

Відгук офіційного опонента  
на дисертацію Скірти Юрія Борисовича  
**«Електричні та магнітні властивості сплавів Гейслера**  
**Ni-Mn-Ga та Fe-Mn-Ga поблизу точок фазового переходу»,**  
що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних  
наук за спеціальністю 01.04.11 - магнетизм

Дисертаційна робота Скірти Юрія Борисовича на тему «Електричні і магнітні властивості сплавів Гейслера Ni-Mn-Ga і Fe-Mn-Ga поблизу точок фазового переходу» є експериментальною роботою, яка присвячена комплексному дослідженю структурних, електричних і магнітних властивостей сплавів Гейслера на основі стехіометричних і нестехіометричних складів Ni-Mn-Ga і Fe-Mn-Ga. У роботі були отримані і досліджені керамічні, монокристалічні і плівкові зразки з встановленням закономірностей впливу складу, структури і зовнішніх факторів на особливості мартенситних перетворень поблизу температур фазових переходів. Встановлені закономірності дозволили розробити і сконструювати над низькочастотний генератор, який працює на основі мартенситного переходу та дозволяє точно вимірювати температури прямого і зворотного мартенситних переходів, а також визначати характер впливу зовнішнього магнітного поля на проходження мартенситних перетворень.

Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 01.04.11 - «магнетизм» відповідно до напрямів наукових досліджень:

- магнітовпорядковані стани, їх структура та властивості: феромагнетизм, антиферомагнетизм, феромагнетизм;
- магнітні фазові переходи в магнітних речовинах;
- магнітооптичні та магнітоелектричні явища;
- магнітні властивості низьковимірних систем.

**Актуальність теми.** Тема дисертаційної роботи присвячена вирішенню актуальної наукової проблеми в галузі фізики магнітних явищ конденсованого стану. В роботі представлені результати експериментальних досліджень структурних, магнітних і магнітоелектричних властивостей сплавів Гейслера Ni-Mn-Ga і Fe-Mn-Ga систем. Досліджені системи відносяться до феромагнітних матеріалів, у яких проявляється ефект пам'яті форми. При використанні таких систем в прикладних цілях з'являється можливість керувати розміром і формуєю зразків за рахунок зміни температури і накладення зовнішнього магнітного поля. Сплави на основі Fe-Mn-Ga відносяться до складів, які мають високий ступінь спінової поляризації, що відкриває нові можливості при виготовленні тунельних контактів з необхідними електричними характеристиками.

**Відповідність теми дисертації науковим програмам, темам і завданням пріоритетних тематик сучасної науки.** Дисертаційна робота виконана в Інституті магнетизму НАН України та МОН України (м. Київ) відповідно до цілей і завдань бюджетних програм науково-дослідних робіт з актуальних напрямів фундаментальних і прикладних наукових досліджень НАН і МОН України з 2009 року по теперішній час.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень і основних висновків, достовірність і новизна отриманих результатів.** Отримані результати, наукові

положення і зроблені в дисертаційній роботі висновки повною мірою обґрунтовані, оскільки є результатом проведеного аналізу великої кількості вимірювань, виконаних з використанням сучасних високоточних експериментальних методик по дослідженю структурних, електричних, магнітних, магнітотранспортних і резонансних властивостей. Отримані результати пройшли надійну апробацію у вигляді 5 доповідей, зроблених на міжнародних наукових конференціях. Відсутність протиріч при аналізі отриманих результатів з існуючими сучасними уявленнями в фізиці магнітних явищ конденсованого стану дозволяє зробити висновок про їх достовірність. Новизна результатів підтверджується оригінальністю використаних методик і тим, що більшість з цих результатів отримано вперше.

**Структура дисертації, її завершеність і відповідність змісту автореферату основних ідей і висновків дисертації.**

Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків і списку використаних джерел. Основний текст дисертації представлений на 139 сторінках. Список використаної літератури складається з 125 найменувань. Повний обсяг роботи становить 147 сторінок.

У вступі викладено актуальність теми дисертації, зв'язок її з науковими програмами, сформульовано мету і завдання дослідження, наукову новизну, практичну цінність отриманих результатів, відзначено особистий внесок здобувача, наведені результати апробації наукових досліджень і структуру дисертації.

У першому розділі проведено комплексний аналіз існуючих на сьогоднішній день основних результатів досліджень сплавів Гейслера і особливостей їх практичного застосування. Особливу увагу було приділено фазовим перетворенням, змінам структурних, магнітних, електричних властивостей Ni-Mn-Ga і Fe-Mn-Ga складів, викликаним прямим і зворотним мартенситним переходом. Наведено відмінні риси і введені основні кількісні характеристики низькотемпературної мартенситної та високотемпературної аустенітної фаз. В кінці розділу поставлені завдання для подальших наукових досліджень.

