

ВІДГУК
офіційного опонента про дисертацію
Марата Сергійовича Сунгурова
«Фізичні основи створення текстурованих підкладок на базі
парамагнітних сплавів Ni-W для високотемпературних надпровідників
другого покоління»
на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
(спеціальність 01.04.07 – фізика твердого тіла)

Мета дисертаційної роботи Марата Сергійовича Сунгурова – «встановлення природи та механізмів процесів еволюції кристалічної структури та фундаментальних фізичних властивостей сплавів $Ni_{(1-x)}W_x$ і розробка фізичних основ створення парамагнітних підкладок з кубічною текстурою для високотемпературних надпровідників другого покоління з високою струмонесучою здатністю».

Для досягнення мети роботи передбачено вирішення низки завдань, а саме:

1. Вдосконалення методів синтезу та атестація сплавів $Ni_{(1-x)}W_x$ отриманих у широкому діапазоні концентрацій x .

2. Експериментальне вивчення фазової діаграми та електрофізичних властивостей сплавів Ni-W у широкому діапазоні концентрацій 0 – 50 ат. % W і температур $T = 50 - 273$ К.

3. Розробка, вдосконалення методів отримання (холодна прокатка) та атестація тонких стрічок на основі сплавів $Ni_{(1-x)}W_x$ різного складу, що є базовим елементом архітектури 2G HTS надпровідників.

4. Встановлення природи впливу «геометрії нанесення», тиску азоту та часу осадження покриття на кристалічну структуру і процеси фазо- та текстуроутворення в обох компонентах двошарової системи $Ni_{(1-x)}W_x / TiN$.

5. Розробка стратегії вивчення процесів еволюції структури в двошарових системах $Ni_{(1-x)}W_x / TiN$.

Актуальність дисертації М.С. Сунгурова в першу чергу полягає в тому, що дисертаційна робота присвячена розвитку наукових засад удосконалення архітектури високотемпературних надпровідників, що повинно забезпечити високі критичні параметри.

Формальною ознакою актуальності є відповідність тематики дисертації Марата Сергійовича Сунгурова планам і програмам діяльності Інституту Фізики Твердого Тіла Матеріалознавства та Технологій ННЦ ХФТІ НАНУ (№ 080906UP0010, № 0111U009717, № 0116U006366), а також проекту УНТЦ № P424 «Нанотехнологія новітньої генерації ВТНП покритих провідників» (BNL-T2-368-UA).

Структура дисертації М.С. Сунгурова така. Робота складається з анотацій, списку умовних позначень і скорочень, Вступу, п'яти розділів, Висновків, бібліографічного списку, що включає 181 посилань, а також Додатка А (перелік публікацій за темою дисертації, що містить 21 джерело).

Анотація та Вступ (с. 18) написані в повній відповідності з вимогами ДАК МОНУ, що пред'являються до цих розділів кандидатських дисертацій.

Розділ 1 «Архітектура високотемпературних надпровідників другого покоління (2G HTS)» (с. 25) являє собою класичний літературний огляд і добре відображує різноплановий характер дисертаційної роботи. Літературний огляд написаний досить кваліфіковано, висвітлює успіхи у дослідженні архітектури ВТНП покритих провідників другого покоління, котра загалом складається з трьох основних компонентів, а саме: підкладки, буферного шару, монокристалічної плівки надпровідника, та докладно описує сучасні шляхи (RABiTs, IBAD) створення подібних надпровідних матеріалів.

Розділ 2 «Об'єкти дослідження та методи проведення експериментів» (с. 49) присвячений трьом питанням:

1. Розвиток методів створення об'єктів дослідження (сплавів Ni-W, тонких стрічок на їх основі, та двошарових композицій $Ni_{(1-x)}W_x / TiN$), а саме: очищення вихідних компонентів сплавів від домішок; синтез сплавів методом порошкової металургії; механічна та термічна обробка у відновлювальній атмосфері $Ar + 4\% H_2$; нанесення покриття нітриду титану в широкому діапазоні тисків азоту $P_{N_2} = 0 - 6.2 \cdot 10^{-2}$ Torr і часу осадження $\tau_{TiN} = 0 - 15$ min.

2. Вдосконалення методів дослідження: дифракційна та абсорбційна рентгенографія (рентгеноструктурний аналіз, визначення параметрів кристалічної решітки, фазовий аналіз, визначення товщини шарів матеріалів), електрофізичні дослідження при низьких температурах, оптична мікроскопія, механічні властивості, та ін.

3. Розробка і застосування новітніх методів обробки результатів.

