

## НАБЛЮДЕНИЕ ОБРАТНОГО ЭФФЕКТА КОТТОНА – МУТОНА В МАГНИТОУПОРЯДОЧЕННОМ КРИСТАЛЛЕ $(\text{Lu}, \text{Bi})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$

*Б.А.Зон, В.Я.Купершмидт, Г.В.Пахомов, Т.Т.Уразбаев*

Впервые наблюдалось нетепловое увеличение намагниченности магнитного кристалла под действием линейно поляризованного оптического излучения. Получена первая экспериментальная оценка постоянной Коттона – Мутона для пленки редкоземельного  $\text{Bi}$  – содержащего феррита-граната.

В настоящее время имеется ряд работ, посвященных исследованию нелинейно-оптических явлений в магнитоупорядоченных средах <sup>1</sup>. К ним, в частности, относятся изменения оптических характеристик <sup>2</sup> и намагниченности кристаллов под действием распространяющегося в них интенсивного лазерного излучения <sup>3–6</sup>.

В работе <sup>7</sup> был описан обратный эффект Коттона – Мутона (ОЭКМ) – намагничение среды линейно поляризованным лазерным излучением. Было показано, что отношение индуцируемых излучением намагниченностей в обратном эффекте Фарадея и в ОЭКМ по порядку величины равно  $\Delta n_c / \Delta n_e$ , где  $\Delta n_{c,e}$  – изменение показателей преломления, приводящее к магнитным круговому и линейному двулучепреломлению соответственно. Как известно, для широкого класса магнитных кристаллов теоретические и экспериментальные данные <sup>8</sup> указывают на то, что  $\Delta n_c \approx \Delta n_e$ .

Данная работа посвящена экспериментальному обнаружению ОЭКМ. Пленки  $(\text{R}, \text{Bi})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$  ( $\text{R} = \text{Lu}$ ), эпитаксиально выращенные на подложке галлий-гадолиниевого граната ориентации  $[111]$  имели толщину  $\approx 10$  мкм. Линейно поляризованное излучение неодимового лазера с длительностью импульсов  $\tau \approx 20$  нс, диаметром пучка 1,3 мм падало нормально на поверх-

ность образца, помещенного во внешнее магнитное поле, параллельное лазерному лучу. Поляризация излучения могла изменяться пластинкой  $\lambda/4$ . Изменение намагниченности образца регистрировалось плоской трехвитковой катушкой, помещаемой на поверхности образца, сигнал с которой подавался на вход широкополосного малошумящего усилителя и далее — на осциллограф. Время нарастания переходной характеристики тракта передачи сигнала составляло  $\sim 3,5$  нс.

Все измерения проводились при комнатной температуре. Специально исследовался вклад в наблюдаемый эффект от чистых подложек. Сигнал от них обнаружен не был.

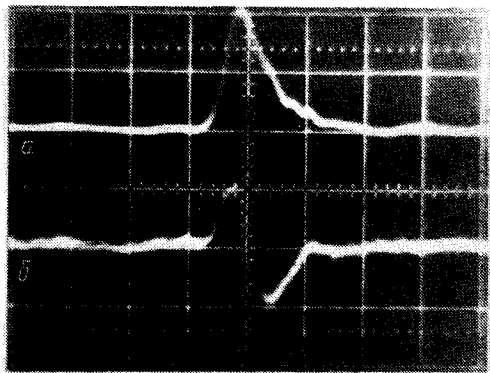


Рис. 1. *а* — Форма лазерного импульса, *б* — форма регистрируемого сигнала ЭДС, пропорционального скорости изменения намагниченности кристалла. Развертка 20 нс/дел

На рис. 1 представлена типичная осциллограмма форм лазерного импульса (*а*) и регистрируемого сигнала (*б*). Изменение направления внешнего магнитного поля приводило к изменению знака ЭДС. Зависимости регистрируемого сигнала от поляризации лазерного излучения в пределах точности измерений ( $\sim 15\%$ ) не наблюдалось.

