

СКВИД-ИССЛЕДОВАНИЯ ФОТОИНДУЦИРОВАННОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ В МОНОКРИСТАЛЛЕ γ -Fe₂O₃:Zn

Г.С.Патрин, Д.А.Великанов

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

Поступила в редакцию 9 июня 1995 г.

В ферромагнитном монокристалле γ -Fe₂O₃, легированном ионами цинка, на СКВИД-магнитометре обнаружено фотоиндуцированное изменение намагниченности (Δm_1). Эффект наблюдается при температурах $T \leq 60$ К. Из анализа особенностей температурных зависимостей Δm_1 установлено, что детектируемые изменения связаны с перераспределением населенностей подуровней основного мультиплета ионов Fe²⁺ в цикле оптической накачки, ведущем к эффективному охлаждению спиновой подсистемы фотоцентров.

Применение методов СКВИД-техники к проблемам магнетизма открыло новые возможности в исследовании в области малых магнитных полей и слабомагнитных веществ. Такое важное преимущество СКВИД-магнитометра, как независимость его чувствительности от уровня сигнала, на фоне которого детектируются индуцируемые изменения, отличает его от силовых методов измерения магнитных характеристик при исследовании взаимодействий, индуцированных внешними воздействиями. Одним из направлений, где можно реализовать преимущества этого метода, является фотомагнетизм. В этом направлении можно отметить работы, связанные с изучением влияния оптического излучения на магнитные свойства полумагнитных полупроводников системы (MeMn)X, где X=S, Me=Eu, Zn, Cd [1] или X=Te, а Me=Hg, Cd [2].

В магнитоконцентрированных веществах измерение магнитной восприимчивости традиционными методами при оптическом облучении не дает детальной информации о природе фоточувствительных комплексов и механизме перестройки их энергетической структуры, поскольку либо не хватает чувствительности метода, либо эффект маскируется более мощным процессом магнитной перестройки. Так на образцах ферритов-шпинелей был выполнен ряд экспериментов [3-6] по исследованию фотомагнитного эффекта, где авторы объясняют фотоиндуцированные изменения перестройкой доменной структуры, а механизм связывается с переносом заряда между разновалентными ионами одного химического элемента.

В настоящей работе мы сообщаем об обнаружении фотомагнитного эффекта в монокристаллах γ -фазы полуторной окиси железа, застabilизированной внедрением ионов цинка, и приводим результаты экспериментальных исследований, откуда также видны возможности СКВИД-техники применительно к изучению малых изменений в сильно магнитном веществе.

Эксперименты проводились на установке, описанной в работе [7]. Образец имел форму пластинки размером $1 \times 1,5 \times 0,2$ мм³, плоскость которой совпадала с кристаллографической плоскостью типа (111). Оптический луч от лазера с $\lambda = 0,63$ мкм был направлен вдоль оси $\langle 111 \rangle$ и был параллелен внешнему магнитному полю. Образцы магнетита были получены по технологии, описанной в [8], содержание ионов цинка составляло ~ 10 вес%.

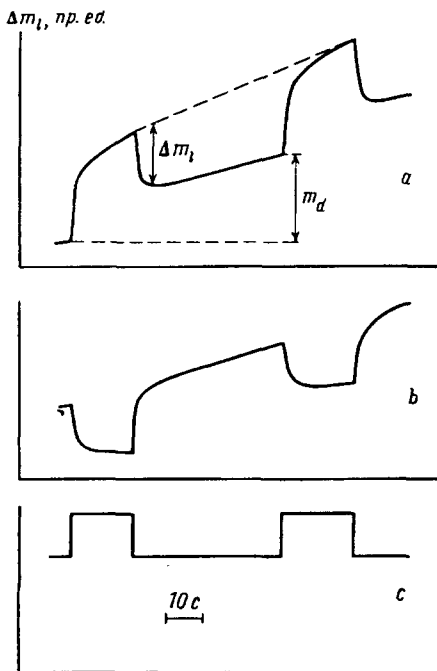


Рис.1. Временное изменение намагниченности: а – $T = 11 \text{ K}$, $H = 100 \text{ Э}$; б – $T = 17 \text{ K}$, $H = 300 \text{ Э}$; в – импульс света; m_d – доменная перестройка, Δm_1 – фотоиндуцированное изменение