Оригінальна частина дисертації охоплює два напрямки: дослідження кристалічної структури та фундаментальних фізичних властивостей сплавів Ni-W (Розділ 3) та вивчення функціональних властивостей матеріалів, що входять до складу ВТНП покритих провідників другого покоління (Розділи 4 і 5).

У **Розділі 3 «Дослідження кристалічної структури, електрофізичних і магнітних властивостей сплавів Ni-W»** (с. 72) наведені результати вивчення кристалічної структури, низькотемпературних електрофізичних і інших властивостей одно- та двофазних сплавів $Ni_{(1-x)}W_x$ різного складу, які знаходять застосування в якості матеріалу підкладки

високотемпературних надпровідників другого покоління 2G HTS. На основі проведених досліджень виявлено вплив складу сплавів $Ni_{(1-x)}W_x$ і температури на кінетику процесів перенесення електричного струму в двофазних системах - сукупності ГЦК і ОЦК твердих розчинів.

У Розділі 4 «Еволюція кристалічної структури стрічки на основі ГЦК сплавів Ni-W у процесі отримання, механічної та термічної обробки» (с. 90) досліджено кінетику процесів структуроутворення в стрічках на основі сплавів Ni-W різного складу під впливом холодної прокатки та рекристалізаційного відпалу ($t = 950 - 1200$ °C, $\tau = 0 - 4$ h.), та вивчено механічні властивості стрічок з різною магнітною структурою та фазовим складом. Встановлено, що в стрічках на основі феромагнітних сплавів Ni-W з високою енергією дефектів пакування E_{sf} формується досконала кубічна текстура. Знайдено, що внаслідок виключно прокатки та високотемпературного відпалу в стрічках на базі парамагнітних сплавів Ni-W з низьким значенням E_{sf} , кубічна текстура, необхідна для практичного використання цих матеріалів в архітектурі 2G HTS не реалізується.

У Розділі 5 «Природа і механізми процесів текстуроутворення у тонкошарових системах Ni-W / TiN» (с. 107) розвивається та обґрунтовується новітній шлях створення підкладок, які поєднують дві надважливі властивості: кубічну текстуру та парамагнітний стан. На основі вивчення атомної структури та морфології двошарових систем $Ni_{(1-x)}W_x / TiN$ в роботі експериментально встановлена можливість реалізації кубічної текстури в обох компонентах двошарової системи «парамагнітний сплав $Ni_{0.905}W_{0.095}$ — покриття TiN», що мусить забезпечити суттєве підвищення щільності критичного струму в високотемпературних надпровідниках другого покоління.

Структура дисертаційної роботи є цілком логічною та забезпечує успішне виконання головних завдань дисертації.

Зупинюся на аналізі *новизни, достовірності, наукової та практичної цінності* основних висновків дисертації М.С. СУНГУРОВА (с. 135).

1. Розвинуто новітні методи дослідження фундаментальних фізичних властивостей багатошарових і багатокомпонентних матеріалів, що засновані на сполученні дифракційної та абсорбційної спектроскопії в єдиному експерименті, і резистометрії з використанням трьох типів даних (неперервних, дискретних, постійних)

Фактично висновок, що виносить на захист, містить два положення:

1. Можливість поєднання методів абсорбційної і дифракційної спектроскопії двошарових систем в єдиному експерименті.

2. Розвиток методів обробки багатофункціональних залежностей, що включають три типи змінних (безперервні, дискретні, постійні).

Новизна і достовірність висновку сумнівів не викликають. У якості ілюстрації (див. Рис. 5. 7) можуть бути наведені результати перетворення залежностей інтенсивності дифракційних ліній від часу осадження покриття в залежності інтенсивності від товщини в системах $Ni_{(1-x)}W_x / TiN$, що дозволяють розділити внески процесів поглинання і дифракційного розсіювання рентгенівського випромінювання в інтенсивність дифракційних ліній.

Цінність висновку з практичної точки зору полягає в тому, що дисертант пропонує ефективний метод обробки результатів дослідження структурних, електрофізичних та інших властивостей твердих тіл.

2. Вперше виявлено ефект впливу температури на кінетику перколяційного перенесення електричного заряду в двофазових сплавах ГЦК Ni-W + ОЦК Ni-W, та розвинуто уявлення щодо природи ефекту - зміни ефективного перетину каналів розповсюдження електричного струму при зниженні температури.

Новизна висновку сумнівів не викликає – питання, щодо впливу температури на процес перколяції в науковій літературі раніше не розглядалося. *Достовірність* висновку очевидна (див. Рис. 3.12).