У другому розділі міститься інформація про технологію отримання та методику дослідження зразків. У роботі були отримані і досліджені плівкові, монокристалічні і керамічні зразки різних сплавів стехіометричного складу  $Ni_2MnGa$  і  $Fe_2MnGa$ . Плівкові зразки отримували магнетронним напиленням при різних технологічних умовах на монокристалічні та аморфні підкладки. Частину отриманих зразків додатково опромінювали наносекундними лазерними імпульсами для зміни морфології їх поверхні. Відхилення від стехіометрії здійснювали за допомогою додаткової термічної обробки в залежності від температури і тривалості додаткового відпалу у відповідній атмосфері в залежності від її парціального тиску.

Структурні властивості досліджували рентгеноструктурним методом на дифрактометрі ДРОН-3М і просвічувальному електронному мікроскопі JEOL 2000 FX. Морфологію поверхні плівкових зразків досліджували за допомогою атомно-силової, оптичної та растрової електронної мікроскопії. Магнітні властивості

сплавів досліджували за допомогою вібраційного магнітометра і магнітометра PPMS. ФМР резонанс досліджували з використанням спектрометрів Radiopan і Bruker Elexsys E-500. Для вимірювання температурних залежностей опору і термо-ЕРС були розроблені і зібрані спеціальні стенди. Відносну магнітну сприйнятливість визначали за допомогою LC-генератора і методом диференціального трансформатора. Для дилатометричних вимірювань був використаний індукційний датчик лінійних переміщень.

**Третій розділ** присвячено вивченю особливостей структури поверхні плівок Ni-Mn-Ga та Fe-Mn-Ga та впливу особливостей поверхні на їх фізичні властивості. На підставі отриманих результатів показано, що ріст плівок на полікристалічних підкладках  $\text{Al}_2\text{O}_3$  відбувається в 3 етапи. На першому етапі відбувається виникнення невеликих, хаотично орієнтованих кристалів. На другому етапі поодинокі кристали зростають, утворюючи сітчасту структуру. На третьому етапі вони зливаються, поглинаючи один одного, та утворюють суцільну плівкову структуру.

**Четвертий розділ** присвячено дослідженню структури та властивостей зразків сплавів Ni-Mn-Ga у вигляді масивних монокристалічних та полікристалічних плівкових зразків, особливостям мартенситних та магнітних фазових переходів у них в залежності від складу, структури та термообробки зразків. На основі N-подібної температурної залежності опору в області мартенситного переходу в плівках Ni-Mn-Ga розроблено і побудовано низькочастотний генератор, який дозволяє із високою точністю визначати температури прямого та зворотного мартенситних переходів та визначати характер пливу магнітного поля та інших зовнішніх факторів на характер мартенситних перетворень.

**В п'ятому розділі** проведено дослідження структури та властивостей сплавів Fe-Mn-Ga у вигляді масивних полікристалічних та плівкових зразків. Визначено, що у двофазному сплаві  $\text{Fe}_{50.1}\text{Mn}_{22.7}\text{Ga}_{27.2}$ , який містить антиферомагнітну  $\text{L}1_2$  та феримагнітну  $\text{L}2_1$  фазу, відсутня значна обмінна анізотропія. Електричний опір зразків Fe-Mn-Ga складається з опорів  $\text{L}2_1$  і  $\text{L}1_2$  фаз у вигляді залежності опору від температури, яка визначається співвідношення обох фаз. Одержані значення величини тунельного магнітоопору у магнітних тунельних контактах достатні для того, щоб використовувати сплав Fe-Mn-Ga на практиці як для виготовлення тунельних контактів, так і для побудови датчиків магнітного поля.

Всі основні висновки, які зроблені в дисертації, отримані здобувачем вперше і в повній мірі відображені в опублікованих роботах. Серед основних висновків особливу наукову значущість набувають наступні результати:

- ріст плівок на полікристалічних підкладках  $\text{Al}_2\text{O}_3$  відбувається в декілька етапів: 1) формування острівцевої структури, 2) утворення сітчастої структури, 3) утворення суцільної плівки;
- зміна розмірів зерна в плівках Ni-Mn-Ga призводить до зміщення температури фазових переходів та зміни магнітних та електрических властивостей плівок;
- розроблено алгоритм сегментації зображення поверхні плівок та визначення розмірів зерен;
- на основі температурної залежності опору в області мартенситного

переходу в плівках Ni-Mn-Ga розроблено і побудовано низькочастотний генератор, який дозволяє проводити температурне циклювання зразка, визначати вплив магнітного поля та інших зовнішніх факторів на характер мартенситних перетворень.

- на основі проведених досліджень виготовлено тунельні контакти з величиною магнітоопору 20% в магнітному полі 500 Е, що може бути використано для створення датчиків магнітного поля.

