

УДК 537.611.3+537.622
+538.221+539.216.2

ISSN 1729-4428

О.В. Безус

Роль зародків в спін-переорієнтаційному фазовому переході першого роду

Донецький національний університет, 83001, Донецьк, вул. Університетська, 24, e-mail: coyote_mobile@mail.ru

Вивчено механізм спін-переорієнтаційного фазового переходу (СПФП). Досліджено зміну структури доменних меж при фазовому переході. Запропоновані відповідні експерименту моделі доменної структури (ДС). Показано, що фазовий перехід шляхом зародкоутворення в доменній межі викликає СПФП I роду з осьової фази в кутову фазу. Механізм СПФП не залежить від величини співвідношення між константами анізотропії.

Ключові слова: доменна структура (ДС), доменна межа (ДМ), анізотропія, спін-переорієнтаційний фазовий перехід (СПФП).

Стаття поступила до редакції 24.10.2012; прийнята до друку 15.06.2013.

Вступ

До наступного часу спін-переорієнтаційні фазові переходи (СПФП) добре вивчені тільки в кубічних ферогранатах. На відміну від кубічних ферогранатів ферит-гранатові плівки мають змішану анізотропію: окрім кристалографічної кубічної (K_1) існує одноосьова ростова анізотропія (K_u). Вісь ростової одноосьової анізотропії $\langle 111 \rangle$ орієнтована перпендикулярно площині плівки. Три осі кристалографічної анізотропії типу $\langle 111 \rangle$ орієнтовані під кутом до площини плівки. Відношення констант одноосьової і кубічної анізотропії та намагніченість насичення залежать від температури: $K_u/K_1(T)$ і $M_S(T)$. При температурі магнітної компенсації T_N і температурі Нееля T_N намагніченість насичення дорівнює нулю. Вплив змішаної анізотропії на поведінку доменної структури (ДС) вивчено ще недостатньо. ДС дуже чутлива до зміни магнітних характеристик плівок і віддзеркалює всі зміни анізотропії і намагніченості. У зв'язку з цим поведінка ДС поблизу критичної температури, де рівні магнітні моменти підграток (T_N) або змінюється анізотропія (T спінової переорієнтації), викликає особливий інтерес дослідників. Завдяки оптичній прозорості епітаксійних плівок ДС можна візуально спостерігати за допомогою ефекту Фарадея, а при

спінової переорієнтації застосовувати метод кольорової реєстрації. Тому плівки феритів-гранатів можуть бути використані у ролі модельного об'єкта для вивчення фазових переходів (ФП) та спін-переорієнтаційних фазових переходів.

У роботі [1] експериментально вивчено СПФП у ферит-гранатовій плівці. В [2] теоретично досліджено механізм СПФП. Показано, що зародком СПФП I роду є дефект плівки у вигляді 0-градусної межі. В [3] вивчена структура 0-градусної межі і знайдено енергетичний поріг переходу з 0-градусної межі в 180-градусну межу. Задача даної роботи – це визначення механізму СПФП на основі експериментальних досліджень [1]. Для вирішення цієї задачі використано метод моделювання доменних меж (ДМ).

Як для фундаментальної науки, так і для прикладної дуже важливо знати, що відбувається з ДС при зміні анізотропії, як змінюється доменна межа. Це актуальні дослідження. По-перше, СПФП можна використовувати при термомагнітному записі у точці спінової переорієнтації [4]. По-друге, поблизу СПФП багато фізичних величин (теплоємність, магнітна сприйнятливості, модуль Юнга, коефіцієнт загасання та ін.) мають аномалії [5]. Тому такий магнітний матеріал може обмежувати діапазон роботи технічного пристрою.

I. Опис результатів дослідження

Для вирішення поставленої задачі досліджується

вплив змішаної анізотропії на особливості доменних структур плівок феритів-гранатів з різною величиною одноосової анізотропії у температурному інтервалі $90\text{ K} - T_N$. В роботі приведені результати досліджень двох плівок. Обидві плівки мають розвинену поверхню $\langle 111 \rangle$ і коефіцієнт якості $Q > 5$. Плівка №1 зі слабкою одноосовою анізотропією складу $(YBi)_3(FeGa)_5O_{12}$ ($T_N = 421\text{ K}$, точка магнітної компенсації $T_C = 223\text{ K}$ і намагніченість насичення $T_N = 421\text{ K}$ при кімнатній температурі $4\pi M_S = 11 \cdot 10^{-3} \text{ Ґє}$) має осьову фазу у вузькому температурному інтервалі при $T > 360\text{ K}$. Плівка №2 з сильною одноосовою анізотропією складу $(TmBi)_3(FeGa)_5O_{12}$ ($T_N = 437\text{ K}$, $T_N = 120\text{ K}$, $4\pi M_S = 17,5 \cdot 10^{-3} \text{ Ґє}$ при кімнатній температурі) має осьову фазу в широкому температурному інтервалі при $T > T_N$. Вивчено особливості СПФП в цих плівках. На основі експериментальних даних побудовано моделі доменних структур і доменних меж.

