

Светоиндуцированное обратимое оптическое поглощение в пластинах монокристаллов иттрий-железистых гранатов

Р. А. Дорошенко, М. Д. Надеждин

Институт физики молекул и кристаллов УНЦ РАН, 450075, г. Уфа, Россия
E-mail: dar@anrb.ru

Статья поступила в редакцию 4 октября 1999 г., после переработки 4 мая 2000 г.

Обнаружено дополнительное возрастание оптического поглощения при воздействии света интенсивностью более 1 Вт/см^2 . При последующем кратковременном освещении образца ИК светом малой интенсивности ($\sim 10 \text{ мВт/см}^2$) происходит частичное уменьшение или полное исчезновение этого эффекта.

Виявлено додаткове зростання оптичного поглинання під впливом світла з інтенсивністю більше 1 Вт/см^2 . При наступному короткочасному освітленні зразка ІЧ світлом малої інтенсивності ($\sim 10 \text{ мВт/см}^2$) відбувається часткове зменшення або повне зникнення цього ефекту.

PACS: 78.20.Wc

Изменение коэффициента оптического поглощения α в ферритах-гранатах при освещении при низких температурах исследовано в работах [1–6]. В иттрий-железистых гранатах (ИЖГ) при световом облучении оптическое поглощение может как возрастать, так и уменьшаться в зависимости от типа легирующей примеси [1]. Характер изменения оптического поглощения зависит от спектрального состава света [5]. Достижение равновесных изменений оптического поглощения, сохраняющихся после выключения света, происходит при относительно малых, не вызывающих нагрева образца интенсивностях.

Свет оказывает комплексное воздействие на физические параметры фотомагнитных кристаллов. Причем наряду с фотоиндуцированными изменениями параметров вполне вероятно и термоиндуцированное изменение упругого (магнитоупругого) состояния вследствие поверхностного нагрева [7]. В свою очередь, измененное упругое состояние образца может приводить к новым проявлениям фотоиндуцированного эффекта. Так, наличие в феррит-гранатовой пленке упругих напряжений из-за несоответствия параметров пленки и подложки приводит к высокотемпературному фотоиндуцированному эффекту [8]. В настоящей работе исследовалось изменение оптического поглощения при интенсивном освещении,

приводящем и к нагреву образца. При этом время воздействия света дозировалось, чтобы не перегреть образец выше допустимой температуры. Источником освещения служила вольфрамовая лампа («белый свет») КГМ-12/250. Для выделения при освещении инфракрасной области применялся светофильтр ИКС-2. Контроль температуры образца производился медь-константановой термопарой с толщиной провода $0,05 \text{ мм}$, спай которой приклеивался к освещаемой поверхности. Диаметр сфокусированного светового луча на поверхности $\approx 2 \text{ мм}$, что обеспечивало высокую плотность излучения и позволяло освещать часть образца, не нагревая лучом спай термопары. Измерение коэффициента поглощения α осуществлялось на фиксированной длине волны $\lambda_m = 1,1 \text{ мкм}$ при интенсивности измерительного луча $\sim 50 \text{ мкВт/см}^2$. Образцы для исследований изготовлены в виде дисков толщиной $0,05 \text{ см}$ и диаметром $3,6 \text{ мм}$ из монокристаллов $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, выращенных из раствора $\text{BaO-B}_2\text{O}_3$. В отсутствие освещения образец, приклеенный на холодном пальце вакуумного криостата, имел температуру 80 К . Изменение коэффициента поглощения $\Delta\alpha$ на $1,1 \text{ мкм}$ рассчитывалось по формуле $\Delta\alpha = (1/h) \ln(I_d/I_l)$ [1], h — толщина образца (в см); I_d и I_l — интенсивности измерительного луча соответственно до и после осве-