**Повнота викладу отриманих результатів і зроблених висновків в опублікованих роботах.** Вивчення опублікованих здобувачем наукових робіт дозволяє зробити висновок, що отримані результати та сформульовані в дисертаційній роботі висновки повною мірою опубліковані в 9 статтях наукових журналів, що входять до затвердженого МОН України переліку наукових фахових публікацій, в яких повинні бути опубліковані результати дисертації.

**Зauważення по дисертациї та автореферату.** По дисертаційній роботі є ряд питань і зауважень.

1. В Розділі 3 «Морфологія поверхні плівок Ni-Mn-Ga і Fe-Mn-Ga» на стор. 78 дисертації наведено розмір 10-12 нм кристалітів невідпалених плівок  $Ni_{49.5}Mn_{28}Ga_{22.5}$ . Як або яким методом визначали початковий розмір кристалітів?

2. У Розділі 4 «Структурні, електричні та магнітні властивості сплаву Ni-Mn-Ga» на стор. 90-91 проведено аналіз впливу магнітного поля до 6 кЕ на відносний опір плівок і сказано, що параболічний хід залежності опору від поля обумовлений тим, що напруженість магнітного поля менше поля насищення. Яке значення має поле насищення для дослідженого складу?

3. У Розділі 4 на рис. 4.12 (стор. 99) наведені температурні залежності частоти генератора, в котушці індуктивності якого знаходиться монокристал  $Ni_{50.9}Mn_{25.43}Ga_{19.67}$ . З цієї залежності видно різницю температур Кюрі  $T_C$  прямого та зворотного мартенситних переходів. Незрозуміло, чому в таблиці 4.7 наведено лише одне значення  $T_C$ .

4. У Розділі 4 дисертації на рис. 4.13 (стор. 100) наведені температурні залежності відносної магнітної проникності дослідженого монокристаля  $Ni_{50.9}Mn_{25.43}Ga_{19.67}$  в області мартенситного переходу та зроблено висновок, що обидві фази (мартенситна та аустенітна) знаходяться в феромагнітному стані. Що стало підставою для такого висновку?

5. Нажаль, текст дисертації містить технічні недоліки, помилки і неточності, наприклад:

- в дисертації присутня велика кількість скорочень, але дисертація не має структурної одиниці «Перелік умовних позначень»;

- кожен структурний елемент (Вступ, Основна частина, Висновки, Список використаних джерел) повинен починатися с наступної сторінки (див. стор. 3, 55, 77, 118, 137, 139);

- на стор. 68 дисертації не вказані номера таблиці та рисунку, на підставі яких проводиться аналіз експериментальних даних;

- невірно вказано номер таблиці 4.4 на стор. 69;

- деякі сторінки дисертації мають різний міжрядковий інтервал (див. стор. 74, 139-147).

Однак, зазначені вище зауваження не впливають достовірність і наукову цінність отриманих результатів і зроблених в дисертації висновків.

**Рекомендації щодо використання результатів і висновків дисертації.**

1. На основі температурної залежності опору зразків Ni-Mn-Ga розроблено генератор на мартенситному переході, який дозволяє з великою точністю визначати температури прямого і зворотного мартенситного переходу та вивчати вплив магнітного поля на параметри переходу.

2. Визначено практичну можливість і доцільність використання сплаву Fe-Mn-Ga для виготовлення магнітних тунельних контактів із заданими електричними характеристиками.

3. Розроблено програму сегментації атомно-силових зображень поверхні плівок Ni-Mn-Ga з використанням оригінальних алгоритмів, яка може бути застосована для аналізу мікроскопічних зображень поверхні плівкових зразків.

**Висновок про відповідність дисертації критеріям, встановленим Положенням про порядок присудження наукових ступенів.** Беручи до уваги все вищевикладене, вважаю, що дисертація Скірти Юрія Борисовича «Електричні та магнітні властивості сплавів Гейслера Ni-Mn-Ga та Fe-Mn-Ga поблизу точок фазового переходу» є завершеною кваліфікаційною науковою роботою, що містить нові науково обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень, та в якій на підставі виконаних автором експериментальних досліджень і аналізу отриманих результатів розв'язане завдання по встановленню закономірностей з впливу складу, структури, морфології мікроструктури, температури, магнітного поля на особливості мартенситних перетворень поблизу температур фазових переходів.

Дисертаційна робота відповідає всім вимогам Департаменту атестації кадрів МОН України, що пред'являються до робіт, які подаються на здобуття наукового ступеня кандидата наук, а її автор Скірта Юрій Борисович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.11 – магнетизм.

Офіційний опонент,  
провідний науковий співробітник відділу фазових перетворень  
Донецького фізико-технічного інституту  
ім. О.О. Галкіна НАН України,  
доктор фізико-математичних наук

Пашченко О.В.

Підпис Пащенка Олексія Валентиновича засвідчує.

Вчений секретар  
Донецького фізико-технічного інституту  
ім. О.О. Галкіна НАН України,  
кандидат технічних наук



Дмитренко В.Ю.