

АКУСТООПТИЧЕСКАЯ МОДУЛЯЦИЯ В ГЕМАТИТЕ

*Н.Н. Евтихийев, В.В. Мошкин, В.Л. Преображенский,
Н.А. Экономов*

Изложены результаты наблюдения акустической модуляции оптического двулучепреломления в гематите. Показано, что основной вклад в модуляцию диэлектрической проницаемости в полях $H \lesssim 1$ кЭ вносят пространственно неоднородные высокочастотные колебания магнитных моментов, сопровождающие звуковые волны.

Как известно, гематит в магнитоупорядоченном состоянии является оптически двухосным кристаллом с направлением главных диэлектрических осей, зависящим от пространственной ориентации магнитных моментов [1, 2]. Распространение звуковых волн в кристалле сопровождается колебаниями намагниченности, что приводит к пространственно неоднородным высокочастотным колебаниям диэлектрических осей. Следует ожидать, что такой механизм акустооптической модуляции будет особенно существенным в легкоп. оскостной слабоферромагнитной фазе гематита, благодаря характерному для антиферромагнетиков с анизотропией типа "легкая плоскость" сильному взаимному влиянию упругой и магнитной подсистем [3 – 6]. (В магнитных полях $H \lesssim 1$ кЭ амплитуда углового отклонения (ϕ) антиферромагнитного вектора l от равновесного направления достигает значе-

ний порядка 0,1 рад при относительно малых деформациях в звуковых волнах $\hat{u} \sim 10^{-6}$). Модуляция оптического двулучепреломления, обусловленная колебаниями диэлектрических осей, экспериментально наблюдалась при антиферромагнитном резонансе в изоморфном гематиту CoCO_3 [7]. Магнитный вклад в диэлектрическую проницаемость может быть описан соотношением [2, 8]

$$\Delta \hat{\epsilon}_m = \hat{\eta} l. \quad (1)$$

Решая уравнение движения для вектора антиферромагнетизма [6] в первом приближении по амплитудам звуковых деформаций, можно получить следующее соотношение, описывающее магнитоакустическую модуляцию двулучепреломления

$$\Delta \hat{\epsilon}_{\text{му}} = \hat{\eta}_2 \left(\frac{2H_E}{M_0} \right) \frac{\hat{B}_2}{(\omega_{s0} / \gamma)^2} \hat{u}, \quad (2)$$

