

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Рябцева Сергія Івановича,

подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

1. Актуальність теми

Одним із важливих напрямків розвитку фізики твердого тіла є розробка нових способів одержання металів і сплавів із високонерівноважною структурою. Властивості таких матеріалів, у першу чергу, визначаються умовами твердіння, а цілеспрямований вплив на структуро- і фазоутворення вимагає розуміння загальних закономірностей і механізмів нерівноважного твердіння. У роботі, що рецензується, розглядаються питання, пов'язані з вивченням впливу кінетичних факторів на процеси твердіння при високонерівноважних умовах. Визначення фазового складу напилених з однокомпонентних мішеней зразків Ni, Bi, Mn, температурних інтервалів стабільності метастабільних фаз, а також встановлення закономірностей типу *умови осадження – структура – властивості*, є важливими для подальшого застосування отриманих даних при прогнозуванні і поясненні механізмів процесів фазоутворення в сплавах уже багатокомпонентних систем. Значна увага в роботі приділена магнітожорстким матеріалам, які виготовляються зі сплавів, отриманих в умовах гартування з рідкого стану або осадження з пароподібного стану. Обмеженість експериментальних даних і теоретичних обґрунтувань у науковій літературі щодо означених питань вказує на актуальність дисертаційної роботи.

2. Зміст роботи, ступень обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.

Здобувачем виконана досить трудомістка експериментальна робота із залученням можливостей відомих методів структурного аналізу та вимірювання фізичних характеристик металевих сплавів, що підкреслює достовірність наукового матеріалу.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 8 розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатку. Загальний обсяг роботи складає 313 сторінок, у тому числі 274 сторінки основного тексту, 109 рисунків, 32 таблиці. 8 сторінок повністю займають рисунки та таблиці, список використаних джерел із 296 найменувань, який займає 28 сторінок. Додатки займають 3 сторінки.

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів і особистий внесок здобувача.

У першому розділі розглянуто методи отримання плівкових структур осадженням з пари. Проведено порівняльний аналіз методів та відмічено основні закономірності структуроутворення при використанні того чи іншого методу. Значну увагу приділено описанню методів іонного розпилення, зазначено основні параметри, які впливають на процеси осадження, наголошено, що для підвищення ефективності розпилення плівок використовується обладнання з додатковою термемісією електронів. Досить докладно розглянуто також методи гартування з рідкого стану. Значно менша увага приділена описанню саме структури та властивостей тонких плівок, одержаних різними методами, хоча зазначено основні фактори, що впливають на них: природа підкладки, температура підкладки, швидкість осадження, тиск та природа газового середовища, товщина осадженого шару. На основі узагальнення літературних даних обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано основну мету роботи та задачі, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети.

Другий розділ містить опис об'єктів дослідження та обґрунтування вибору компонентів мішені при іонно-плазмовому напиленні, що узгоджується з метою та завданнями роботи. Наведено схему оригінального блоку для прискорення іонів та пояснено переваги і необхідність його використання при отриманні тонких плівок. Середні значення товщини отриманих плівок визначалися за допомогою відомого методу зважування підкладок до та після напилення. Структура плівок та зміни розмірів структурних складових досліджувалися методами трансмісійної та растрової електронної мікроскопії. Отримання плівок гартуванням з рідкого стану здійснювалося методом пострілу краплі розплаву на внутрішню поверхню мідного циліндра, що обертався. Фазовий склад об'єктів дослідження визначався рентгенографічно (фотометод). Температурна стабільність та температурна залежність фазового складу плівок визначалися методом вимірювання електроопору при неперервному нагріві зразків. Розрахунок енергії активації фазових перетворень здійснювався методом Кіссенжера. Магнітні властивості плівок досліджувалися за допомогою вібраційного магнітометра.

У третьому розділі представлено результати чисельних досліджень початкових стадій процесу кристалізації при осадженні високоенергетичних атомів з пари і процесів фазоутворення та властивості плівок, отриманих методом модернізованого іонно-плазмового розпилення Ni, Bi та Mn. Чисельний експеримент надав додаткову інформацію щодо деталей процесів

формування плівки Ni і структури перших шарів а також важливу можливість візуально спостерігати найперші етапи утворення плівок. Так показано, що більшість адсорбованих атомів (ад-атомів) приєднується до центрів, коли ті стають досить великими; що порівняно велика крапля ще знаходиться у рідкому стані, оскільки вона часто «деформується» в результаті хаотичного коливання поверхні підкладки після ударів атомів, що осаджуються. Тобто чисельний експеримент підтверджує виникнення зародків за відомим механізмом «пар – рідина – твердий стан».