Отметим принципиальное отличие формы и знака сигнала регистрируемой ЭДС от сигналов, связанных с тепловыми и термоупругими эффектами, наблюдавшихся в ферромагнитных металлах и ферритах <sup>9-11</sup>. В нашем случае изменение намагниченности соответствует ее *увеличению* по сравнению со стационарным значением в отсутствие лазерного излучения, а форма регистрируемого сигнала близка к производной от огибающей интенсивности, тогда как в работах <sup>10, 11</sup> импульс переменной ЭДС по форме был близок к огибающей интенсивности, а ее знак соответствует *уменьшению* стационарной намагниченности.

Увеличение интенсивности излучения до  $\sim 70$  МВт/см<sup>2</sup> приводило к разрушению поверхности пленки, возрастанию поглощения и искажению формы сигнала, связанному, по-видимому, с тепловыми эффектами. Зависимости размаха сигнала, в пересчете на один виток катушки, от внешнего магнитного поля и энергии лазерных импульсов для насыщающих магнитных полей в области неразрушающих интенсивностей представлены на рис. 2 и рис. 3.

Для теоретического описания ОЭКМ воспользуемся одноподрешеточной моделью, объединяя тетраэдрическую и октаэдрическую подрешетки ионов  $Fe^{3+}$  в одну (ион  $Lu^{3+}$  — немагнитный). Такая модель удовлетворительно описывает магнитное линейное двулучепреломление (МЛД) в ферритах-гранатах <sup>8, 12</sup>. Изменение свободной энергии одного домена кубического кристалла в присутствии электромагнитного поля  $E(t)$  в области прозрачности можно представить в виде

$$-16\pi\Delta F = g_{12}M^2(EE^*) + 2g_{44}(ME)(ME^*) + (g_{11} - g_{12} - 2g_{44})M_i^2|E_i|^2, \quad (1)$$

где  $g_{ij}$  — компоненты тензора диэлектрической проницаемости,  $M = M_0 + \chi H$ ,  $M_0$  — намагниченность домена,  $H$  — напряженность магнитного поля,  $\chi$  — восприимчивость парапроцесса. При записи (1) мы пренебрегли слагаемыми, связанными с неоднородным взаимодействием доменных стенок с полем излучения. Постоянные  $g_{44}$ ,  $(g_{11} - g_{12})$  описывают МЛД, тогда как изотропное слагаемое  $\sim g_{12}$  выпадает из МЛД.

Для геометрии, соответствующей нашему эксперименту, для намагниченности, индуцируемой световой оволной в направлении [111], получим после усреднения по всем доменам<sup>7</sup>:

$$\Delta M_{[111]} = \frac{\chi M(\mathbf{H}) c n_0 \gamma}{12\pi\omega} E(t) E^*(t) C_{[111]}(\omega) \left( 1 + \frac{3}{2} \frac{g_{12}}{g_{11} - g_{12} - 2g_{44}} \right). \quad (2)$$

Здесь  $n_0$  — показатель преломления,  $\omega$  — частота излучения,  $\gamma = (1 - a)/a$ ,  $a$  — величина магнитооптической анизотропии,  $C(\omega)$  — постоянная Коттон — Мутона,  $M(\mathbf{H})$  — намагниченность кристалла. Из (2) следует, что ОЭКМ определяется как постоянными МДЦ ( $C(\omega), \gamma$ ) так и константой  $\sim g_{12}$ , описывающей изотропное магнитное преломление.