1. Особливості ДС плівки №1 при зміні температури.

У інтервалі температур $T_1 - T_2$ (рис. 1) імпульсним магнітним полем, перпендикулярним площині плівки, формується ґратка ЦМД (рис. 2,А), потім магнітне поле вимикається. Можливість формування ЦМД свідчить про наявність в цій області температур осьової фази. На оранжевому полі спостерігаються темно-зелені ЦМД. Це дві осьові фази. При T_2 деякі ділянки доменної межі розширюються, і від цих ділянок по обидва боки спостерігається зміна кольору поля (від оранжевого до жовтого) і ЦМД (від темно-зеленого до зеленого) (рис. 2,Б). Відбувається СПФП першого роду з осьової фази в кутову фазу [6]. Зародком спі-

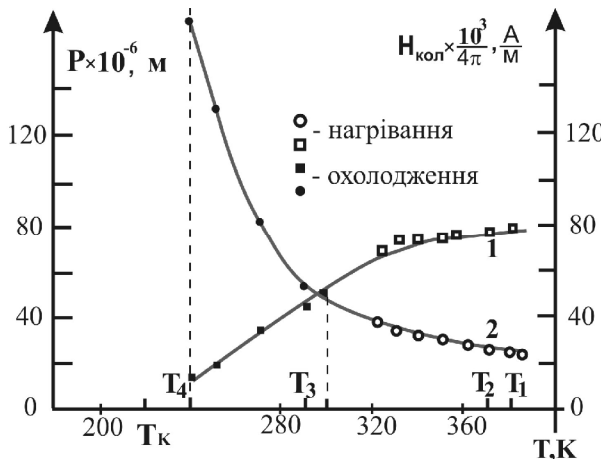


Рис. 1. Температурні залежності характеристик плівки №1: 1– поле колапсу; 2– період ДС.

переорієнтаційного фазового переходу є доменна межа. Та ділянка доменної межі ЦМД, ширина якої збільшилася, є зародком кутової фази. В самій ДМ відбувся фазовий перехід, який і ініціював СПФП у всьому зразку. Ці два фазові переходи взаємопов'язані. Співіснування осьової і кутової фаз спостерігається в інтервалі температур $\Delta T = 15^0$. Слід особливо підкреслити, що візуально межа між осьовою і кутовою фазами не спостерігається.

2. Особливості ДС плівки №2.

ґратка ЦМД сформована при 215 K. Одержано дві осьові фази \hat{O}_1 і \hat{O}_2 : оранжеві ЦМД на коричневому полі. При 185K деякі ділянки круглих меж ЦМД стали більш широкими. Поблизу цих ділянок змінився колір поля з коричневого на зелений, а ЦМД з оранжевого на білий. Це свідчить про початок процесу спінової переорієнтації і появу двох нових фаз, вектори намагніченості яких спрямовані під кутом до площини плівки: $\hat{O}_3 < \bar{1}\bar{1} \rangle$

– білий колір ЦМД і $\hat{O}_4 < \bar{1}\bar{1} \rangle$ – зелене поле. В плівці з сильною одноосовою анізотропією відбувається безгістерезисний СПФП з осьової фази в кутову фазу. Це СПФП першого роду [6]. Як і в зразку №1, зародком кутової фази є 180-градусна доменна межа. Фазовий перехід в ДМ ініціює СПФП. Область співіснування осьових і кутових фаз 25 K. Межа між осьовою і кутовою фазами не спостерігається.

3. Аналіз фазових переходів в доменній структурі.

Для пояснення експериментальних результатів проведено моделювання доменних меж. Оскільки експеримент показав, що СПФП з осьової фази в кутову фазу відбувається однаково в плівках з різною одноосовою анізотропією, то приведені моделі доменних структур тільки однієї плівки – плівки №1.

