

СПИН-ПЕРЕОРИЕНТАЦИОННЫЙ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД В БАЗИСНОЙ ПЛОСКОСТИ В α -Fe₂O₃:Ga,Dy

Г.С.Патрин, Н.В.Волков, Е.В.Еремин

Институт физики им. Л.В.Киренского СО РАН
660036 Красноярск, Россия

Поступила в редакцию 21 марта 1996 г.

В кристаллах гематита, легированных ионами галлия и диспрозия, в области температур $T = 15 - 20$ К обнаружены спин-переориентационный фазовый переход в базисной плоскости, индуцируемый внедрением ионов диспрозия. Эффект связан с конкуренцией полей анизотропии, возникающих от железной и редкоземельной подсистем.

PACS: 75.30.Kz

В классе магнитоупорядоченных веществ спин-переориентационные переходы-явление довольно распространенное. Наиболее ярко они проявляются в редкоземельных (РЗ) кристаллах, таких как ортоферриты и ферриты-гранаты [1]. В силу специфики строения этих кристаллов содержание РЗ (как элементный состав, так и количество) может варьироваться в широких пределах, что ведет к богатому разнообразию наблюдаемых эффектов.

Среди ромбоэдрических слабых ферромагнетиков типа "легкая плоскость" это явление носит, скорее, исключительный характер, чем систематический. Известно лишь два примера спин-переориентационного перехода в базисной плоскости. Это кристалл FeVO₃ [2], где причиной перехода является кроссовер между уровнями примесных ионов Fe²⁺ [3], и кристалл α -Fe₂O₃:Co,Si [4], где в рамках феноменологического описания авторы объясняют эффект конкуренцией анизотропий, возникающих от внедрения ионов Co²⁺ и Fe²⁺, появление которых провоцируется введением ионов Si⁴⁺.

В настоящей работе сообщается о наблюдении спин-переориентационного фазового перехода в базисной плоскости в кристалле α -Fe₂O₃:Ga,Dy и исследуются его особенности.

Измерения были выполнены на образцах гематита, выращенных в висмут-натриевом растворителе. Ионы галлия вводились с целью устранения перехода Морина в интересующей нас области температур. Их содержание составляло 5 ат.% во всех исследованных кристаллах. Содержание ионов диспрозия было 0.05 ат.%. Исследования проводились методом антиферромагнитного резонанса (АФМР) на частоте СВЧ излучения $f = 35$ ГГц. Образцы представляли собой пластинки толщиной $t \sim 0.1$ мм и средним поперечным размером $d \sim 1.5$ мм. Постоянное магнитное поле лежало в базисной плоскости образца.

При проведении измерений температурных зависимостей резонансного поля (H_r) АФМР на образцах α -Fe₂O₃:Ga,Dy, было зафиксировано, что в районе $T = 15 - 20$ К имеет место пересечение зависимостей, соответствующих различным направлениям магнитного поля относительно выбранной кристаллографической оси (см. рис.1, кривые 1 и 2). Это послужило указанием на возможный фазовый переход. Для выделения вклада от РЗ подсистемы мы провели эксперименты на кристаллах, не содержащих ионы диспрозия