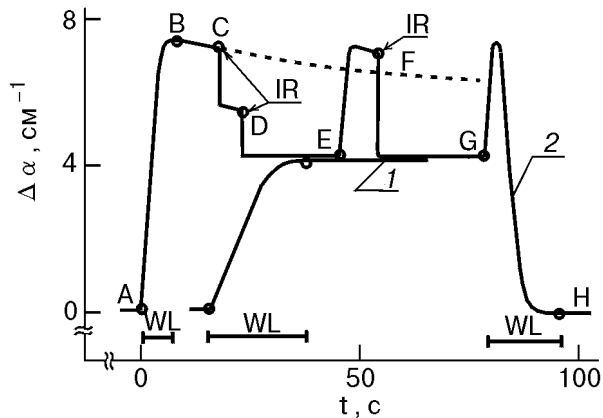


Рис. 1. Временные зависимости изменения коэффициента поглощения $\Delta\alpha$ при воздействии светом интенсивностью $0,5 \text{ Вт/см}^2$ (кривая 1) и 3 Вт/см^2 (кривая 2); WL – интервал освещения сплошным спектром вольфрамовой лампы. В точках C, D, F включалось кратковременное воздействие ИК светом (IR) интенсивностью 10 мВт/см^2 .

нения. Использование этого выражения предполагает равномерное распределение фотоиндуцированных изменений по толщине образца.

На рис. 1 приведены временные зависимости изменения коэффициента поглощения $\alpha(t)$ при освещении образца после охлаждения в темноте. Кривая 1 получена при интенсивности излучения $P \approx 0,5 \text{ Вт/см}^2$, когда не происходит заметного нагрева образца в процессе освещения. Освещение способствует возрастанию α до значения α_{eq} , это состояние сохраняется в течение длительного времени. Отметим, что в исследованных монокристаллах фотоиндуцированные изменения магнитных параметров также не исчезают со временем [11]. При интенсивности $\sim 3 \text{ Вт/см}^2$ световое воздействие сопровождается нагревом образца и вызывает дополнительное возрастание коэффициента поглощения α до значения α_{rel} , которое значительно превышает величину α_{eq} (рис. 1, кривая 2, участок AB). Достигнутый уровень поглощения α_{rel} при 80 К является метастабильным и после выключения освещения медленно релаксирует до величины α_{eq} (рис. 1, пунктирная кривая). Обнаружено, что процесс релаксации резко ускоряется при кратковременном (около 1 с) освещении образца ИК светом ($\lambda_{\text{ir}} > 0,9 \text{ мкм}$) малой интенсивности $\sim 10 \text{ мВт/см}^2$ (рис. 1, кривая 2, точки C, D и F). Как видно, возможно полное исчезновение либо частичное или поэтапное уменьшение α_{rel} . Отметим, что влияние измерительного луча ($\lambda = 1,1 \text{ мкм}$) на процесс релаксации не обнаружено, что контролировалось кратковременным включением его

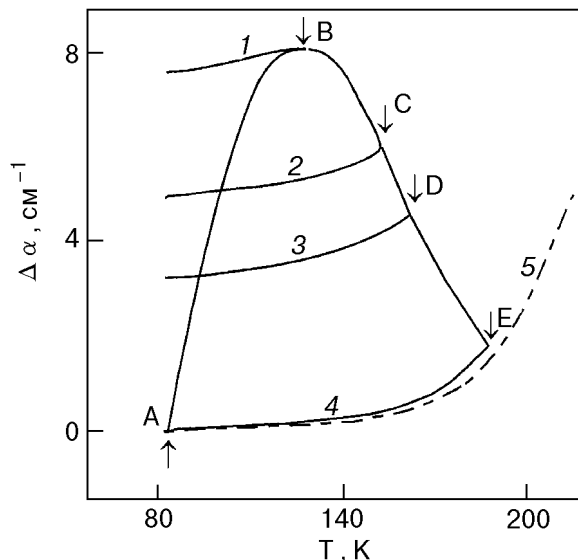


Рис. 2. Температурная зависимость изменения коэффициента оптического поглощения $\Delta\alpha$ при воздействии светом интенсивностью $P \approx 3 \text{ Вт/см}^2$. Стрелки \uparrow и \downarrow обозначают соответственно моменты включения и выключения света. Кривые 1–4 – возврат значений $\Delta\alpha(T)$ при охлаждении после прекращения воздействия светом соответственно в точках B–E. Пунктирная кривая 5 – изменение оптического поглощения $\Delta\alpha$ с температурой при охлаждении в темноте.