где $\omega_{s0} = \gamma \sqrt{H(H + H_D) + 2H_E H_{ms}}$ — частота антиферромагнитного резонанса [4]; $\hat{\eta}_2$ и \hat{B}_2 — компоненты магнитооптического и магнотрикссионного тензоров соответственно. Оценка величины $\Delta \hat{\epsilon}_{\text{му}}$ при $H \lesssim 1$ кЭ (с использованием значений η , полученных в работе [2]) показывает, что она более чем на порядок превосходит вклад от собственно фотоупругого эффекта, имеющего место в парамагнитной фазе. Характерной особенностью рассматриваемого магнитофотоупругого эффекта является уменьшение его вклада с ростом напряженности магнитного поля H при постоянной амплитуде деформаций и отсутствие изменения $\Delta \hat{\epsilon}$ с ростом H при постоянной амплитуде магнитных колебаний, вызванных деформациями (см. (1)). Другой особенностью (не учтенной в линеаризованных соотношениях (2)) является насыщение эффекта при деформациях $\hat{u} \sim 10^{-5}$ ($\phi \sim 1$ рад), обусловленное ограниченностью динамических изменений проекции вектора \mathbf{l} ($|\mathbf{l}| \cong 1$) и, следовательно, $\Delta \hat{\epsilon}_m$ (см. (1)). Экспериментально модуляция обнаруживалась при возбуждении акустических колебаний по изменению интенсивности света, прошедшего через скрещенные поляризатор и анализатор, между которыми располагался образец гематита. Геометрия эксперимента показана на рис. 1, а. В качестве источника света использовался лазер с длиной волны $\lambda = 1,15$ мкм. Образец имел форму диска с плоскостью, перпендикулярной оси третьего порядка (C_3), диаметром 5,5 мм и толщиной $d = 0,35$ мм. Ось C_3 ориентировалась параллельно направлению распространения света. Акустические колебания возбуждались параметрически продольной накачкой [9] на частоте основной контурно-сдвиговой моды $\omega, / 2\pi = 0,5$ МГц. Амплитуда магнитных колебаний, сопровождающих звуковые деформации, контролировалась выносной приемной катушкой и селективным приемником. Параметрический режим использовался с целью исключения наводки в приемнике на частоте ω_1 от цепей возбуждения. Модуляция интенсивности света регистрировалась с помощью фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) или визуализировалась электроннооптическим преобразователем (ЭОП). Экспериментально измерялись изменения постоянной составляющей интенсивности прошедшего света и переменных составляющих на частотах ω_1 и $2\omega_1$, которые возникали при возбуждении звука в образце. Наблюдаемые, характерные для модуляции двулучепреломления, зависимости вкладов в интенсивность от угла α между вектором поляризации падающего света и осью второго порядка ($x \parallel \mathbf{H}$) показаны на рис. 1, б, в, г (по оси ординат отложены составляющие напряжения на выходе ФЭУ). На рис. 2. представлена зависимость переменной составляющей интенсивности на частоте ω_1 (при $\alpha = \pi/8$) сигнала, наводимого магнитными колебаниями в приемной катушке. Видна тенденция к насыщению эффекта при $U_{\text{вых}} > 6$ мВ. По отношению сигналов на частотах $2\omega_1$ при $\alpha = 0$ и ω_1 при $\alpha = \pi/8$ можно определить амплитуду угла отклонения антиферромагнитного вектора $\phi = U_{2\omega_1} / U_{\omega_1}$ (уровню $U_{\text{вых}} = 12$ мВ соответствует $\phi = 0,32$ рад.) Поскольку амплитуда звуковых деформаций в резонансных измерениях непосредственно не контролируется, результаты измерения полевых зависимостей постоянного и переменного акустических вкладов в интенсивность света, представленные на рис. 3, получены в режиме постоянной ам-

плитуды колебаний намагниченности. Угловые отклонения антиферромагнитного вектора при контурно-сдвиговых колебаниях связаны с основной компонентой сдвиговых деформаций u_{xy} [10] соотношением

$$\phi = \zeta \frac{c_{14}}{B_{14}} \frac{1-\kappa}{1-\zeta} u_{xy}, \quad (3)$$

где

$$\zeta = \frac{H_E}{M_0} \frac{(2B_{14})^2}{C_{44} (\omega_{s_0}/\gamma)^2}, \quad \kappa = \frac{C_{44}}{C_{14}} \frac{B_{11} - B_{12}}{2B_{14}},$$

\hat{c} – тензор модулей упругости.

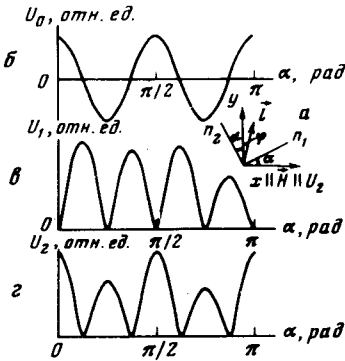


Рис.1

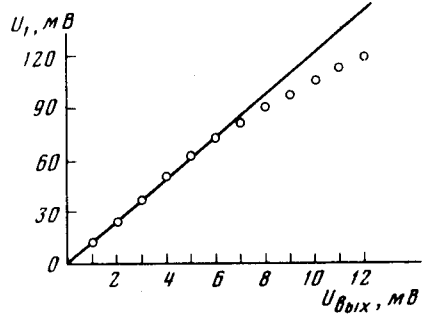


Рис.2

Рис.1. Зависимость интенсивности прошедшего света от угла между вектором поляризации падающего света и осью второго порядка: a – геометрия эксперимента; n_1, n_2 – оси поляризатора и анализатора; b – постоянная составляющая сигнала; α – составляющая сигнала на частоте ω_1 ; α – составляющая сигнала на частоте $2\omega_1$