Автор стверджує, що при осадженні з пари формуються нанокристалічні двофазні плівки (нерівноважна фаза β -Mn та оксид MnO_2). Зміна умов утворення плівки (гартування з рідкого стану) приводить, в залежності від швидкості охолодження розплаву або до формування однофазних плівок (нерівноважна фаза γ -Mn), або двофазних (α -Mn та γ -Mn).

При отриманні плівок вісмуту методом осадження з пари високоенергетичних атомів встановлено, що підвищення енергії атомів, які осаджуються на підкладку, приводить до формування трифазної структури (Bi з ромбоєдричною ґраткою, нерівноважної фази Bi з кубічною ґраткою та фази α - Bi_2O_3). Підкреслено, що вісмут з кубічною ґраткою до цього отримувався лише за умов високого тиску. Формування нерівноважної кубічної структури пояснено значним Лапласівським тиском ($\sim 0,1\text{--}1$ ГПа) у тонких плівках та додатковим зростанням рівня механічних напружень між плівкою та підкладкою внаслідок зростання енергії атомів, що осаджувалися. Показано, що наявність нерівноважної фази Bi з кубічною ґраткою та фази α - Bi_2O_3 є причиною проявлення гістерезисних магнітних властивостей в напилених плівках.

Дослідження структури нікелевих плівок, отриманих методом модернізованого іонно-плазмового розпилення, дозволили отримати разом із нанокристалічною фазою β -Ni також метастабільну фазу α -Ni, яка має ГЦУ ґратку.

Четвертий розділ присвячено аналізу взаємозв'язку умов формування, термічної стійкості аморфних і мікрокристалічних фаз у високовуглецевих плівках систем C-(Fe, Ni, Co) та їх фізичних властивостей. Автором отримано прямі експериментальні докази того, що зростання вмісту вуглецю у термооброблених плівках C-Fe, одержаних методом модернізованого іонно-плазмового розпилення, внаслідок формування метастабільних фаз приводить до значного розширення номіналів електроопору. Результати можуть бути використані при розробці високоомних прецизійних резисторів.

Встановлено, що осадження з пари сплавів Co-C у широкому діапазоні концентрацій від 5 до 52 ат.% C приводить до формування нерівноважних

станів: сильно пересиченого твердого розчину вуглецю у β -Co, метастабільних карбідів Co_3C , Co_2C та рентгеноаморфних фаз. При цьому у разі осадження атомів з пари показано можливість використання та удосконалення діаграм метастабільної рівноваги при використанні моделі пар-рідина-твердий стан.

При дослідженні процесів структуроутворення в процесі осадження з пари сплавів Ni-C встановлено розширення спектра метастабільних станів у порівнянні із гартуванням з рідкого стану. Визначено інтервали концентрації вуглецю, в межах яких у сплавах системи Ni-C при напыленні формуються сильно пересичений твердий розчин, аморфна фаза, нанокристалічна фаза та метастабільний карбід Ni_3C . Показано, що технологія модернізованого іонно-плазмового розпилення високовуглецевих плівок Ni-(7...61,4) ат.% C дозволяє рекомендувати останні для практичного використання у пристроях мікроелектроніки в якості високоомних корозійностійких плівкових резисторів.

У п'ятому розділі розглянуто формування метастабільних структур при осадженні з пари в системах Pb-Al, Pb-Co, W-Ba, Ni-Ba, Al-Ta, Al-Nb, які мають розшарування у рідкому стані і температури плавлення компонентів яких сильно відрізняються. Традиційними методами отримати у цих сплавах однорідну структуру практично неможливо.