через длительные ($\sim 25\text{--}30 \text{ с}$) временные интервалы. После уменьшения α до уровня α_{eq} ИК освещение не изменяло уровня оптического поглощения. Повторное воздействие интенсивным светом (рис. 1, кривая 2, точка E) увеличивало коэффициент поглощения до значения α_{rel} . Свет видимого диапазона ($0,4\text{--}0,8 \text{ мкм}$) не вызывал уменьшения дополнительного поглощения, что свидетельствует об объемном характере обнаруженного эффекта.

На рис. 2 представлены температурные зависимости изменения коэффициента поглощения $\Delta\alpha$ при освещении (кривые AB, AC, AD, AE). Максимальный эффект наблюдается, если температура поверхности образца при освещении не превышает 120 К. При выключении света (точки B–E) происходит быстрое (в течение 7–10 с) уменьшение температуры до начального значения и возврат значений $\Delta\alpha$ соответственно по кривым 1–4. Достигнутый уровень оптического поглощения соответствует количеству фотоиндуцированных центров при температуре образца в момент выключения освещения. Кривые 1–4 получены при постоянной интенсивности, но различных временах освещения, т.е. толщина фотоиндуцированного слоя остается постоянной. При кратковременном, исключая нагрев воздействию света с

той же или большей интенсивностью дополнительный эффект не наблюдается.

Температурные зависимости на рис. 2 и кривая 2 на рис. 1 получены при интенсивности света $P \approx 3 \text{ Вт/см}^2$. При меньшей интенсивности света величина эффекта при первоначальном освещении уменьшается. Увеличение интенсивности $P > 3 \text{ Вт/см}^2$ приводит вначале к незначительному увеличению, а затем к уменьшению обнаруженного фотоиндуцированного эффекта, что обусловлено более сильным возрастанием теплового воздействия света при увеличении интенсивности. По зависимостям на рис. 2 (кривые 2–4) видно, что нагрев образца выше $T_{\text{max}} \approx 120 \text{ К}$ во время освещения приводит к уменьшению величины эффекта. При повышении температуры до $\sim 200 \text{ К}$ и длительном освещении (рис. 2, кривая 4) фотоиндуцированный оптический эффект полностью исчезает (рис. 1, кривая 2, участок *GH*). В этом случае образец переходит в исходное состояние и возможно повторение всего цикла. Таким образом, варьируя спектральный состав и интенсивность облучения, можно обратимо изменять оптическое поглощение в исследованных образцах.

Величина фотоиндуцированного оптического эффекта измерена при длине волны 1,1 мкм, при которой уровень оптического поглощения возрастает с увеличением концентрации ионов Fe^{4+} [9,10]. Можно полагать, что фотоиндуцированное равновесное возрастание α (до величины α_{eq}) обусловлено образованием ионов Fe^{4+} в октаэдрических узлах. Образование долгоживущих ионов Fe^{4+} происходит путем фотовозбуждения электронных переходов ${}^6A_{1g}({}^6S) \rightarrow {}^4T_{1g}({}^4G)$, ${}^4T_{2g}({}^4G)$, что экспериментально наблюдалось при дискретном сканировании по спектру облучения. Максимальная величина равновесного эффекта определяется концентрацией фотоактивных центров — части ионов железа, которые изменяют свою валентность при освещении из-за перехода электрона на свободные акцепторные уровни. Фотоиндуцированные изменения магнитных свойств данных образцов, обусловленные образованием ионов Fe^{4+} , являются дополнительным доводом в пользу такого вывода [11].

Обнаруженное дополнительное фотоиндуцированное поглощение α_{rel} , наблюдаемое под воздействием интенсивного света, при котором возникают фототермодеформации, можно объяснить образованием дополнительного количества нетрехвалентных ионов железа или увеличением оптического поглощения частью имеющихся фотоиндуцированных нетрехвалентных ионов железа.

