

©1993

ЭФФЕКТ ХОЛЛА И ПЕРЕХОД В НЕКОЛЛИНЕАРНОЕ СОСТОЯНИЕ В ФЕРРИМАГНИТНЫХ АМОРФНЫХ ПЛЕНКАХ Dy-Co В СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Б.П.Хрусталева, В.Г.Поздняков, Г.И.Фролов

Возможность использования аморфных $3d-4f$ пленок в качестве сред для магнитооптической записи информации [1] привлекает интерес исследователей к изучению их магнитных свойств. Считается, что магнитная структура таких пленок может быть представлена двухподрешеточной моделью ферримагнетика [2]. При этом большая локальная магнитная анизотропия, присущая $4f$ магнетикам, приводит к сильному случайному угловому разбросу магнитных моментов редкоземельной подрешетки.¹ Хотя такая модель магнитной структуры косвенно подтверждается наличием точки магнитной компенсации, обоснованность использования ее далеко не очевидна.

Нам представляется важным обнаружение и исследование в аморфных $3d-4f$ пленках индуцированных сильным магнитным полем спин-переориентированных переходов в неколлинеарное состояние ("схлопывание" подрешеток). Теория таких переходов для ферримагнетиков с точкой магнитной компенсации подробно развита в работах [3-5], где, в частности, рассмотрен простой одноосный ферримагнетик, в котором внутриврешеточный обмен в редкоземельной подрешетке пренебрежимо мал, $3d$ подрешетка намагничена обменным полем $H_{3d} - H_{3d}$ до насыщения, а $4f$ подрешетка представляет собой идеальный парамагнетик, находящийся во внешнем поле и обменном поле, созданном $3d$ подрешеткой $H_{4f-3d} = \lambda J_{3d}$ (J_{3d} — намагниченность подрешетки переходного металла).

Обнаружение таких переходов и сопоставление экспериментальных результатов с теорией позволили бы, с одной стороны, ответить на вопрос о возможности описания магнитной структуры исследуемых пленок указанной моделью двухподрешеточного ферримагнетика, а с другой стороны, при достаточно корректном совпадении экспериментальных результатов с теорией определить константу междодрешеточного обменного взаимодействия λ .

В [6] мы представили первые результаты по исследованию температурной и полевой зависимости намагниченности для пленок Dy-Co с точ-

¹ Такая угловая дисперсия не наблюдается (или мала), если используется $4f$ элемент с $S = 0$ состоянием (например, Gd).