На основі аналізу характеру концентраційної залежності параметра ґратки твердого розчину на базі Pb та Co автор стверджує, що зменшення тиску плазмоутворюючого газу у робочій камері та заміна діелектричних підкладок на мідні приводить до змін умов розпилення. Ці зміни дозволили зафіксувати утворення однофазних сильнопересичених твердих розчинів на основі ГЦК-ґраток у плівках Pb-Al як з боку алюмінію, так і з боку свинцю, а при отриманні плівок системи W-Ba вперше спостерігати утворення однієї чи суміші двох аморфних фаз. Пригнічення кристалізації в процесі конденсації сплавів у системах Al-Ta та Al-Nb якісно пояснюється в рамках механізму «пар – рідина – твердий стан». Пригнічення кристалізації, на погляд автора, відбувається за рахунок зниження рівноважних температур плавлення наномасштабних квазічастинок розплаву та підвищення температур склоподібного переходу в умовах швидкого охолодження. Встановлено, що використання методу модернізованого іонно-плазмового розпилення за певних умов осадження дозволяє отримати плівки систем Pb-Al, Pb-Co, W-Ba, Ni-Ba, Al-Ta, Al-Nb з корисними фізичними властивостями, такими як підвищена коерцитивна сила, прецизійні значення температурного коефіцієнту опору при широкому діапазоні номіналів, поліпшені емісійні властивості.

У шостому розділі представлено матеріали досліджень формування метастабільних станів, отриманих методом модернізованого іонно-плазмового розпилення, у незмішуваних системах на основі феромагнетиків (Fe, Co, Ni) з діамагнетиками (Ag, Bi) і парамагнетиками (Mg, Pt). Здобувачем показано, що в результаті осадження з пари систем Fe-Ag, Fe-Co-Ag, Fe-Bi і Ag-Ni, які характеризуються розшаруванням компонентів у рідкому стані, утворюються аморфні та нанокристалічні структури, максимальний ступінь однорідності яких корелює зі значеннями енергії змішування компонентів. Встановлено, що в плівках сплавів Fe-Bi, отриманих методом модернізованого іонно-плазмового розпилення, формується метастабільна ОЦК-модифікація, аналогічна фазі, що утворюється у чистому вісмуті лише за умов високого тиску. Показано, що розпад метастабільних фаз в системі Fe-Mg супроводжується безпосередньою появою в структурі плівки суміші рівноважних фаз: практично чистого заліза і окису магнію. Порівняно високі магнітожорсткості властивості плівок Fe-Mg автор пояснює ефективним гальмуючим впливом на процеси перемагнічування діамагнітних прошарків з окису магнію, які оточують феромагнітні домени заліза.

Проведені дослідження дозволили здобувачу встановити склади і умови отримання плівок, які є перспективними для використання у тонкоплівкових прецизійних резисторах та носіях інформації.

У сьомому розділі наведено результати аналізу формування метастабільних станів у незмішуваних системах при гартуванні з рідкого стану. Показано, що проведені теоретичні розрахунки положень максимумів областей незмішуваності у рамках модернізованої субрегулярної моделі розчинів у рідких сплавах Mn-Pb, Mn-Bi, Ag-Mn, дозволяють встановити чисельні значення температур, необхідних для гартування розплавів з однофазної області. Використовуючи розрахункові дані, здобувачем отримані аморфні і мікрокристалічні фази в цих системах та проаналізовано вплив особливостей їх формування на термічну стійкість і фізичні властивості.

Методи кількісної оцінки положень областей незмішуваності у рідких сплавах відкривають практичну можливість одержання швидкозагартованих фольг MnBi з підвищеною коерцитивною силою.

Восьмий розділ дисертації присвячено дослідженню структури й фізичних властивостей плівок на базі Fe-Nd-B з домішками Zn, Ga, Pb, Nb, Cu та систем Al-Cu-Co, Al-Co-Ni і Al-Cu-Fe, отриманих методом модернізованого іонно-плазмового розпилення. Здобувачем розглянуто особливості структуроутворення при різних умовах розпилення мішеней зі спечених порошків сплаву Fe-Nd-B з домішками Zn, Ga, Pb та складових мішеней з Fe, Nd, лігатури Fe-B та домішок Nb, Cu, Pb. При дослідженні свіжонапилених плівок встановлено формування рентгеноаморфних фаз на основі заліза та

неодиму, які розпадаються після нагріву до 473...723 К. Додаткове легування Nb підвищує інтервал розпаду аморфних фаз до 833...943 К. Показано, що розпад АФ супроводжується утворенням фази α -Fe і дисперсних виділень складних оксидів на основі Fe, Nd і Nb (залежно від складу сплаву). Формування магнітної фази Nd-Fe-B (2:14:1) пригнічується за рахунок утворення складних кисневих сполук.

