

Відгук надійшов до ради
26.04.2011 (В.В. Савію)



ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Білича Ігоря Вікторовича
«ОСОБЛИВОСТІ ПРУЖНИХ, МАГНІТОПРУЖНИХ ТА
П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАГНІТОЕЛЕКТРИКІВ
TbFe₃(VO₃)₄, HoFe₃(VO₃)₄ ТА HoAl₃(VO₃)₄
ПРИ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ»

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»
(галузь знань 10 «Природничі науки»)

Актуальність теми дисертації. Сучасний технологічний прогрес стимулює пошук та синтез нових функціональних матеріалів з унікальними фізичними властивостями, які б мали перспективи для практичного застосування. Це потребує розуміння фундаментальних процесів, що зумовлюють природу цих властивостей, а також ініціює пошук нових явищ, що виникають у таких системах. З цієї точки зору, перспективними є сполуки, до складу яких входять перехідні елементи, спільною особливістю яких є наявність достатньо сильної взаємодії між їх різними складовими або між їх фізичними підсистемами. До таких систем слід віднести й кристали сімейства рідкісноземельних (РЗ) боратів. Ці сполуки характеризуються сильним взаємозв'язком між магнітною, електронною та пружною підсистемами та демонструють магнітоелектричні, магнітопружні та магнітоп'єзоелектричні ефекти. Системи з такою різноманітністю властивостей представляють інтерес не тільки з фундаментальної, а й з прикладної точки зору як багатофункціональні матеріали. Зокрема, матеріали з магнітоелектричним ефектом є перспективними для створення елементної бази спінової електроніки.

Саме тому низькотемпературні дослідження п'єзоелектричних, магнітоп'єзоелектричних, магнітопружних та пружних характеристик ряду представників сімейства РЗ боратів, безсумнівно, є **актуальними** та визначають **тему** дисертаційної роботи І. В. Білича.

Актуальність теми також підтверджується тим, що дисертаційна робота І. В. Білича виконувалася у Фізико-технічному інституті низьких температур ім. Б. І. Веркіна НАН України відповідно до цілей і завдань бюджетних програм науково-дослідницьких робіт з актуальних напрямків фундаментальних і прикладних наукових досліджень НАН України, починаючи з 2007 року і по теперішній час.

Ступінь обґрунтованості, достовірності наукових положень і висновків, сформульованих у дисертації. Наукові положення та висновки в дисертації пояснені із застосуванням відповідних посилань на джерела інформації. Експериментальний характер роботи створює належне підґрунтя для наукових положень та практичних рекомендацій. Отримані І.В. Біличем наукові результати та висновки характеризуються достатнім рівнем обґрунтованості і достовірності, що забезпечено високим рівнем

експериментальної техніки та гарною відтворюваністю результатів. Достовірність наукових результатів, що були представлені в роботі, забезпечується апробацією отриманих результатів на міжнародних конференціях та публікаціями у рецензованих фахових виданнях.

Структура дисертації є логічною, теми розділів поетапно розкривають проблематику досліджень та демонструють отримані результати.

Дисертація містить анотацію, написану українською та англійською мовами. Анотація не містить результатів, ідей чи висновків, які не представлені в основному тексті дисертації.

У *вступі* дисертант обґрунтував актуальність обраної теми дослідження, сформулював мету та завдання роботи відповідно до поставленої перед ним задачі. Також відображено зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, представлена наукова новизна отриманих результатів та їхнє практичне значення, наведено особистий внесок здобувача.

У *першому* розділі «**Рідкісноземельні борати: структура та властивості (Огляд літератури)**» здобувач зробив огляд літератури за обраною тематикою. В розділі наведено дані про кристалічну структуру сімейства рідкісноземельних боратів та розглянуті магнітні, магнітопружні та магнітоелектричні властивості цих сполук. Огляд та аналіз наукових робіт по даній тематиці дозволив визначити актуальні напрямки досліджень роботи.