Запропоновані моделі ДС пояснюють її особливості в інтервалі $400 - T_N$ (рис. 3). В області

$T_1 - T_2$ (рис. 1) спостерігаються осьові фази $\hat{O}_1^i \hat{m} \hat{i} < \bar{1}\bar{1}\bar{1} \rangle$ і $\hat{O}_1^i \hat{m} \hat{i} < \bar{1}\bar{1}\bar{1} \rangle$. Доменна межа 180-градусна блохівська (рис. 3,А). При охолодженні до T_2 зменшується одноосова анізотропія. Під впливом кубічної анізотропії на деяких ділянках меж ЦМД змінюється орієнтація спінів. Це призводить до зміни орієнтації спінів в прилеглих до доменної межі областях, тобто спостерігається зміна кольору поля і ЦМД (рис. 2,Б). З'являються кутові фази $\Phi_1 < \bar{1}\bar{1}\bar{1} \rangle$ (жовта) і $\bar{\Phi}_1 < \bar{1}\bar{1}\bar{1} \rangle$ (зелена). Таким чином, під впливом кубічної анізотропії відбувається фазовий перехід в доменній межі, який у свою чергу викликає СПФП з осьової фази в кутову фазу у всьому зразку. В цьому випадку доменна межа осьової фази виступає зародком кутової фази. СПФП з осьової фази в кутову фазу відбувається шляхом зародкоутворення. Після фазового переходу доменна

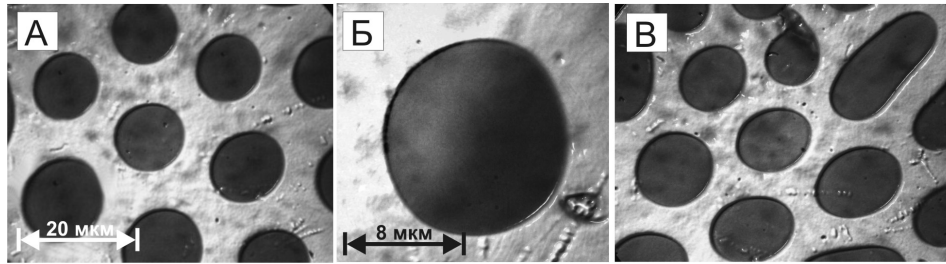


Рис. 2. Види ДС плівки № 1 при зміні Т: А– ґратка ЦМД, 370 К; В– ЦМД, 365К; С– ДС, 290 К.

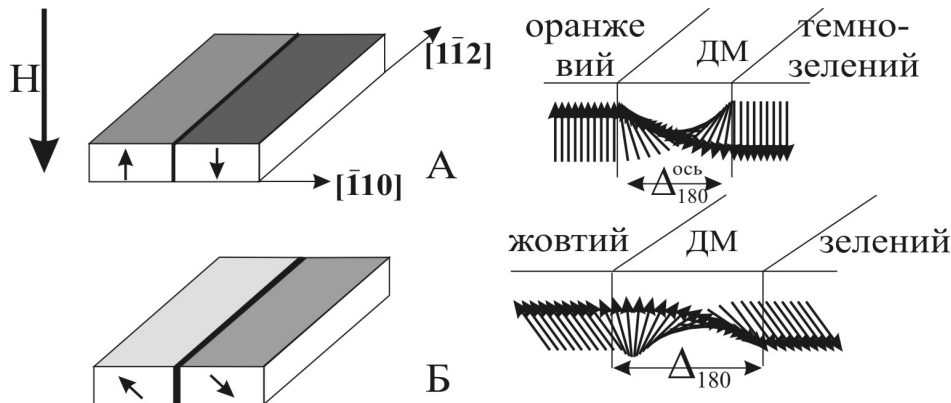


Рис. 3. Моделі доменних структур і розподіл намагніченості у доменній межі: А– 180° осьова; Б– 180° кутова.

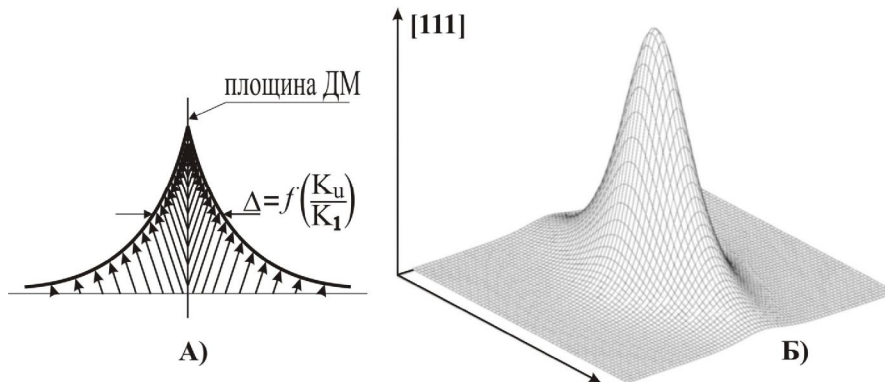


Рис. 4. Статичний солітон: А– розподіл спінів, В– трьохвимірне зображення.

межа залишилася 180-градусною, але її площина орієнтована під кутом до осі $\langle 111 \rangle$. В цьому випадку розворот спінів на 180 градусів відбувається в більш широкій ДМ (рис. 3,Б). Такий перехід в доменній межі відповідає мінімуму її енергії.