У цьому розділі автором зроблена спроба експериментальними методами показати можливість формування дисперсних квазікристалічних фаз у плівках на основі систем Al-Cu-Co, Al-Co-Ni та Al-Cu-Fe, отриманих при осадженні методом модернізованого іонно-плазмового розпилення складених мішеней.

Загальні висновки по дисертаційній роботі відображають одержані автором результати, розкривають її наукову та практичну значимість.

Серед основних наукових результатів, одержаних в роботі, слід відмітити наступні.

1. Запропоновано модель, згідно з якою при модернізованому іонно-плазмовому розпиленні у плівках незмішуваних систем Ва-(W,Ni) формується мозаїчна структура зі змінною електронною густиною та низькою роботою виходу електронів, де області вольфраму з високою густиною електронів і роботою виходу стають донорами електронів, які стікаються в області з нижчими значеннями густини електронів. Внаслідок цього полегшується можливість відриву від поверхні катода електронів і забезпечується, внаслідок цього, висока густина емісійного струму при порівняно низькій температурі поверхні катода.

2. Встановлено, що в результаті розпилення з пароподібного стану сплавів Co-C, Ni-C розширюється спектр метастабільних станів у порівнянні з гартуванням з рідкого стану. Уперше визначені інтервали концентрації вуглецю, в межах яких у сплавах Co-C, Ni-C при гартуванні з пароподібного стану формуються сильно пересичені тверді розчини, та метастабільні карбіди Co_3C , Co_2C , Ni_3C .

3. У рамках модернізованої субрегулярної моделі твердих розчинів проведені розрахунки положень максимумів областей незмішуваності в розплавах систем Mn-Pb, Mn-Bi, Ag-Mn і Ni-Pb, на підставі яких можна обирати чисельні значення температури для гартування розплавів з однофазної області.

4. Експериментально встановлено, що зростання вмісту вуглецю (більше, ніж до 50 ат.%) у плівках C-Fe, отриманих модернізованим іоно-плазмовим розпиленням, приводить як значного розширення номіналів електроопору, так і отримання прецизійних величин оборотного термічного коефіцієнту опору, що пояснюється формуванням метастабільних фаз.

5. Уперше методом модернізованого іонно-плазмового розпилення синтезовано металеві сплави на основі незмішуваних компонентів Fe–Bi, Ag–Fe, Ag–Co, Fe–Co–Ag, Fe–Ag–Bi та встановлені склади й умови отримання плівок з низькими значеннями температурного коефіцієнту опору та високою коерцитивною силою, які є перспективними для використання у якості тонкоплівкових прецизійних резисторів і носіїв магнітної інформації з підвищеною магнітною пам'яттю.

6. Доведено, що підвищення енергії атомів при модернізованому іонно-плазмовому розпиленні приводить до формування у плівках чистого вісмуту і у сплавах системи Bi–Fe та Bi–Mn метастабільної ОЦК фази Bi, яка до цього була стабілізованою лише в умовах високого тиску. Встановлено, що утворення суміші рівноважного ромбоєдричного, метастабільного ОЦК вісмуту та оксиду Bi_2O_3 сприяє виникненню магнітного гістерезису, не характерного для діаманітного вісмуту.

7. Показано, що при високонерівноважних умовах структуроутворення, які реалізуються при осадженні з пари високоенергетичних атомів Mn, формується метастабільна фаза β -Mn, в той час як при гартуванні з рідкого стану в залежності від швидкості охолодження розплаву формується або нерівноважна фаза γ -Mn, або двофазна структура, що складається з α -Mn та γ -Mn.

3. Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій.

Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечується, в основному, завдяки використанню загальновідомих експериментальних методів досліджень – рентгенівського, електронно-мікроскопічного, магнітометричного та вимірювання електричного опору. Результати, наведені в дисертаційній роботі, узгоджуються з існуючими положеннями фізики твердого тіла та літературними даними.

4. Повнота відображення в опублікованих роботах наукових положень, висновків та результатів.

Основні результати дисертаційної роботи, сформульовані в ній висновки, висвітлені у 27 статтях у провідних фахових виданнях України та інших країн (10 з яких входить до наукометричної бази даних Scopus, 17 у фахових збірниках наукових праць), 2 статтях у збірниках праць конференцій; 3 патентах України та 10 тезах доповідей міжнародним конференціям. Публікації відтворюють основний зміст дисертації, об'єм і характер досліджень.

