

ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ЗАВИСИМОЕ ФОТОИНДУЦИРОВАННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ АФМР $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$: Eu, Ga

Г. С. Патрин, Н. В. Волков, Г. А. Петраковский

В монокристаллах гематита, содержащих ионы европия, в слабоферромагнитной фазе обнаружено фотоиндуцированное изменение магнитных свойств, зависящее от поляризации возбуждающего света. Эффект наблюдается при температурах $T < 70$ К. Обсуждается возможный механизм фотомагнитных взаимодействий.

В настоящее время известны различные изменения магнитных свойств магнетиков при оптическом облучении. Для фотомагнитных материалов, где фоточувствительными центрами являются редкоземельные ионы, наблюдаются весьма интересные и разнообразные проявления: образование нового магнитного состояния в EuCrO_3 ¹; фотоиндуцированный спин-переориентационный переход в ErCrO_3 ²; влияние фотовозбужденных состояний ионов гольмия, находящихся в динамическом равновесии с полем оптического излучения, на магнитное состояние кристалла $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ³. Все эти эффекты имеют место при низких температурах, что обусловлено особенностями электронного строения РЗ-ионов.

Монокристаллы гематита и влияние различных примесей на их свойства довольно подробно изучены и представлены в литературе. Однако практически нет данных о свойствах этих кристаллов при легировании их ионами редких земель. Мы исследовали слабоферромагнитные монокристаллы гематита, содержащие РЗ-ионы. Одновременно с введением редкоземельных ионов добавили ионы галлия, которые как известно⁴, понижают температуру перехода Морина, тем самым расширяя область существования слабоферромагнитной фазы.

Для измерений были использованы монокристаллы $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$: Eu (0,035% ат.), Ga (5% ат.), выращенные из раствора в расплаве. Состояние магнитной системы контролировалось по параметрам АФМР на частоте СВЧ излучения $f = 35$ ГГц. Оптическая накачка осуществлялась белым светом от лампы накаливания. Направление распространения света было перпендикулярно направлению внешнего магнитного поля.

Было обнаружено, что кристаллы $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$: Eu, Ga, в отличие от ранее исследованных примесных кристаллов гематита^{5,6}, изменяют свое магнитное состояние при облучении поляризованным светом. На рис. 1 приведены температурные зависимости значения резонансного поля $H_{\text{рез}}$ до и после облучения. Кривая 2 получена в случае, когда векторы постоянного магнитного поля \mathbf{H}_0 и электрического поля \mathbf{E} световой волны были параллельными. Видно, что в результате такого облучения происходит увеличение резонансного поля. Кривые резонансного поля до и после облучения сливаются в районе температуры $T_f \leq 65 \div 70$ К. После облучения форма линии СВЧ поглощения не меняется. Максимальная величина фотоиндуцированного изменения не зависит от мощности оптического излучения, от нее зависит лишь время выхода на уровень насыщения. Возникающее фотоиндуцированное состояние не зависит от предьстории, а определяется исключительно направлением плоскости поляризации оптического излучения относительно направления магнитного поля. Однако после выключения света происходит релаксация магнитного состояния, что проявляется как уменьшение сдвига резонансного поля на $15 \div 20$ процентов и это значение сохраняется сколь угодно долго. Облучение, когда $\mathbf{H}_0 \perp \mathbf{E}$ возвращает все в исходное состояние.

На рис. 2 представлено изменение величины резонансного поля в зависимости от угла θ между направлением магнитного поля и плоскостью поляризации оптического излучения. При фиксированной температуре T эта зависимость хорошо описывается выражением

$$H_{\text{рез}}(T, \rho) = H_{\text{рез}}^0(T) + h(T, \rho) \cos^2 \theta, \quad (1)$$

здесь $H_{рез}^0(T)$ – значение резонансного поля в отсутствие оптической накачки, $h(T, \rho)$ – максимальный сдвиг резонансного поля, ρ – плотность оптического излучения. Такая зависимость имеет место независимо от направления внешнего магнитного поля относительно кристаллографических осей в базисной плоскости. Известно, что вероятность оптического перехода центра между состояниями $|m\rangle$ и $|n\rangle$ в электродипольном приближении определяется соотношением

$$W_{nm} \sim |\langle m | \mathbf{d} \mathbf{E} | n \rangle|^2, \quad (2)$$

где \mathbf{d} – электродипольный момент поглощающего центра. Если в простейшем случае невзаимодействующих между собой центров величина фотоиндуцированного сдвига пропорциональна количеству фотовозбужденных центров, то, из сравнения выражений (1) и (2) следует, что электродипольный момент фотоцентра совпадает с направлением внешнего магнитного поля. Увеличение значения резонансного поля при облучении и его релаксация после выключения света указывают, что в результате облучения магнитная система переходит в возбужденное метастабильное состояние. Основное состояние достигается лишь после облучения когда $\mathbf{E} \perp \mathbf{H}_0$.

