

НЕЛИНЕЙНОЕ САМОВОЗДЕЙСТВИЕ ЗВУКОВЫХ ВОЛН В АНТИФЕРРОМАГНЕТИКЕ С АНИЗОТРОПИЕЙ ТИПА "ЛЕГКАЯ ПЛОСКОСТЬ"

В.Д.Преображенский, М.А. Савченко, Н.А.Экономов

Изложены результаты наблюдения нелинейного самовоздействия звуковых колебаний в монокристалле гематита. Показано, что ответственная за эффект акустическая нелинейность кристалла обусловлена магнитоупругой связью.

Акустические свойства антиферромагнетиков с анизотропией типа "легкая плоскость" (АФЛП) как линейные, так и, в особенности, нелинейные, в значительной степени определяются сильным взаимным влиянием упругой и магнитной подсистем кристалла [1 - 4].

В настоящей работе на примере монокристалла гематита рассматривается роль магнитоупругого взаимодействия в формировании кубической акустической нелинейности АФЛП.

Энергию длинноволновых акустических колебаний АФЛП, с точностью до членов порядка выше четвертого по амплитудам, можно представить в виде

$$\mathcal{H} = \frac{1}{2} \sum_n \mu_n [\dot{A}_n^2 + \Omega_n^2 A_n^2] - 2h_{\perp}(t) \sum_n G_n A_n + \sum_{mnq} \frac{1}{3!} \Phi_{mnq} A_m A_n A_q +$$

$$+ \sum_{mnq} \frac{1}{4!} \Psi_{mnq} A_m A_n A_q A_q, \quad (1)$$

$$\mu_n = \Omega_n^{-2} (\hat{C}_2 + \Delta \hat{C}_2) \int d\mathbf{r} \hat{U}_n^2, \quad (2)$$

$$\Phi_{mnq} = (\hat{C}_3 + \Delta \hat{C}_3) \int d\mathbf{r} \hat{U}_m \hat{U}_n \hat{U}_q, \quad (3)$$

$$\Psi_{mnq} = (\hat{C}_4 + \Delta \hat{C}_4) \int d\mathbf{r} \hat{U}_m \hat{U}_n \hat{U}_q \hat{U}_q, \quad (4)$$

$$G_n = - \frac{(H + H_D) \hat{B}_2}{(\omega_{s_0} / \gamma)^2} \int d\mathbf{r} \hat{U}_n, \quad (5)$$

где Ω_n — частота нормальной звуковой (магнитоупругой) моды — (полагая $\Omega_n \ll \omega_{s_0}$, ω_{s_0} — частота антиферромагнитного резонанса); $\hat{U}_n(\mathbf{r}, t) = A_n(t) \hat{U}_n(\mathbf{r})$ — деформация в нормальной моде; \hat{C}_i — модули упругости i -го порядка, \hat{B}_1, \hat{B}_2 — тензоры магнитоупругих констант; H и $h_{\perp}(t)$ — постоянное и переменное магнитные поля, которые полагаются ортогонально ориентированными в базисной плоскости; H_D — поле Дзялошинского. Магнитные поправки к модулям упругости второго и третьего порядка соответственно равны [4]:

$$\Delta \hat{C}_2 = - \frac{H_E}{M_0} \left(\frac{2\hat{B}_2}{\omega_{s_0} / \gamma} \right)^2,$$

$$\Delta \hat{C}_3 = - 3 \left(\frac{4H_E}{M_0} \right)^2 \frac{\hat{B}_1 \hat{B}_2^2}{(\omega_{s_0} / \gamma)^4},$$

где H_E — обменное поле.