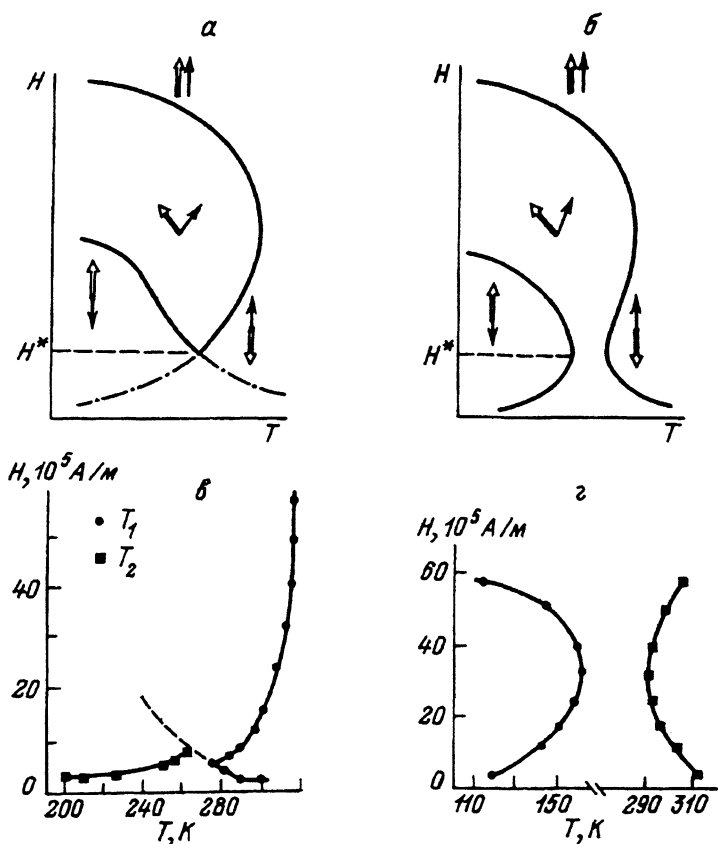


Рис. 1. Фазовые диаграммы одноосного ферримагнетика в полях, параллельных ОЛН (а) и перпендикулярных ОЛН (б) [5]. Экспериментальные $H - T$ диаграммы, полученные из измерений намагниченности при $H \parallel$ ОЛН для пленки $Dy_{21.7}Co_{78.3}$ [6] (в), эффекта Холла при $H \perp$ ОЛН для пленки $Dy_{26.8}Co_{73.2}$ (г).

кой магнитной компенсации в сильных магнитных полях, направленных вдоль оси легкого намагничивания (ОЛН), интерпретированные как индуцированный полем переход в неколлинеарную фазу. Фазовая $H - T$ диаграмма переходов, полученная в этих экспериментах, качественно совпала с теоретической фазовой диаграммой (рис. 1, а, б), что позволило определить константу межподрешеточного взаимодействия $\lambda \approx 200$.

В данной работе мы приводим результаты, в которых переход в неколлинеарное состояние в аморфных пленках $Dy-Co$ наблюдался по изменению эдс Холла.

Исследования проводились на аморфных пленках, полученных методом одновременного напыления диспрозия и кобальта из разных тиглей на кварцевую подложку в вакууме. Толщина пленок ($\sim 700 \text{ \AA}$) и их состав определились с помощью рентгеноспектрального анализа. Серебряные токовые и потенциальные контакты также напылялись в вакуумной камере без нарушения вакуумного цикла после напыления пленки. Магнитное поле создавалось с помощью установки сильного стационарного магнитного поля с водоохлаждаемым соленоидом биттеровского типа [7]. Измерение эдс Холла проводилось стандартным методом.

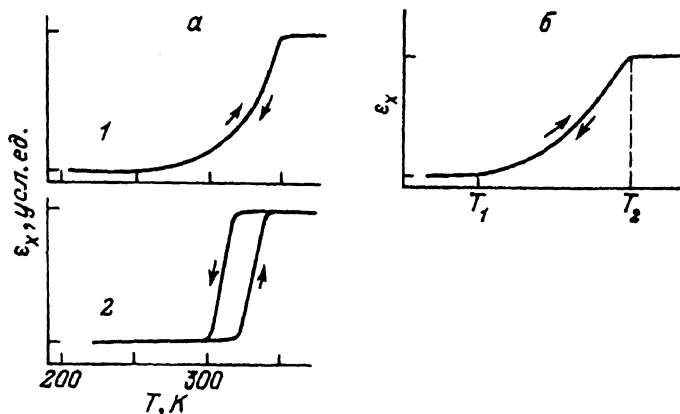


Рис. 2. а — температурные зависимости эдс Холла в разных полях для пленки $\text{Dy}_{22}\text{Co}_{78}$. $H \parallel \text{ОЛН}$. $H = 5.6 \cdot 10^5$ (1) и $4 \cdot 10^5$ А/м (2). б — типичная температурная зависимость эдс Холла при $H \perp \text{ОЛН}$. T_1 и T_2 — точки фазовых переходов.

Типичные температурные зависимости эдс Холла для пленки с перпендикулярной анизотропией (ОЛН перпендикулярна плоскости пленки) приведены на рис. 2,а. Магнитное поле при этих измерениях было направлено вдоль ОЛН. При измерениях в полях H , меньших некоторого поля H^* , наблюдается температурный переход, сопровождаемый гистерезисом, что позволяет отнести его к фазовому переходу I рода. При измерениях в больших полях гистерезис отсутствует (переход II рода).

Так как эдс Холла определяется в основном намагниченностью кобальтовой подрешетки J_{Co} , температурной зависимостью которой в исследуемом интервале можно пренебречь, то изменения эдс Холла можно отнести лишь за счет изменения ориентации J_{Co} . Таким образом, температурам резких переходов на кривых эдс Холла соответствуют температуры перехода через соответствующие линии на фазовой диаграмме рис. 1,а, приведенного для данной геометрии эксперимента.