У *другому* розділі «**Методика експерименту**» розглянуто використаний в роботі метод одночасного вимірювання відносних змін швидкості й поглинання звуку та наведено методику вимірювання абсолютних значень швидкості звуку. Представлено оригінальну методику нерезонансної акустоелектричної трансформації, в відпрацюванні якої автор брав активну участь. Ця методика була використана для п'єзоелектричних властивостей монокристалів, які досліджувались у роботі. Автор докладно описав конструкцію кріогенного устаткування, термометрії та процедуру підготовки зразків до акустичних досліджень.

Третій розділ «**Модулі пружності та п'єзоелектричний модуль $TbFe_3(VO_3)_4$, $HoFe_3(VO_3)_4$ та $HoAl_3(VO_3)_4$** » містить **вперше** отримані з високою точністю дані щодо абсолютних значень швидкостей звуку, компонент модулів пружності та п'єзоелектричного тензора в монокристалах $TbFe_3(VO_3)_4$, $HoFe_3(VO_3)_4$ та $HoAl_3(VO_3)_4$.

У *четвертому* розділі «**Пружні та магнітопружні ефекти у феробораті тербію**» здобувач навів результати досліджень поведінки пружних та магнітопружних характеристик монокристала фероборату тербію поблизу структурного та магнітних фазових перетворень. Зокрема, вперше виявлено суттєві аномалії пружних характеристик кристалу при індукованому магнітним полем фазовому перетворенні, що вказує на суттєвий зв'язок між магнітною ті пружною підсистемами кристалу. Було визначено критичний кут між напрямком магнітного поля та віссю легкого намагнічування кристалу при якому спін-флоп перехід першого роду трансформується в перехід другого роду. Представлено феноменологічну

теорію, яка якісно описує поведінку пружних характеристик кристалу при спін-флоп переході.

П'ятий розділ «**Магнітопружність, магнітоємність та магнітоп'єзоелектричний ефект у $\text{HoFe}_3(\text{VO}_3)_4$** » містить експериментальні дослідження пружних та п'єзоелектричних ефектів у феробораті гольмію. Здобувач вперше виявив магнітоп'єзоелектричний ефект та дослідив спін-залежні вклади в швидкість звуку, діелектричну проникність та п'єзоэффект у антиферомагнітному стані гольмієвого фероборату. Визначено константи магнітоелектричної та магнітопружної взаємодій. Запропоновано феноменологічну теорію спостережуваних ефектів.

У шостому розділі «**Пружні, магнітопружні, магнітоп'єзоелектричні та магнітодіелектричні характеристики $\text{HoAl}_3(\text{VO}_3)_4$** » дисертант представив результати експериментальних досліджень магнітопружних, магнітодіелектричних та магнітоп'єзоелектричних ефектів гольмієвого алюмоборату. Вперше виявлено суттєве зростання п'єзоелектричного модуля у низькотемпературній області. Показано, що низькотемпературні залежності п'єзоелектричного модуля, діелектричної проникності та швидкості звуку добре описуються при врахуванні структури спектру основного мультиплету іонів гольмію, що формується при взаємодії електронної хмарки Ho^{3+} з тригональним кристалічним полем.

Загалом текст дисертаційної роботи написано зрозуміло та послідовно. Кожен розділ закінчується висновками, що базуються на отриманих у розділах результатах.

У розділі *висновки* в стислій формі сформульовані основні результати роботи. Всі висновки та ідеї підтверджені розрахунками та експериментальними результатами. Всі поставлені задачі вирішено в повній мірі.

