

Температурные и полевые зависимости фотоиндуцированного изменения намагниченности в иттриевом феррите-гранате

© К.М. Мукумов, О.О. Очиллов, М.Г. Халмуратов

Научно-исследовательский институт прикладной физики при Ташкентском государственном университете, 700095 Ташкент, Узбекистан

(Поступила в Редакцию 2 июля 1996 г.

В окончательной редакции 17 февраля 1997 г.)

Проведены исследования изменения намагниченности железо-иттриевого граната (ЖИГ) при облучении излучением импульсного неодимового лазера с длиной волны $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$. Измерения проведены в интервале температур от 100 до 600 К при различных величинах внешнего магнитного поля. Для выяснения внешней анизотропии указанных процессов выбраны монокристаллы ЖИГ, выращенные вдоль кристаллографических направлений (100), (110) и (111). Обсуждаются характерные области температур, в которых доминируют различные механизмы изменения намагниченности под действием лазерного импульса.

Исследование фотомагнитных явлений представляет большой интерес для решения как вопросов фундаментального характера, касающихся взаимодействия с веществом, так и вопросов практического использования этих явлений, например, при создании приемников излучения.

Из анализа литературных данных [1–7] по исследованию динамики фотонамагничивания следует, что к настоящему времени выполнено очень мало исследований, направленных на выяснение зависимости динамики фотонамагниченности от различных факторов, таких как состав материала, внешнее поле, температура и др. В настоящей работе нами были проведены исследования влияния различных факторов на динамику фотонамагничивания в ферритах-гранатах с целью выяснения природы фотомагнитных явлений в магнитных материалах.

В отличие от известных работ [8–11] по изучению фотомагнитных эффектов в ферритах-гранатах, которые традиционно выполнялись на образцах ферритов-гранатов, легированных различными примесями, мы провели исследование на нелегированном железо-иттриевом гранате (ЖИГ) как наиболее простом объекте исследования.

В наших предыдущих исследованиях [7] при низких температурах в полях ниже поля технического насыщения наблюдается сильный вклад фотонамагничивания. Несомненно, этот вклад связан с наличием доменной структуры у исследуемых кристаллов. Но причины изменения доменной структуры и ее динамики могут быть весьма разнообразными. В настоящей работе основное внимание было уделено влиянию на процессы фотонамагничивания выбора кристаллографической ориентации облучаемой лазером поверхности исследуемого образца.

1. Методика эксперимента и результаты

Методика измерений и экспериментальная установка, применявшиеся в исследованиях, описаны в [7]. Указанная установка позволяет проводить измерения фотомагнитных эффектов в интервале температур 100–600 К.

Низкотемпературные измерения на установке выполнялись с помощью оптического криостата, охлаждаемого парами жидкого азота.

На вставке к рис. 1 показан условный сигнал ЭДС измерительной катушки. Символами E^+ и E^- обозначены соответственно положительная и отрицательная амплитуды этого сигнала, измеряемые импульсным вольтметром В4-14. Полученные экспериментальные результаты приведены на рис. 1–3. На этих рисунках показаны температурные зависимости E^+ и E^- при различных величинах внешнего магнитного поля, измеренные на образцах ЖИГ, вырезанных в плоскостях (100), (110), (111). В пределах каждого рисунка величины E^+ и E^- одинакового масштаба, и температурные зависимости этих величин приведены в относительных единицах. Знаки этих сигналов условные, и выбор полярности проведен чисто субъективно. Экспериментально установлено, что положительный сигнал вблизи температуры Кюри соответствует отрицательный производной по температуре от спонтанной намагниченности.

Исследованный интервал температур можно условно разделить на три области.

1) Высокотемпературная область — вблизи температуры Кюри. В этой области наблюдается характерный пик ЭДС в измерительной катушке, определяемый производной по температуре от спонтанной намагниченности. Этот пик наблюдается во всех образцах и, очевидно, связан с разогревом кристалла в результате поглощения лазерного излучения.

2) Промежуточная область — от 300 К до T_c . Здесь наблюдается появление особенности на крыле пика вблизи T_c (если сигнал в этой области определялся изменением спонтанной намагниченности по температуре, то он соответствовал бы штриховой линии). Это также характерно для всех исследованных образцов.

3) Низкотемпературная область — ниже 300 К. В этой области наиболее ярко проявляется зависимость ЭДС в измерительной катушке от температуры, внешнего магнитного поля и кристаллографических плоскостей.