Действительно, если измерения проводятся в полях $H < H^*$, то при изменении температуры дважды пересекаются линии переходов I рода, а при измерении в полях $H > H^*$ при изменении температуры проходит область неколлинеарного состояния, отделенная от областей с коллинеарным состоянием линиями перехода II рода. Определенное из эксперимента значение H^* составляет $1 \cdot 10^6$ А/м (12 кЭ).

Из значения H^* можно оценить величину λ , используя простое соотношение [5]:

$$H^* \sim \sqrt{H_A H_E} = \sqrt{2K\lambda},$$

где $H_A = 2K/J_{\text{Co}}$ — поле анизотропии, K — константа анизотропии, J_{Co} — намагниченность кобальтовой подрешетки, $H_E = H_{\text{Dy-Co}} = \lambda J_{\text{Co}}$ — обменное поле. Используя измеренное по петлям гистерезиса значение $K \sim 4 \cdot 10^5$ эрг/см³ [6], получаем $\lambda \simeq 180$. Полученное значение хорошо согласуется с приведенным выше значением $\lambda \simeq 200$.

Температурная зависимость эдс Холла для пленки, у которой ОЛН лежит в ее плоскости, приведена на рис. 2,б. Температуры перехода II рода T_1 и T_2 зависят от величины поля, в котором проводились измерения. Эта зависимость приведена на рис. 1,г. Видно, что качественно она со-

впадает с теоретической фазовой диаграммой для данной геометрии эксперимента (рис. 1,б).

По координатам (положению) "узкого горла" также можно оценить эффективное значение константы λ , используя соотношение, связывающее ширину "узкого горла" ΔT с температурой компенсации T_k , и выражение для H^* [5]:

$$\frac{\Delta T}{T_k} \simeq 2\sqrt{H_A/H_E}, \quad H^* \simeq \sqrt{H_A H_E}.$$

Из этих соотношений получаем $H_E \simeq (2H^*T_k)/\Delta T$, что для λ дает $\lambda \simeq (2H^*T_k)/\Delta T J_{Co}$.

Подстановка значений $H^* \simeq 32 \cdot 10^5$ А/м $\simeq 40$ кЭ, $T_k \simeq 260$ К, $\Delta T \simeq 130$ К, $J_{Co} \simeq 10^3$ Гс дает $\lambda \simeq 160$. Полученное значение константы межподрешеточного взаимодействия также можно считать удовлетворительно совпадающим с приведенными выше значениями λ . Некоторая разница значений вполне может быть объяснена разными составами исследованных образцов.

Таким образом, из измерений как намагниченности [6], так и из эдс Холла можно сделать заключение о существовании в исследуемых аморфных $3d-4f$ пленках индуцированных магнитным полем спин-переориентационных переходов вблизи температуры магнитной компенсации. Основные особенности этих переходов описываются теорией [5] для двухподрешеточного ферримагнетика. Из сопоставления экспериментальных результатов с теорией проведена оценка константы межподрешеточного взаимодействия λ .

Список литературы

- [1] Середкин В.А., Фролов Г.И., Яковчук В.Ю. // ЖТФ. 1984. Т. 54. № 6. С. 1183-1185.
- [2] Aresse-Boggiano R., Chappert J., Coey J.D.M. et al. // J. de Physique. 1976 Т. 37. V. 12. P. C1-771-775.
- [3] Slarc A., Callen E. // J. Appl. Phys. 1968. V. 39. P. 5972.
- [4] Халтурин В.Н. // ФММ. 1986. Т. 41. № 2. С. 271-278.
- [5] Белов К.П., Звездин А.К., Кадомцева А.М., Левитин Р.З. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках. М.: Наука, 1979. 436 с.
- [6] Хрусталеv В.П., Поздняков В.Г., Фролов Г.И., Яковчук В.Ю. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 3. С. 112-118.
- [7] Khrustalev V.P. // IEEE Trans. on Magn. 1992. V. 28. № 1. P. 787-789.

Институт физики им.Л.В.Киренского
СО РАН
Красноярск

Поступило в Редакцию
29 октября 1992 г.