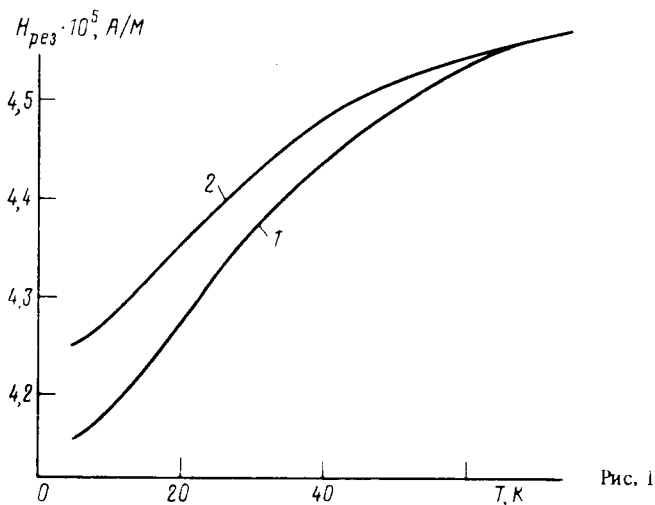


Рис. 1

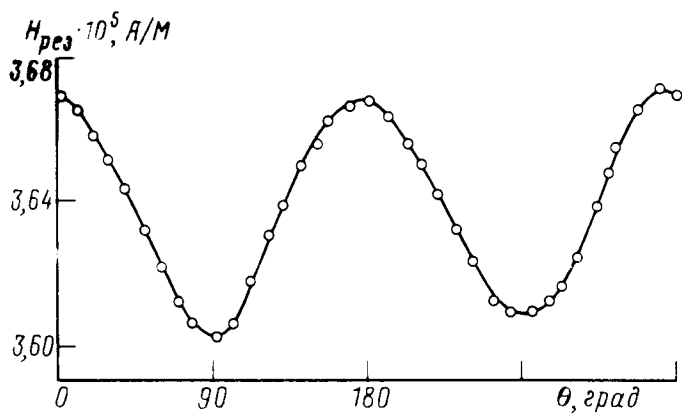


Рис. 2

Рис. 1. Температурные зависимости резонансного поля: 1 – исходный образец, 2 – после облучения при $\mathbf{E} \perp \mathbf{H}_0$

Рис. 2. Зависимость резонансного поля при изменении угла θ между плоскостью поляризации света и направлением магнитного поля

Такой характер фотоиндуцированных изменений мы связываем с фоточувствительными комплексами, которые возникают из-за присутствия ионов европия. Так кристаллы гематита, легированные только ионами галлия, показывают совершенно иную реакцию на оптическое облучение⁶. Отметим, что в исследованных кристаллах, содержащих ионы европия, отсутствуют низкотемпературные аномалии в температурных зависимостях ширины линии и резонансного поля, которые связываются с присутствием ионов двухвалентного железа. Можно предположить, что в настоящем случае дефицит кислорода компенсируется возникновением двухвалентного европия (и это уменьшает вероятность появления ионов Fe^{2+}).

Следует обратить внимание на факт, что температура T_f для $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 : \text{Eu, Ga}$ попадает в область температур, где у нестехиометричных кристаллов EuO_x наблюдаются аномалии электрических свойств. Последние объясняются наличием примесных магнитных центров типа – ион трехвалентного европия и электрон, захваченный в поле кислородной вакансии⁷. В последнем случае изменение электрических свойств связано с перестройкой примесного центра и носит активационный характер.

Для интерпретации полученных экспериментальных результатов предлагается следующая модель. В качестве фоточувствительного центра рассматривается комплекс, состоящий из кислородной вакансии и иона двухвалентного европия, обменно связанного с матрицей. В силу очень малой анизотропии иона Eu^{2+} направление внешнего магнитного поля является выделенным направлением для такого комплекса, что, в свою очередь, накладывает условия на правила отбора для оптических переходов. При поглощении света, по-видимому, оптический переход является внутрицентровым, т.к. в случае возбуждения такого центра путем безызлучательного переноса энергии в результате поглощения света системой ионов железа вся информация о поляризации возбуждающего излучения потеряется.

Предполагается, что фотозлектрон в возбужденном состоянии захватывается полем кислородной вакансии и, как результат, образуется центр типа Eu^{3+-e} .

Авторы выражают благодарность А.П.Долгареву и Г.В.Бондаренко за рентгеновский анализ исследованных образцов.

Литература

1. Головенниц Е.И., Санина В.А. ЖЭТФ, 1981, 80, 1911.
2. Susumi Kurita, Yoshihura Tazaka, Kuniro Tsushima, J. Phys. Soc. Jap., 1987, 56, 612.
3. Петраковский Г.А., Патрин Г.С. ЖЭТФ. 1986. 90, 1769.
4. Васильев В.Н., Смык А.А., Бондаренко Г.В. В сб.: Магнитные и резонансные свойства магнитоэлектриков. Красноярск. ИФ СО АН СССР. 1985. с. 165.
5. Патрин Г.С., Петраковский Г.А., Волков Н.В. ФТТ, 1988, 30, 1851.
6. Патрин Г.С., Волков Н.В. Тезисы докладов. 3-ий Семинар по функциональной магнитоэлектронике. Красноярск. 1988, 47.
7. Метфессель З., Маттис Д. Магнитные полупроводники. М.: Мир, 1972, 405 с.

Институт физики им. Л.В.Киренского
Сибирского отделения Академии наук СССР

Поступила в редакцию
22 июня 1990 г.