5.Рекомендації по використанню результатів дисертації.

Результати експериментальних досліджень, розроблені математична модель процесу осадження і візуалізації механізмів утворення тонких плівок при осадженні високоенергетичних атомів, метод кількісної побудови у рамках модернізованої субрегулярної моделі положень максимумів областей незмішуваності рідких сплавів можуть бути впроваджені в навчальний процес підготовки аспірантів і магістрів за спеціальністю 104 “Фізика та астрономія” у Дніпропетровському національному університеті імені Олеся Гончара, в Запорізькому національному університеті в курсі лекцій «Некристалічні та квазікристалічні матеріали». Вони можуть бути використані також у наукових дослідженнях в Інституті металофізики НАНУ ім. Г.В. Курдюмова, Дніпровському державному технічному університеті, Львівському національному університеті ім. І.Франка, Харківському національному університеті імені В.Н. Каразіна та інших наукових установах і навчальних закладах, які займаються проблемами нерівноважного твердіння металевих сплавів.

6.Зауваження до змісту та тексту дисертації та автореферату.

Незважаючи на сукупність оригінальних і важливих результатів у опонента є ряд зауважень і побажань.

1. Робота присвячена дослідженням структури і властивостей металевих сплавів, отриманих у високонерівноважних умовах твердіння при гартуванні з рідини та осадженні з пари. Проте в літературному огляді описано в основному структурні особливості та властивості сплавів після гартування з рідкого стану, а структури і властивості плівок після осадження з пари описано лише в загальних рисах.

2. Фазовий склад плівок марганцю, отриманих іонно-плазмовим напиленням, являв собою суміш трьох фаз: β -Mn, MnO_2 , MnO. Незрозумілою є причина формування такої кількості окислів. При цьому автор приводить значення параметрів орторомбічної ґратки фази MnO_2 , не зазначаючи ні як вони визначалися, ні причину необхідності визначення параметрів ґратки саме цієї фази.

3. Використання формули Селякова-Шеррера для оцінки розмірів областей когерентного розсіювання (мікрокристалітів) є принаймні некоректним, оскільки не виконувався аналіз профілю дифракційних максимумів, тобто не враховувалися всі фактори, які можуть приводити до фізичного розширення максимумів. Окрім того, нічого не сказано про еталонні зразки, по відношенню до яких могла йти мова щодо розширення максимумів. Необхідно зазначити, що формула Селякова-Шеррера доведена строго, але нею можна користуватися лише для тих мікрокристалічних фаз,

інтерференційні максимуми яких на рентгенограмах ще добре розрізняються. Для аморфних же фаз перший дифузний максимум є сильно розмитим і може містити декілька злившихся інтерференційних ліній. Тому використовувати означену формулу до рентгеноаморфних матеріалів не можна взагалі, оскільки отримуються свідомо занижені значення розмірів областей когерентного розсіювання. Автор же наводить значення розмірів цих як для мікрокристалічних, так і для рентгеноаморфних плівок з точністю до десятих часток нанометра. За наведеними фотометрованими дебаєграмами з такою точністю визначити розміри областей когерентного розсіювання неможливо.

4. Автор стверджує, що в процесі гартування з рідкого стану при кімнатній температурі фіксується фаза γ -Mn з ГЦК ґраткою, параметр якої відрізняється від табличного на величину 0,0156 нм. Проте в літературі відомо, що існує тетрагональна модифікація цієї фази з параметром, близьким до отриманого автором. Якість наведених рентгенограм не дає можливості підтвердити висновок автора, а пояснення щодо зменшення параметра ґратки аж на 0,0156 нм гартівними вакансіями є принаймні некоректним, оскільки нічим не підтверджується.

5. Автор вважає, що найбільш ймовірним механізмом формування грубозернистих структур у двофазному розплаві Ag-Mn є бездифузійна кристалізація, описана Аптекарем І. Л. у 1968 році. Підтвердження такому припущенню немає, оскільки автор лише говорить про «точковий характер рефлексів» на рентгенограмах, не наводячи самі рентгенограми. У гомогенних же розплавах (поза куполом розшарування), за його словами, при зростанні ступеня переохолодження формуються дисперсні структури, а «рефлекси мають не точковий, а суцільний вигляд». Тому, по-перше, не зрозуміло що таке «суцільний вигляд рефлексів», а по друге, рентгенограми знову не представлено.