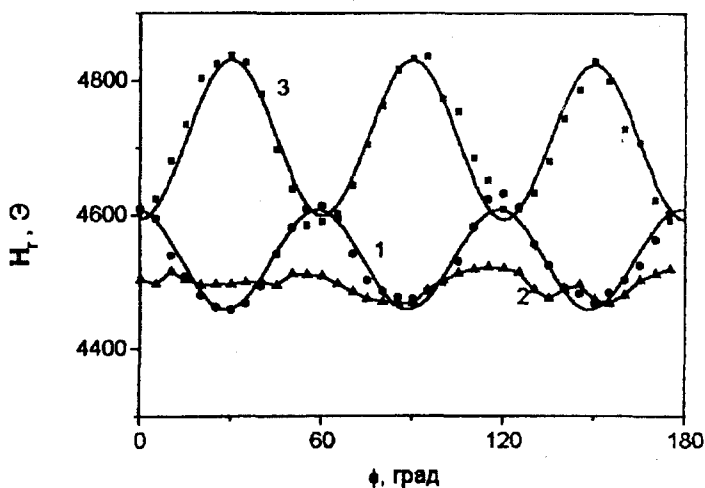


Рис.1. Температурные зависимости резонансного поля (H_r) кристаллов $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 : \text{Ga}, \text{Dy}$ (кривые 1 и 2) (кривые 3, 4). Кривые 1, 4 - $\varphi = 30^\circ$, 2, 3 - $\varphi = 60^\circ$. Угол φ отсчитывается от оси второго порядка в базисной плоскости. На вставке - фрагмент температурной зависимости H_r в зависимости от направления развертки для $\varphi = 30^\circ$

и имеющих ширину линии АФМР около 40Э. На рис.1 (кривые 3 и 4) проведены зависимости H_r для соответствующих направлений для кристалла $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 : \text{Ga}$. Как видно, при низких температурах нет никаких особенностей, связанных обычно с присутствием ионов двухвалентного железа из-за кислородной нестехиометрии [5]. В данном случае температурная зависимость константы магнитной кристаллографической анизотропии в базисной плоскости удовлетворительно описывается зависимостью, рассчитанной в [6] с учетом одноионной анизотропии только ионов Fe^{3+} . Легирование другими ионами, например Si^{4+} , индуцирует появление ионов Fe^{2+} , однако и в этом случае характер хода температурных зависимостей отличается от кривых 1 и 2 на рис.1. Стало быть, такое своеобразное поведение образцов $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 : \text{Ga}, \text{Dy}$ обязано присутствию ионов диспрозия.

Для установления типа перехода были выполнены измерения угловых зависимостей резонансного поля. Рис.2 демонстрирует эти зависимости. Из сравнения кривых 1 и 2 видно, что при повышении температуры, но в области ниже температуры перехода (T_{ph}), величина H_r уменьшается и, проходя через нуль при $T = T_{ph}$, снова увеличивается. При этом в области температур $T > T_{ph}$ минимум и максимум поменялись местами (кривая 3). Иначе говоря, в данном кристалле, в отличие от кристалла FeVO_3 , имеет место не поворот оси легкого намагничивания, а, если пользоваться феноменологическим описанием, происходит смена знака константы магнитной кристаллографической анизотропии в базисной плоскости. При переходе через $T = T_{ph}$ легкое направление становится трудным, и наоборот. Гистерезис величины резонансного поля в окрестности T_{ph} при изменении направления температурной развертки (смотрите вставку на рис.1) дает основание классифицировать наблюдаемый эффект как фазовый переход первого рода. Следует заметить, что сигналы от кристаллов с ионами Dy и без них, при прочих равных условиях, имеют

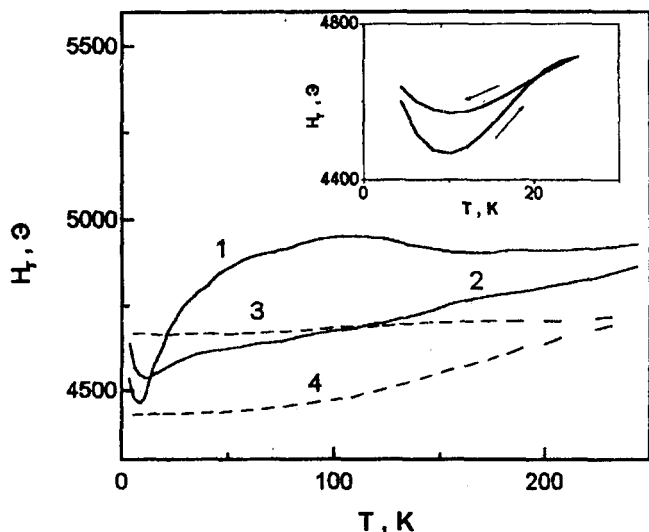


Рис.2. Ориентационные зависимости H_T кристалла $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 : \text{Ga}, \text{Dy}$. Кривая 1 - $T = 7\text{K}$, 2 - $T = 12\text{K}$, 3 - $T = 36\text{K}$