Особенности возникновения дополнительного оптического поглощения (только при возникновении упругих напряжений при фототермонагреве поверхности образца на холодном пальце и отсутствии эффекта при помещении образца в жидкий азот) и его гашения свидетельствуют в пользу второго механизма. Отметим, что при ИК воздействии света не наблюдается гашения фотоиндуцированного эффекта (рис. 1, кривая 1), даже когда этот эффект при более высоких температурах является обратимым.

Дополнительное оптическое поглощение в исследованных образцах связано с изменением орбитального состояния ионов Fe^{4+} и определяется увеличением вероятности возбуждения электронов. Для ионов Fe^{4+} вырожденное основное состояние e_g из-за эффекта Яна—Теллера расщепляется на уровни типа d_{z^2} и $d_{x^2-y^2}$. Для растянутых октаэдров (тетрагональные искажения растяжения) основным орбитальным состоянием является состояние типа d_{z^2} [12]. Наличие упругих напряжений влияет на последовательность заполнения уровней. При фотовозбуждении ионов Fe^{4+} в упруго деформированных октаэдрах более выгодным становится орбитальное состояние с обратной последовательностью расположения уровней ($d_{x^2-y^2}$ — основное состояние и d_{z^2} — верхнее орбитальное состояние). Сечения захвата волновых функций при этом для фотонов различаются. После прекращения освещения состояние становится метастабильным и в отсутствие упругих деформаций для перехода ионов Fe^{4+} в исходное орбитальное состояние (с основным состоянием типа d_{z^2}) достаточно фотовозбуждения ИК светом. О существенной роли неоднородных упругих напряжений свидетельствует и светоиндуцированная перестройка доменной структуры при комнатной температуре в исследованных образцах [7].

Для обоснования механизма изменения орбитального состояния ионов Fe^{4+} при совместном воздействии света и упругого напряжения необходимы дальнейшие исследования. Дополнительные подтверждения предложенного механизма могут быть получены при изучении магнитных и магнитооптических свойств образцов в аналогичных условиях. Заслуживает дальнейшего изучения эффект ИК «сброса» дополнительного поглощения, количественные оценки скорости «сброса» и спектральные характеристики эффекта.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

1. E. M. Gyorgy, J. F. Dillon, and J. P. Remeika, *J. Appl. Phys.* **42**, 1454 (1971).
2. Н. Г. Находкин, В. В. Вознюк, *ФТТ* **31**, 114 (1989).
3. K. Hisatake, I. Matsubara, K. Maeda, H. Yasuoka, H. Mazaki, and K. Uematsu, *J. Magn. Magn. Mater.* **140–144**, 2127 (1995).
4. K. Hisatake, I. Matsubara, K. Maeda, H. Yasuoka, H. Mazaki, and K. Uematsu, *J. Magn. Soc. Jpn.* **19**, Suppl., S1, 263 (1995).
5. Р. А. Дорошенко, М. Д. Надеждин, *ФТТ* **38**, 3075 (1996).
6. V. A. Bedarev, S. L. Gnatchenko, R. A. Rupp, and B. Sugg, *Fiz. Nizk. Temp.* **24**, 281 (1998).
7. В. Г. Веселаго, Р.А. Дорошенко, М. С. Сетченков, М. Д. Надеждин, *ФТТ* **30**, 2863 (1988).
8. В. П. Сохатский, В. Ф. Коваленко, *Письма в ЖЭТФ* **61**, 998 (1995).
9. D. L. Wood and I. P. Remeika, *J. Appl. Phys.* **17**, 1232 (1966).
10. D. L. Wood and I. P. Remeika, *J. Appl. Phys.* **38**, 1038 (1967).
11. *Фотомagnetизм, Труды ИОФАН* **44**, Наука, Москва (1992).
12. К. И. Кугель, Д. И. Хомский, *УФН* **136**, 621 (1982).

Light-induced reversible optical absorption in plates of single crystal yttrium-iron garnets

R. A. Doroshenko and M. D. Nadejdin

It is found that exposure to light of intensity higher than 1 W/cm^2 results in an extra increase in optical absorption. On subsequent short exposure to IR radiation of low intensity (10 mW/cm^2) the above effect decreases partially or terminates totally.