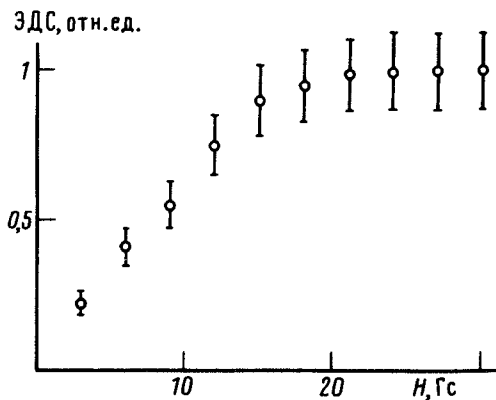


Рис. 2. Зависимость амплитуды сигнала ЭДС от на-  
пряженности поля  $H$

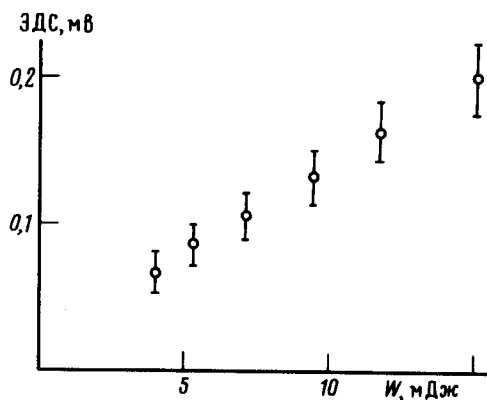


Рис. 3. Зависимость размаха сигнала ЭДС от энергии  
 $W$  лазерных импульсов

Как видно, зависимость амплитуды сигнала от магнитного поля должна совпадать с зависимостью  $M(\mathbf{H})$  и линейно зависеть от интенсивности излучения. Обе указанные зависимости подтверждаются экспериментально. Форма сигнала ЭДС в условиях квазистационарности повторяет производную от формы лазерного импульса и не зависит от поляризации излучения, что также согласуется с экспериментальными данными.

Оценим величину  $\Delta n = \frac{c}{\omega} C M_0^2$ , считая, что  $g_{12}/(g_{11} - g_{12} - 2g_{44}) \sim 1^{8,12}$ . Учитывая что  $\Delta M_{[111]} = 6,4 \cdot 10^{-4}$  Гс при  $E = 1,4 \cdot 10^5$  В/см, и полагая  $n_0 = 2,3$ ;  $\chi = 2 \cdot 10^{-3}$ ,  $a = 1,7$ ,  $\lambda = 1,06$  мкм, получим  $\Delta n = 5 \cdot 10^{-5}$ .

Нами исследовались также пленки аналогичного состава с  $R = Yb, Tm$ . Для пленок  $R = Yb$  также наблюдался ОЭКМ, тогда как для пленок  $Tm$ , обладающих, в отличие от образцов  $Lu$ , в диапазоне частот неодимового лазера заметным коэффициентом поглощения, наблюдался лишь значительно бо́льший по величине тепловой сигнал, аналогичный наблюдавшемуся ранее в  $YFeO_3$ <sup>11</sup>.

Выражаем благодарность А.М. Балбашову за предоставленные образцы монокристаллических пленок ферритов-гранатов.

#### Литература

1. Коваленко В.Ф., Нагаев Э.Л. УФН, 1986, 148, 561.
2. Веселаго В.Г., Рудов С.Г., Черников М.А. Письма в ЖЭТФ, 1984, 40, 181.
3. Пятаевский Л.П. ЖЭТФ, 1960, 39, 1450.
4. Van der Ziel J.P., Pershan P.S., Malmstrom L.D. Phys. Rev. Lett., 1965, 15, 190; Pershan P.S., van der Ziel J.P., Malmstrom L.D. Phys. Rev., 1966, 143, 574.
5. Генкин Г.М., Токман И.Д. ЖЭТФ, 1982, 82, 1532.
6. Зон Б.А., Купершмидт В.Я. ЖЭТФ, 1983, 84, 629.
7. Зон Б.А., Купершмидт В.Я. ФТТ, 1983, 25, 1231.
8. Смоленский Г.А., Леманов В.В. Ферриты и их техническое применение, Л.: Наука, 1975.
9. Kubota K. Solid State Comm., 1972, 10, 633.

10. *Гужва В.Г., Колток Ю.В., Кузьмичев В.М., Латынин Ю.М.* Квантовая электроника, 1977, 4, 681.
11. *Балбашов А.М., Зон Б.А., Купершмидт В.Я., Пахомов Г.В., Уразбаев Т.Т.* ФТТ, 1987, 29,
12. *Кринчик Г.С.* Физика магнитных явлений. М.: изд. МГУ, 1976.

Воронежский  
государственный университет им. Ленинского комсомола

Поступила в редакцию  
22 сентября 1986 г.  
После переработки  
25 ноября 1986 г.