практически совпадающие интенсивности. Значит, в обоих случаях магнитные моменты лежат в базисной плоскости кристалла и введение ионов диспрозия не выводит магнитный момент из плоскости.

Известно [7], что в кристаллах $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ось трудного намагничивания совпадает с осью симметрии второго порядка в базисной плоскости. Легирование только ионами галлия ситуацию не меняет. В кристаллах $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 : \text{Ga}, \text{Dy}$ спин-переориентационный фазовый переход в базисной плоскости может либо определяться электронной структурой иона Dy^{3+} , либо быть обусловлен конкуренцией полей анизотропии между железной и редкоземельной подсистемами. Первый случай представляется маловероятным, поскольку, например, в известном оксидном соединении иттрий-диспрозиевом феррите-гранате [8] ион трехвалентного диспрозия имеет конфигурацию $4f^9$ и показывает квазиинзинговский характер поведения. Для этого случая в поле орторомбической симметрии основной дублет имеет свое минимальное значение $|\langle J_z \rangle|$, величина которого для других дублетов растет по мере продвижения вверх по энергетической шкале, достигая максимального значения при $\Delta E \sim 150\text{см}^{-1}$, и затем снова медленно уменьшается. Расстояние между дублетами составляет примерно 50см^{-1} , а величина обменного взаимодействия иона Dy^{3+} с подсистемой ионов железа - порядка единиц обратных сантиметров. Поэтому при движении по температуре нет веских оснований ожидать каких-либо резких изменений.

Если предположить, что реализуется второй случай, то при $T < T_{ph}$ преобладающим является вклад от железной подсистемы, а при $T > T_{ph}$ - от редкоземельной. Отсюда следует, что локальная ось квантования от ионов диспрозия направлена вдоль оси второго порядка в базисной плоскости. Ситуация, когда при $T < T_{ph}$ преобладающим является редкоземельный вклад, не позволяет объяснить температурный ход H_T .

Правильность того или иного заключения может быть установлена при сравнении эксперимента с данными расчета структуры энергетических уровней

ионов Dy^{3+} с учетом особенностей распределения примесей в кристаллической матрице $\alpha-Fe_2O_3$.

Авторы считают своим долгом поблагодарить Г.Н.Степанова за помощь при синтезе монокристаллов гематита и Г.В.Бондаренко за рентгенофлуоресцентный анализ образцов.

-
1. К.П.Белов, А.К.Звездин, А.М.Кадомцева, Р.З.Левитин. *Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках*, М.: Наука, 1979.
 2. В.Д.Дорешев, И.М.Крыгин, С.Н.Лукин и др., Письма в ЖЭТФ **29**, 286 (1979).
 3. Г.С.Патрин, Д.А.Великанов, Г.А.Петраковский. ЖЭТФ **103**, 234 (1993).
 4. Г.А.Петраковский, А.И.Панкрац, В.М.Соснин, В.Н.Васильев, ЖЭТФ **85**, 691 (1983).
 5. G.S.Patrin, G.A.Petrakovskii, & N.V.Volkov, Phys. St. Solidi (a) **124**, 335 (1991).
 6. В.В.Руденко, ФТТ **22**, 775 (1980).
 7. P.J.Besser, A.H.Morrish, & C.W.Searle, Phys. Rev. (B)**153**, 632 (1967).
 8. А.К.Звездин, В.М.Матвеев, А.А.Мухин, А.И.Попов, *Редкоземельные ионы в магнитоупорядоченных кристаллах*, М.: Наука, 1985.