Результаты измерений на монокристалле ЖИГ, вырезанном в плоскости (100) (рис. 1), показали следующее. При величине внешнего магнитного поля, равной нулю ($H = 0$), сигнал ЭДС отсутствовал. При $H = 60$ кА/м сигнал ЭДС отсутствовал в низкотемпературной области. С увеличением поля (кривые *b* и *c*) возникает сильный сигнал ЭДС отрицательной полярности, соответствующий увеличению намагниченности образца, который достигает максимума при $H = 160$ кА/м. Кроме того, наблюдается сигнал положительной полярности (кривая *c*), свидетельствующий о дифференциальной форме сигнала ЭДС измерительной катушки (вставка на рис. 1). При дальнейшем росте внешнего поля до 320 кА/м (кривые *d* и *e*) сигналы в низкотемпературной области исчезают.

На рис. 2 показаны результаты измерений на монокристалле ЖИГ, вырезанном в плоскости (110). Для этого монокристалла сильный сигнал ЭДС в низкотемпературной области, как и для случая монокристалла с плоскостью (100), не наблюдается. Для кристалла, вырезанного в

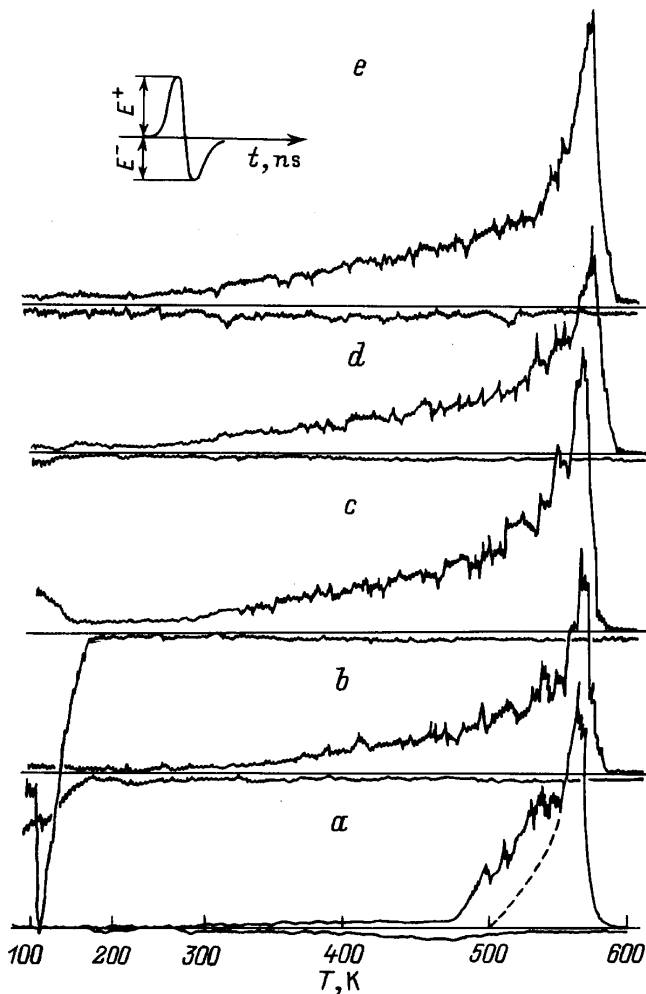


Рис. 1. Температурные зависимости амплитуды ЭДС детекторной катушки для ЖИГ, плоскость (100). Величина внешнего магнитного поля (кА/м): *a* — 60, *b* — 120, *c* — 160, *d* — 240, *e* — 320.