Наукова новизна результатів. Результати, що отримав автор, є актуальними та новими, добре узгоджуються з літературними даними інших авторів, як теоретичними так і експериментальними. Серед отриманих наукових результатів хотілось би виділити наступні:

- **Вперше** експериментально з високою точністю отримані значення швидкостей звуку в монокристалах фероборатів тербію, гольмію та алюмоборату гольмію. Розраховано основні компоненти тензорів модулів пружності та п'єзоелектричних тензорів досліджуваних сполук.
- **Вперше** експериментально виявлено значні аномалії пружних властивостей монокристала фероборату тербію, спричинені фазовим переходом першого роду, індукованим магнітним полем.
- **Вперше** виявлено та досліджено магнітоп'єзоелектричний ефект в антиферомагнітному стані монокристала гольмієвого фероборату. Визначено константи магнітоелектричної та магнітопружної взаємодій.
- **Вперше**, на прикладі кристалу алюмоборату гольмію, виявлено суттєве збільшення величини п'єзоелектричного ефекту в парамагнетиках, що є наслідком впливу деформації на траєкторію руху директора нематоподібної парамагнітної фази.

Наукова та практична значимість отриманих результатів полягає в розширенні наукового підґрунтя щодо розуміння природи п'єзоелектричних, пружних та магнітопружних ефектів у магнітоелектриках і, зокрема у мультифероїках, та прогнозуванню затребуваних властивостей таких матеріалів. Отримані дані допоможуть в розкритті механізмів, що призводять до сильного магнітоелектричного та магнітопружного зв'язку в кристалічних сполуках і, можливо, штучних гетероструктурах, до складу яких входять перехідні елементи, та можуть бути корисними в розробці нових методів досліджень та визначенні перспектив використання нових властивостей і матеріалів в сучасних технологіях. Інформація щодо п'єзоелектричних модулів та модулів пружності досліджуваних сполук є важливою технічною характеристикою мультифероїків, і може слугувати основою для розвитку теоретичних схем розрахунку їхньої ґраткової динаміки.

Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях. Основні результати дисертації опубліковані у 14 наукових працях, серед яких 4 статті у наукових фахових виданнях, які входять до науково-метричних баз Scopus та Web of Science, а також 10 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

Обсяг друкованих праць та їх кількість відповідають встановленим вимогам МОН України щодо публікацій основного змісту дисертації на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія». В цих публікаціях результати, наведені у дисертації, викладено доволі повно, при цьому тотожних за змістом серед цих публікацій немає.

Зауваження до дисертації. Незважаючи на доволі високий рівень отриманих результатів та обґрунтованість висновків, до дисертації слід зробити декілька зауважень:

1. В роботі проведено дослідження магнітоп'єзоелектричного ефекту в феробораті гольмію та алюмобораті гольмію. Чи не було б доцільним провести аналогічні дослідження в феробораті тербію?

2. В обґрунтуванні методики вимірювання п'єзоелектричного модулю автор використовує поняття диференційного RC-кола, але не враховує вихідного опору джерела вимірюваного потенціалу для цього кола. Якщо в RC-коло вимірюваного потенціалу окрім диференційного RC-кола входить лінія затримки, яка виготовлена з германію, то, з огляду на його можливий великий опір, аргументи автора щодо незалежності сигналу від діелектричної проникності будуть недостатньо коректними.

Втім, вважаю, що зазначені вище зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи представленої до захисту, а також не піддають сумніву достовірність отриманих результатів.

Загальний висновок. Дисертаційна робота І. В. Білича на тему «Особливості пружних, магнітопружних та п'єзоелектричних властивостей магнітоелектриків $TbFe_3(BO_3)_4$, $HoFe_3(BO_3)_4$ та $HoAl_3(BO_3)_4$ при низьких температурах» є оригінальним, завершеним, самостійним науковим дослідженням, в якому отримані нові науково обґрунтовані результати.

За змістом, актуальністю, науковою новизною та оформленням дисертація відповідає вимогам Наказу Міністерства освіти і науки України №40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», та вимогам, передбаченим пунктом 10 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №167 від 6 березня 2019 року (із змінами, згідно з постановою КМУ №979 від 21 жовтня 2020 року), а її автор – Білич Ігор Вікторович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук, професор,
декан фізичного факультету Харківського
національного університету імені В.Н. Каразіна

Р. В. Вовк

Підпис засвідчую
Начальник служби управління
персоналом



Служба управління персоналом