В эксперименте измерялось изменение составляющей магнитного момента на направление внешнего магнитного поля. Рис.1 иллюстрирует временное изменение намагниченности при оптическом облучении. При проведении измерений магнитопольевых зависимостей после установления нового значения магнитного поля наблюдается дрейф величины магнитного момента (m_d) (во времени порядка нескольких минут), связанный с перестройкой доменной структуры и служивший фоном, от которого отсчитывались фотоиндуцированные изменения. Величина m_d и скорость ее изменения зависят от термомагнитной предыстории. При включении импульса света (см. рис.1c) на фоне m_d наблюдается сигнал Δm_1 , величина которого выходит на насыщение в течение секунды. После выключения света Δm_1 релаксирует примерно с тем же временем (см. рис.1a и б). Знак Δm_1 зависит от температуры измерения, а величина Δm_1 , при фиксированной T , зависит от магнитного поля и мощности оптической накачки. Величина Δm_1 , отмеченная на рис.1, практически не зависит от значения и скорости изменения m_d , оно имеет одно и то же значение и в начальный момент, и когда m_d выходит на насыщение. При этом включение и выключение света влияют на процесс доменной перестройки, а следовательно, и на скорость изменения m_d .

На рис.2 приведены температурные зависимости фотоиндуцированной части изменения магнитного момента, снятые в разных магнитных полях (точность измерения не выходит за размер значка на графиках). Как видно из рисунка, при изменении температуры имеет место смена знака эффекта, и это является новым моментом в проявлении фотомагнетизма для оксидных шпинелей. Температура смены знака, а также температуры экстремальных значений Δm_1 зависят от величины магнитного поля. Отношение величин Δm_1 при температурах, соответствующих максимальному положительному значению, к

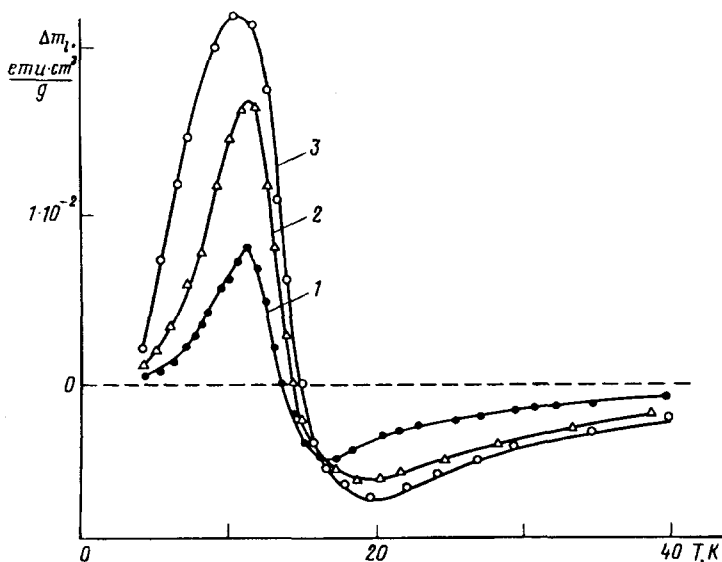


Рис.2. Температурные зависимости фотоиндуцированного изменения намагниченности: 1 - $H = 100$ Э, 2 - $H = 300$ Э, 3 - $H = 500$ Э. Плотность мощности оптического излучения $P = 0,72$ Вт/см²

максимальному отрицательному значению составляет примерно 3:1. Фотоиндуцированные изменения намагниченности в магнитных полях $H \leq 500$ Э наблюдаются лишь при низких температурах и при $T \geq 60$ К величина сигнала сравнима с уровнем шумов.