II. Обговорення результатів

Результати досліджень показали, що у зв'язку зі зміною величини співвідношення між константами анізотропії K_u/K_1 при зміні температури змінюється структура доменних меж та вид доменної структури, тобто відбуваються фазові переходи в доменних межах і спін-переорієнтаційні фазові

переходи. З'ясовано, що доменні межі найбільш чутливі до температурної зміни K_u/K_1 . Доменну межу можна розглядати як магнітну неоднорідність, в якій існує великий набір спінів різної орієнтації. При певній температурі відповідна орієнтація спінів в доменній межі виявляється енергетично найвигіднішою. Це і викликає процес перебудови, тобто фазовий перехід. Фазовий перехід в доменній межі викликає спін-переорієнтаційний фазовий перехід у всьому зразку. Характер фазового переходу в доменній межі визначає механізм СПФП.

Особливості спін-переорієнтаційного фазового переходу з осьової фази в кутову фазу пояснено уявленням про зародок нової фази як про статичний солітон, розміри якого ростуть зі зміною

співвідношення між константами анізотропії (рис. 4). В [2, 7] статичний солітон представлено як магнітну неоднорідність, густина розподілу спінів в якій зменшується з відстанню по експоненті. Така неоднорідність з певною орієнтацією спінів, яка відповідає кутовим фазам, виникає в центрі доменної межі. Оскільки густина розподілу спінів зменшується з відстанню по експоненті, то на межі розділу осьової і кутової фаз немає стрибка густини спінів кутової фази. Тому візуально межа між осьовою і кутовою фазами не спостерігається. Уявлення про зародок нової фази як про статичний солітон дає можливість зрозуміти характер фазового переходу в доменній межі і пояснити візуальну відсутність межі між осьовою і кутовою фазами. Вивчення механізму СПФП у зразках з різною величиною одноосьової анізотропії показали, що механізм спін-переорієнтаційного фазового переходу з осьової фази в кутову фазу не залежить від величини співвідношення між константами анізотропії.

безгістерезисного спін-переорієнтаційного фазового переходу першого роду з осьової фази в кутову фазу відбувається шляхом зародкоутворення. Зародком «нової» фази є межа початкової фази. Є температурний інтервал співіснування осьової і кутової фаз. Межа між осьовою і кутовою фазами не спостерігається. Відсутність межі між осьовою і кутовою фазами вперше пояснено уявленням про зародок нової фази як про статичний солітон, розміри якого ростуть зі зміною співвідношення між константами анізотропії. Експериментально показано, що спін-переорієнтаційний фазовий перехід з осьової фази в кутову фазу відбувається однаково в плівках з різною величиною одноосьової анізотропії. Механізм СПФП не залежить від величини співвідношення між константами анізотропії.

Безус О.В. - кандидат фізико-математичних наук, старший викладач кафедри загальної фізики та дидактики фізики.

Висновки

Візуально доведено, що механізм

- [1] A.V. Bezus, Ju.A. Mamalui, Ju.A. Siryuk. *Functional Materials* 15(2), 218 (2008).
- [2] Р.М. Вахитов, Е.Р. Гареева, М.М. Вахитова. *ФНТ* 32(2), 169 (2006).
- [3] Е.Б. Магадеев, Р.М. Вахитов, *ДАН* 439(3), 329 (2011).
- [4] А.М. Балбашов, А.Я. Червоненкис, *Магнитные материалы для микроэлектроники* (Энергия, Москва, 1979).
- [5] К.П. Белов, А.К. Звездин, А.М. Кадомцева, Р.З. Левитин, *Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках* (Наука, Москва, 1979).
- [6] Ю.А. Мамалуй, Ю.А. Сирюк, А.В. Безус, А.А. Леонов, *ФТТ* 46(2), 277 (2004).
- [7] Р.М. Вахитов, А.Р. Юмагузин, *ФТТ* 43(1), 65 (2001).

A.V. Bezus

The Role of Nucleus in First-Order Spin-Reorientation Phase Transition

Donetsk National University, 24 Universitetskaya str., Donetsk 83001, Ukraine

The mechanism of spin-reorientation phase transition (SRPT) in ferrite-garnet films has been studied. Changes in structure of domain boundaries during phase transition have been investigated. Domain structure (DS) models appropriate for the experiment are proposed. It has been shown that the phase transition through nucleation in the domain boundary induces the first-order phase transition from axial to angular phase. The SRPT mechanism does not depend on the value of ratio between anisotropy constants.

Keywords: domain structure, domain boundary, anisotropy, spin-reorientation phase transition.