Рис. 2. Зависимость составляющей интенсивности проходящего света на частоте ω_1 от амплитуды колебаний (при $\alpha = \pi/8$)

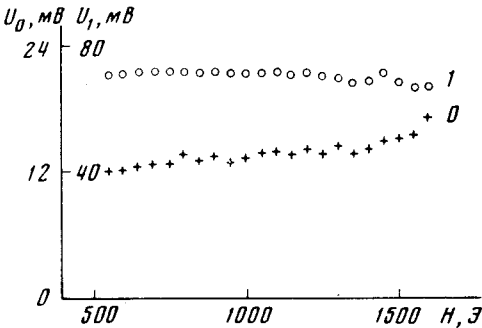


Рис. 3. Полевые зависимости постоянной (0) и переменной (I) на частоте ω_1 вкладов в интенсивность прошедшего света

Постоянство амплитуды магнитных колебаний при увеличении напряженности магнитного поля H от 0,5 до 1,5 кЭ обеспечивается, согласно соотношению (3), более чем двукратным увеличением амплитуды деформаций. Результаты измерений (рис.3) показывают, что вклад акустической модуляции в постоянную составляющую интенсивности изменяется в таком режиме не более, чем на 25%, а на частоте модуляции не превосходит десятипроцентной точности измерительного приемника, что указывает на основную роль магнитного механизма акустооптической модуляции. Рассмотренный магнитофотоупругий эффект значительно облегчает визуализацию звуковых полей линейно магнитоупруго связанных звуковых волн (по сравнению с волнами, для которых линейная связь отсутствует). С помощью узкого

пучка света диаметром 0,2 мм проведены измерения распределений деформаций в основной моде контурного сдвига. Наблюдаемое распределение деформаций согласуется с полученными ранее теоретическими и косвенными экспериментальными данными [10].

Авторы благодарят А.С.Боровика-Романова, М.А.Савченко, Н.М.Крейнес и В.С.Лутовинова за обсуждение результатов работы, В.А.Мурашова и А.А.Евдокимова – за предоставление монокристаллов гематита.

Литература

1. Писарев Р.В., Синий И.Г., Смоленский Г.А. Письма в ЖЭТФ, 1969, **9**, 112.
2. Меркулов В.С., Рудашевский Е.Г., Ле Галь А., Лейкюрас К. ЖЭТФ, 1978, **75**, 628.
3. Савченко М.А. ФТТ, 1964, **6**, 864.
4. Боровик-Романов А.С., Рудашевский Е.Г. ЖЭТФ, 1964, **47**, 2095.
5. Максименков П.П., Ожогин В.И. ЖЭТФ, 1973, **65**, 657.
6. Ожогин В.И., Преображенский В.Л. ЖЭТФ, 1977, **73**, 988.
7. Боровик-Романов А.С., Жотиков В.Г., Крейнес Н.М., Панков А.А. Письма в ЖЭТФ, 1976, **23**, 705.
8. Боровик-Романов А.С., Жотиков В.Г., Крейнес Н.М., Панков А.А. ЖЭТФ, 1976, **70**, 1924.
9. Евтихийев Н.Н., Преображенский В.Л., Савченко М.А., Экономов Н.А. Вопросы радиоэлектроники. сер. Общетеχνич., 1978, вып.2, 124.
10. Андрущак Е.А., Евтихийев Н.Н., Погожев С.А., Преображенский В.Л., Экономов Н.А. Акуст. журнал. 1981, **27**, 170.

Московский
институт радиотехники,
электроники и автоматики

Поступила в редакцию
4 ноября 1981 г.