Наукова *цінність* висновку полягає в розширенні уявлень щодо процесів переносу заряду в гетерофазних системах.

3. Вперше виявлено аномальний рентгенооптичний ефект, що полягає в посиленні інтенсивності дифракційних ліній від підкладки при збільшенні товщини покриття внаслідок переорієнтації кристалітів підкладки у полі внутрішніх напружень.

Новизна, достовірність, та цінність даного висновку з наукової та практичної точок зору сумнівів не викликають. Переконаливо показано, що зміна кристалографічної текстури відбувається під впливом напружень, що виникають на міжфазній межі в двошаровій системі «підкладка – покриття» (див. Рис. 5.8, 5.10, 5.14).

4. Вперше знайдено ефект корельованого формування кубічної текстури в обох компонентах двошарової системи «парамагнітний сплав $Ni_{0.905}W_{0.095}$ - покриття TiN» (ефект контрепітаксії) під дією напружень, що виникають на міжфазній межі в системі «підкладка — покриття».

Новизна та достовірність висновку сумнівів не викликають.

З прикладної точки зору *цінність* даного висновку полягає у можливості створення струмоносійних елементів шляхом осадження монокристалічної плівки ВТНП на поверхню орієнтованого буферного шару.

5. На підставі вивчення кристалічної структури, електрофізичних, магнітних, та механічних властивостей сплавів системи Ni-W, тонких стрічок на їх основі і композицій $Ni_{(1-x)}W_x / TiN$ розроблено стратегію створення текстурованих підкладок на основі парамагнітних сплавів $Ni_{(1-x)}W_x$. Отримано дослідні партії підкладок для високотемпературних надпровідників другої генерації.

На мою думку наведений висновок вказує не лише на *новизну, достовірність, і цінність* з наукової та прикладної точок зору, а й свідчить про успішне досягнення мети дисертаційної роботи у цілому.

У мене немає зауважень, які стосуються дисертаційної роботи М. С. Сунгурова *в цілому*. Обмежусь кількома конкретними зауваженнями:

1. Об'єднання двох видів спектроскопії в єдиному експерименті, і використання трьох типів експериментальних даних для встановлення характеру відповідних функціональних залежностей при формулюванні висновку № 1 видається мені дещо штучним.
2. На сторінці 132 і далі дисертант вперше використовує термін «контрепітаксія». Чи є правомірним використання подібного терміна?
3. Переважна частина експериментів з нанесення покриття виконана при осадженні на тінювий бік підкладки. Не досить чітко пояснено, чим саме обумовлений вибір подібної геометрії експерименту.

Усі висловлені зауваження не носять принципового характеру, не торкаються загальної високої оцінки дисертації та не можуть вплинути на позитивне враження від отриманих у роботі нових і важливих експериментальних результатів та їх обговорення.

Наукова значимість роботи Марата Сергійовича СУНГУРОВА полягає в експериментальному виявленні та встановленні природи ряду нових фізичних закономірностей в області фізики твердого тіла – вплив температури на процес перколяційного протікання електричного струму, аномальний рентгенооптичний ефект, ефект контрепітаксії.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці принципів вдосконалення архітектури високотемпературних надпровідників другого покоління, що повинна забезпечити високу струмонесучу здатність.

Дисертаційна робота М. С. Сунгурова оформлена відповідно до вимог ДАК МОН України до кандидатських дисертацій і написана гарною науковою мовою. Основні

результати роботи Марата Сергійовича Сунгурова опубліковані у вітчизняних та міжнародних наукових виданнях і повідомлені на ряді Міжнародних конференцій.

Автореферат відображає основний зміст і структуру дисертаційної роботи.

На основі викладеного вище вважаю, що дисертаційна робота М. С. Сунгурова «Фізичні основи створення текстурованих підкладок на базі парамагнітних сплавів Ni-W для високотемпературних надпровідників другого покоління» повністю відповідає паспорту спеціальності 01.04.07, фіз.-мат. науки, є завершеною науковою працею та відповідає всім вимогам, пропонуваним до кандидатських дисертацій, а саме пунктам 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» (Постанова Кабінету міністрів України №567 від 24 липня 2013 року), а її автор Марат Сергійович Сунгуров **заслуговує присудження вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за фахом 01.04.07 – фізика твердого тіла.**

Офіційний опонент доктор
фіз.-мат. наук, професор,
декан фізичного факультету
Харківського національного
університету імені В.Н. Каразіна

Р.В. Вовк



Підпис засвідчую
Начальник служби управління
персоналом