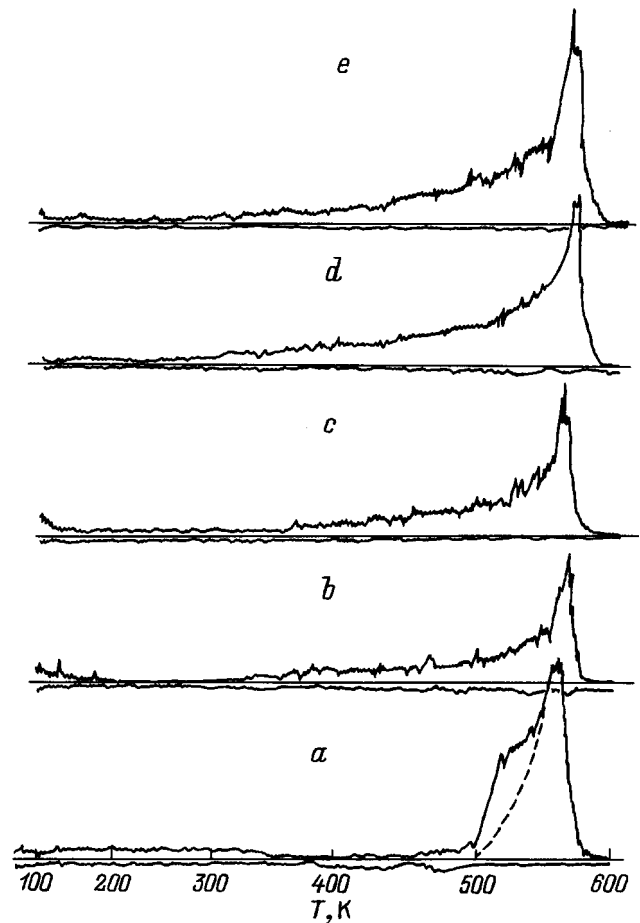


Рис. 2. Температурные зависимости амплитуды ЭДС детекторной катушки для ЖИГ, плоскость (110). Обозначение кривых то же, что и на рис. 1.

плоскости (111) (рис. 3), в низкотемпературной области наблюдаемые зависимости гораздо сложнее, чем для кристаллов с плоскостями (100) и (110). В этой области наблюдается сигнал ЭДС измерительной катушки типа показанного на вставке к рис. 1. Отрицательная часть сигнала с увеличением магнитного поля имеет тенденцию перемещаться в область более низких температур. Максимального значения этот сигнал достигает также при $H = 160$ кА/м. Положительная часть сигнала также имеет тенденцию сдвигаться в область более низких температур, но при этом амплитуда сигнала ЭДС имеет существенную величину уже в поле $H = 60$ кА/м. С дальнейшим ростом величины внешнего магнитного поля величина сигнала сначала падает, а затем вновь увеличивается и достигает максимума при $H = 160$ кА/м.

2. Обсуждение результатов

Как отмечено в работе [7], фотоиндуцированное намагничивание ЖИГ под влиянием лазерного импульса в основном определяется изменением спонтанной на-

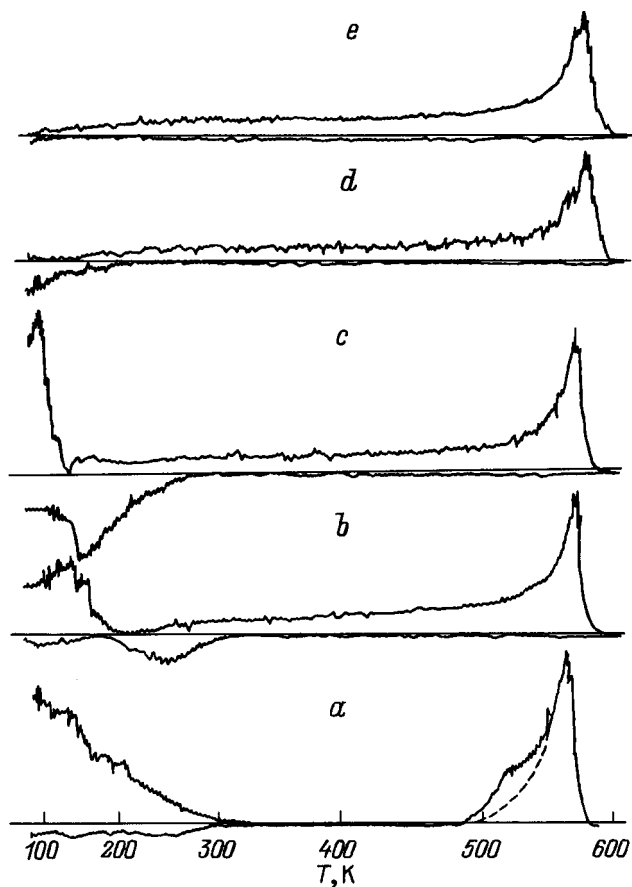


Рис. 3. Температурные зависимости амплитуды ЭДС детекторной катушки для ЖИГ, плоскость (111). Обозначение кривых то же, что и на рис. 1.

магнитности от температуры. Наличие характерного максимума вблизи T_c во всех исследованных образцах (первая область) и сходство форм кривых с производной от спонтанной намагниченности по температуре свидетельствуют о доминирующем вкладе (особенно в первой и второй областях) теплового механизма изменения намагниченности при воздействии лазерного импульса. На ненамагниченных образцах из-за наличия доменной структуры нагрев под влиянием лазерного излучения приводит к одинаковому изменению намагниченности во всех доменах, в результате чего не происходит изменения суммарной намагниченности. Отсутствие сигнала ЭДС на размагниченных образцах является еще одним подтверждением существенной роли теплового механизма фотонамагничивания.