6. Переважна більшість рентгенограм та електроніграм, представлених у розділі VI, не можуть служити навіть ілюстративним матеріалом, оскільки, по-перше, вони є дуже неякісними, а по-друге, - зовсім не ідентифікованими.

7. Значні сумніви викликають у опонента дані щодо отримання та описання структури квазікристалічних фаз, одержаних методом розпилення. По-перше, фаза, ідентифікована автором, як ікосаедрична (так звана ψ -фаза) з набагато більшою ймовірністю може бути ідентифікована, як кубічна фаза на основі алюмінію зі структурою типу CsCl, кількість алюмінію у ній складає близько 50 % ат. По-друге, область гомогенності ψ -фази за концентраціями елементів є досить вузькою (декілька атомних відсотків). Судячи ж з даних рентгеноспектрального аналізу (рис. 8.15), отримана плівка виходить далеко за межі цієї області. По-третє, автор стверджує, що в структурі напиленої

плівки системи Al-Cu-Fe існує дві фази: дисперсна квазікристалічна фаза і матрична фаза, кількість якої така мала, що використаним рентгенівським методом вона не виявляється. Яка ж вона тоді матрична, якщо її менше 5%, і за рахунок чого зростає інтенсивність рефлексів після відпалів? По-четверте, в роботі зазначається, що після відпалу «інтенсивна лінія ψ -фази не розділилася на два максимуми». Так вона і не повинна розділитися, оскільки на рентгенограмах ікосаедричних фаз такого типу завжди спостерігаються два інтенсивних максимуми, які за Каном ідентифікуються, як 18/29 і 20/32. Це знову говорить на користь того, що на рентгенограмах фіксувалася кубічна фаза на основі алюмінію.

8. В роботі автор використав відому модель розрахунків механічних напружень у наближенні двошарової структури для напівпровідникових плівок, не пояснивши правомірність використання цієї моделі для металевих плівок.

9. Дуже велика кількість висновків до кожного розділу. При цьому, багато з них мають вигляд констатації фактів без їх пояснення. Загальні ж висновки є дуже обширними, перевантажені цифровими даними і фактично повторюють викладений у тексті дисертації матеріал.

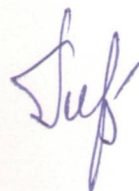
10. У опонента є значна кількість зауважень щодо оформлення роботи, зокрема до оформлення рисунків. Наприклад якість фотометрованих дебаєграм низька і проведення фазового аналізу за такими даними викликає сумніви. Часто зустрічаються неякісні фотографії мікроструктур (наприклад, рис. 4.11, рис. 6.6). Рис. 4.7 взагалі не зрозуміло для чого представлено, оскільки ні розшифровки електронограм, ні структурних складових мікроструктури не приведено. Як у самій роботі, так і в авторефераті часто зустрічаються невдалі терміни, висловлення, наприклад, с. 109 «ефективні швидкості енергетичної релаксації при конденсації атомів з пароподібного стану при різних режимах відповідають $10^{12} \dots 10^{14}$ K/c» (про яку температуру може йти мова у цьому випадку?), «фази без дальнього кристалічного порядку (с. 124), тощо.

7. Висновок

Приведені зауваження, зважаючи на кваліфікаційний характер роботи, не зменшують у цілому цінності отриманих результатів. Робота є завершеним науковим дослідженням і містить результати, які є важливими для фізики твердого тіла. Автореферат адекватно відображає зміст дисертації і наукових праць, зазначених у посиланнях. Матеріали рецензованої дисертаційної роботи є новими й оригінальними.

Усе сказане вище дає підстави вважати, що дисертаційна робота **Рябцева Сергія Івановича** за **актуальністю, методичним рівнем, змістом, новизною отриманих наукових результатів** відповідає вимогам “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013р. № 567 зі змінами, затвердженими Постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19 серпня 2015р. та №1159 від 30.12.2015р., а її автор заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07. – фізика твердого тіла.

Завідувач кафедри фізики металів
Запорізького національного університету,
доктор фізико-математичних наук,
професор



В. В. Гіржон

Підпис Р.В. Гіржона підтверджую
Вчений секретар Запорізького
національного університету



В.П.Снежко