N_4^+) і локалізованих (N_3^+) дірок досягається поблизу інтерфейсу зразок-підкладка.

3. Вперше отримані дані про поведінку смуги випромінювання на довжині хвилі 360 нм. Висловлено припущення, що ця смуга належить нейтральному кластеру N_4 . Запропоновано можливий сценарій формування нейтрального кластера N_4 .

Перелічені **результати є новими, вперше отриманими** в роботах автора.

Всі результати дисертації було докладно і своєчасно викладено в 6 публікаціях у провідних наукових реферованих журналах за фахом, як вітчизняних, так і міжнародних. Також основні результати роботи добре відомі, оскільки вони пройшли апробацію на великій кількості профільних наукових конференцій в Україні і за кордоном, тези доповідей було опубліковано у відповідних збірниках.

Враховуючи вищесказане і беручи до уваги надійність та сучасний рівень експериментальної бази, а також і сучасний методологічний рівень роботи можна з упевненістю стверджувати, що **отримані автором результати є достовірними та обґрунтованими.**

Отримані результати можуть бути використані науковими організаціями, які проводять експериментальні і теоретичні дослідження електронно-стимульованих явищ у твердих тілах: в Фізико-технічному інституті низьких температур ім. Б. І. Веркіна НАН України, Інституті фізики НАН України, Інституті теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, Одеському національному університеті ім. І.І. Мечникова МОН України, Інституті радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України.

Текст автореферату повністю та вірно викладає зміст дисертації.

До змісту дисертації та її оформлення є такі зауваження:

1. В розділі 1, що стосується структури, властивостей та електронних станів азоту, є деякі неточності у викладенні матеріалу. А саме, на стор. 19 автор

стверджує, що «твердий азот має дві фази з високим ступенем симетрії ґраток», а на стор. 20 – що «твердий азот має кубічну решітку з чотирма молекулами в елементарній ґратці, осі яких спрямовані уздовж чотирьох просторових діагоналей куба. Відомі три кристалічні модифікації твердого азоту». Згодом з'ясовується, що саме «низькотемпературна α -фаза азоту має кубічну решітку з чотирма молекулами в елементарній ґратці, осі яких спрямовані уздовж просторових діагоналей куба». Тобто з тексту не ясно, скільки ж насправді твердий азот має кристалічних модифікацій. Крім того, на стор. 21-22 автор декілька разів наводить не коректні позначення просторових ґруп.

2. В п. 1.7, в якому автор намагається пояснити природу термостимульованої люмінесценції, на стор. 36-38 наведено формули, які, по-перше, мають неправильну нумерацію, а, по-друге, містять параметри, які не пояснюються в тексті. Теж саме стосується й рисунків в цьому пункті.

3. В розділі 3 аналізується електронно-стимульована десорбція збуджених молекул із твердого азоту. Зокрема, на рис. 3.6 (стор. 64) наведено порівняння відносної інтенсивності десорбційних та об'ємних інтенсивностей $I_{\text{дес}}/I_{\text{об'єм}}$ в спектрах катодолюмінісценції при змінненні товщини плівки. На жаль в тексті лише констатується, що зі зменшенням товщини зразка, відносна інтенсивність світіння, що відповідає десорбуючим молекулам, сильно зростає, тобто не аналізуються причини подібної поведінки виходу люмінесценції десорбуючих частинок. Чи не пов'язано це з різною міцністю зв'язків в тонких плівках та об'ємних зразках?

4. В розділах 3 та 4 автор доводить, що в твердому азоті формуються та накопичуються радіаційно-стимульовані зарядові центри N^{4+} та N^{3+} . Ці твердження є одними з головних в дисертаційній роботі. А саме, стверджується, що процесом, що лежить в основі десорбції збудженої молекули азоту, є рекомбінація електрона з іонними центрами N^{4+} , а процес, що відбувається при десорбції атому азоту є рекомбінація електрона з іонними центрами N^{3+} .

Вважаю, що для кращого розуміння процесів, що відбуваються, було б добре навести діаграми молекулярних рівнів для подібних молекулярних сполук, тим більше, що, зазвичай, вони не є стабільними.

5. Загалом, в тексті зустрічаються орфографічні та синтаксичні помилки, а також невірне написання назв молекулярних термів.

Незважаючи на перелічені вище недоліки, наведені зауваження не змінюють загальну високу оцінку роботи і не торкаються сутності проведених досліджень.

Загальна оцінка дисертаційної роботи. Дисертація є завершеною науковою працею, що містить нові експериментальні результати в фундаментальній галузі знань про електронно-стимульовані процеси в твердому азоті. Основні результати є експериментально перевіреними й можуть використовуватися для подальшого розвитку даного напрямку фізики твердого тіла.

Вважаю, що за актуальністю теми, обсягом виконаних досліджень, рівнем і кількістю наукових публікацій, новизною та практичною цінністю отриманих результатів дисертаційна робота А. П. Барабашова «Електронно-стимульовані процеси в твердому азоті» відповідає всім вимогам МОН України до кандидатських дисертацій, зокрема пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор, Барабашов Андрій Павлович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Офіційний опонент,

провідний науковий співробітник відділу теорії динамічних

властивостей складних систем

ДонФТІ ім. О. О.Галкіна НАН України (м. Київ),

доктор фіз.-мат. наук, доцент

К. В. Ламонова

Підпис К. В. Ламонової засвідчую:

вчений секретар ДонФТІ ім. О. О. Галкіна НАН України (м. Київ)

кандидат технічних наук



В. Ю. Дмитренко