Известно [9], что γ -модификация "чистой" полупрозрачной окиси железа является метастабильной фазой с тетрагональной симметрией и отношением осей $c/a = 3$, которая при нагревании легко переходит в α -фазу. При наличии посторонних ионов возможна перестройка структуры, присущей "чистой" γ -Fe₂O₃. В нашем случае γ -фазу удалось застабилизировать введением ионов цинка. Выращенные монокристаллы имеют шпинельную структуру с $a = 8,33$ Å. С учетом содержания ионов цинка в образце, предположительно формулу получившегося соединения можно записать следующим образом: Fe₈³⁺[Fe₁₂³⁺Fe_{2-x}²⁺Zn_x²⁺□₂]O₃₂ [9], где $x = 0,54$, а □ означает вакансию по железу. Это соединение с дефектной шпинельной структурой содержит ионы двухвалентного железа, которые, как известно [10], во многих нестехиометрических соединениях являются ответственными за их восприимчивость к освещению.

Если предположить, что сильно анизотропные ионы Fe²⁺ находятся в октаэдрических позициях и их локальные оси квантования направлены вдоль осей 3-го порядка, то для шпинельной структуры эти оси совпадают с четырьмя кристаллографическими направлениями типа $\langle 111 \rangle$, являющимися осями легкого намагничивания кристалла. Причем, для данной геометрии эксперимента имеется одна выделенная ось, а три другие являются эквивалентными. Предполагая, что ионы Fe²⁺ распределены равномерно по октаэдрическим позициям и именно они откликаются на облучение, отношение 3:1 для экстремальных значений Δm_i находит простое объяснение. Высокотемпературная особенность, находящаяся в районе $T \sim 20$ К, обусловлена ионами (тип I), ось квантования которых совпадает с направлением внешнего магнитного поля и для которых оптическое излучение индуцирует такое перераспределение населенностей уровней, что происходит уменьшение составляющей магнитного момента иона

Fe^{2+} на локальную ось квантования и, в силу обменной связи с магнитным окружением, уменьшается соответствующая компонента намагниченности кристалла. Низкотемпературная особенность связана с группой центров (тип II), для которых оси квантования направлены под углом к направлению внешнего магнитного поля, и они создают анизотропию, конкурирующую с анизотропией от центров типа I. Рассмотрение температурных зависимостей вида, изображенных на рис.2, позволяет утверждать, что увеличение $|\Delta m_i|$ при увеличении магнитного поля происходит из-за опустошения высоколежащих уровней в цикле оптического поглощения и релаксации, то есть имеет место светоиндуцированное охлаждение спиновой подсистемы фотоцентров. Очевидно, что энергетическое расщепление между активными уровнями для группы центров типа I больше, чем для группы центров типа II, и это может служить дополнительным аргументом при последующем выборе модели фоточувствительного центра.

В заключение авторы выражают благодарность Н.В.Волкову за выращенные монокристаллы маггемита, А.В.Замкову и Г.В.Бондаренко за рентгеновские измерения.

Настоящая работа была выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 93-02-2487).

-
1. H.Heidrich & P.Matew, Proc. 2-nd Int. conf. supercond. quant. dev., Berlin, New York (1980), p.519.
 2. D.D.Awschalom, J.Warnock, J.R.Rosen, and M.B.Ketchen, J. Appl. Phys. **61**, 3532 (1987).
 3. H.D.Jonker, J. Sol. St. Phys. **10**, 116 (1974).
 4. T.Merceron and P.Bernstein, Phys. Stat. Sol. (a) **35**, 681 (1976).
 5. K.Hisatake, N.Yujiro, and O.Keizo, Jap. J. Appl. Phys. **15**, 1823 (1976).
 6. E.Z.Katsnelson and A.G.Karozs, Phys. Stat. Sol. (a) **90**, K117 (1985).
 7. Г.С.Патрин, Д.А.Великанов, Г.А.Петраковский, ЖЭТФ **103**, 234 (1993).
 8. G.S.Patrin, G.A.Petrakovskii, and N.V.Volkov, Phys. Stat. Sol. (a) **114**, 335 (1991).
 9. Ю.Д.Третьяков, *Термодинамика ферритов*, Л.: Изд. Химия, 1967.
 10. В.Ф.Коваленко, Э.Л.Нараев, УФН **148**, 561 (1986).