Особенно интересна третья область температурного интервала. Ранее [7] при изучении фотомагничивания в ферритах-гранатах, легированных ионами Si и Ca, для качественного описания фотомагнитных эффектов в этих материалах было предложено кинетическое уравнение вида

$$\frac{dn}{dt} = kI(t) - (n(t))/\tau,$$

где n — число фотовозбужденных центров, I — интенсивность излучения лазера, T — длительность облучения, τ — время релаксации фотоактивного центра. Это уравнение получено в предположении пропорциональности фотомагничивания числу фотовозбужденных центров.

При введении в структуру граната ионов Si и Ca создаются искусственно фотоактивные центры, связанные с образованием ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} . Наши экспериментальные результаты, полученные для ЖИГ с кристаллографическими плоскостями (100), (110) и (111), показывают, что, как и в случае ЖИГ с примесями ионов кремния и кальция, кривые фотомагничивания можно качественно объяснить с помощью приведенного выше кинетического уравнения. Это свидетельствует о существенной роли примесей, имеющихся в монокристаллах ЖИГ без специального введения в них ионов других элементов.

Таким образом, полученные нами результаты показывают наличие в нелегированных монокристаллах ЖИГ фотоактивных центров естественного происхождения, которые образуются при выращивании этих монокристаллов и отпределаются применяемой технологией, составом шихты, чистотой исходных компонентов, материалом тиглей и др.

Наблюдаемую нами полевую зависимость фотомагничивания можно объяснить, если учесть наличие в исследованных образцах доменной структуры.

Хорошо известно, что в полях до технического насыщения процесс намагничивания определяется перестройкой доменной структуры, которая может осуществляться путем смещения доменных стенок и разворотом магнитных моментов в доменах. Этот момент очень чувствителен к дефектам в кристалле [6]. При возбуждении фотоактивного центра, связанного с примесями в кристалле, происходит уменьшение намагниченности (положительная часть сигнала), а при прекращении облучения — релаксация фотовозбужденного центра и возвращение в первоначальное магнитное состояние, чему соответствует отрицательная часть сигнала, определяющаяся в основном временем релаксации доменной структуры. Наличие характерного максимума в поле порядка 80 кА/м можно объяснить максимальной кривизной зависимости намагниченности от внешнего магнитного поля, что соответствует максимальной чувствительности к изменению намагниченности. В магнитных полях выше поля технического насыщения изменения магнитного состояния, обусловленного процессами перестройки доменной структуры, не происходит, и имеется лишь один небольшой однополярный сигнал, определяемый производной спонтанной намагниченности по температуре.

Авторы выражают искреннюю благодарность И.Д. Ломако за любезно предоставленные образцы.

Список литературы

- [1] А.М. Балбашов, Б.А. Зон, В.Я. Купершмидт, Г.В. Пахомов, Т.Т. Уразбаев. ФТТ **29**, 5, 1297 (1987).
- [2] Б.А. Зон, В.Я. Купершмидт. ЖЭТФ **84**, 2, 629 (1983).
- [3] Б.А. Зон, В.Я. Купершмидт. ФТТ **25**, 4, 1231 (1983).
- [4] В.Г. Веселаго, С.Г. Рудов, М.А. Черников. Письма в ЖЭТФ **40**, 5, 181 (1984).
- [5] Г.М. Генкин, И.Д. Токман. ФТТ **25**, 1, 276 (1983).
- [6] В.Ф. Коваленко, Э.Л. Нагаев. УФН **148**, 4, 561 (1986).
- [7] В.Н. Гриднев, Р.В. Писарев, С.И. Шаблаев, М.Г. Халмуратов. ФТТ **30**, 11, 3399 (1989).
- [8] М.В. Верченко, В.Г. Веселаго, М. Киселевски, С.Н. Ляхимец, А. Мазевски, С.Г. Рудов, У. Читко. Письма в ЖЭТФ **57**, 6, 352 (1993).
- [9] R. Teatle, D. Temple. Phys. Rev. Lett. **19**, 904 (1967).
- [10] H. van der Heide, U. Enz. Solid State Commun. **6**, 347 (1968).
- [11] F. Lotgering. J. Phys. Chem. Sol. **36**, 1183 (1975).