За кубическую акустическую нелинейность ответственно взаимодействие с амплитудой (4). Магнитный вклад в модули упругости четвертого порядка определяется соотношением

$$\Delta \hat{C}_4 = 12 \left(\frac{H_E}{M_0} \right)^3 \frac{(2\hat{B}_2)^4}{(\omega_{s_0} / \gamma)^6} \left(1 + \frac{1}{4} \frac{\gamma^2 H H_D}{\omega_{s_0}^2} \right). \quad (6)$$

Кубическая акустическая нелинейность приводит к самовоздействию звуковых волн, которое может проявляться в виде нелинейного сдвига частоты магнитоупругих колебаний образца. При резонансном возбуждении кристалла гармоническим переменным полем $h_{\perp}(t) = h_{\perp} \cos \omega t$ амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) вынужденных акустичес-

ких колебаний формально аналогична соответствующей гистерезисной характеристике нелинейного осциллятора:

$$2 \frac{\Delta \omega}{\Omega_n} = - \frac{R_n}{\Omega_n^2} |b_n|^2 \pm \left[\left(\frac{\mu_n^{-1} G_n h_{\perp}}{\Omega_n^2 |b_n|} \right)^2 - Q_n^{-2} \right]^{1/2}, \quad (7)$$

где $2b_n$ — амплитуда колебания с частотой ω , $\Delta \omega = \omega - \Omega_n$, $R_n = -\frac{1}{2} \mu_n^{-1} \Psi_{nnnn} + \frac{5}{6} (\mu_n^{-1} \Omega_n^{-1} \Phi_{nnn})^2$.

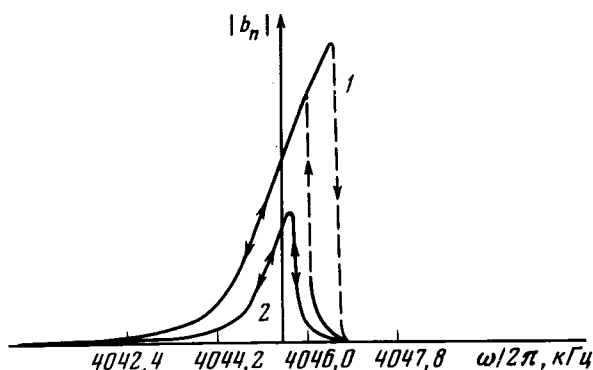


Рис. 1. Амплитудно-частотные характеристики акустического резонанса при $H = 2 \kappa \varepsilon: h_{\perp 1} / h_{\perp 2} = 2$

Экспериментальное наблюдение нелинейного сдвига частоты проводилось на монокристалле гематита, возбужденном на поперечной полуволновой акустической моде с поляризацией, перпендикулярной оси C_3 . Образец имел форму тонкого диска диаметром 4,9 мм и толщиной $l = 0,48$ мм, вырезанного параллельно базисной плоскости. Регистрация звуковых колебаний проводилась индукционным методом. Представленная на рис. 1 экспериментальная АЧХ качественно соответствует теоретической (7). Для выявления механизма нелинейного сдвига частоты $\Delta \omega_N$ была измерена его зависимость от напряженности внешнего магнитного поля H ($\Delta \omega_N = \omega_N - \Omega_n$, ω_N — частота, соответствующая максимальной амплитуде $2|b_n|$ при данном h_{\perp}). Применительно к рассматриваемому типу колебаний, пренебрегая собственной нелинейностью упругой подсистемы, из (7) можно получить следующую зависимость $\Delta \omega_N(H)$:

$$\frac{\Delta \omega_N}{\Omega_n} = \frac{9}{4} \left(\frac{C_{44}}{2B_{14}} \right)^2 \frac{\zeta_n^3}{1 - \zeta_n} \left(1 + \frac{1}{4} \frac{\gamma^2 H H_D}{\omega_{s_0}^2} \right) |b_n|^2, \quad (8)$$

где $\zeta_n = \frac{H_E}{M_0} \left(\frac{2B_{14}}{\omega_{s_0} / \gamma} \right)^2 + C_{44}^{-1}$ — коэффициент связи, который опреде-

ляет линейную перенормировку частоты $\Omega_n^2 = C_{44} (1 - \zeta_n) \pi^2 / \rho l^2$ и в исследуемом образце описывается соотношением $\zeta_n = 0,42(H_{кэ} + \frac{H_{кэ}^2}{22} + 0,56)$, полученным из измерения зависимости $\Omega_n(H)$.

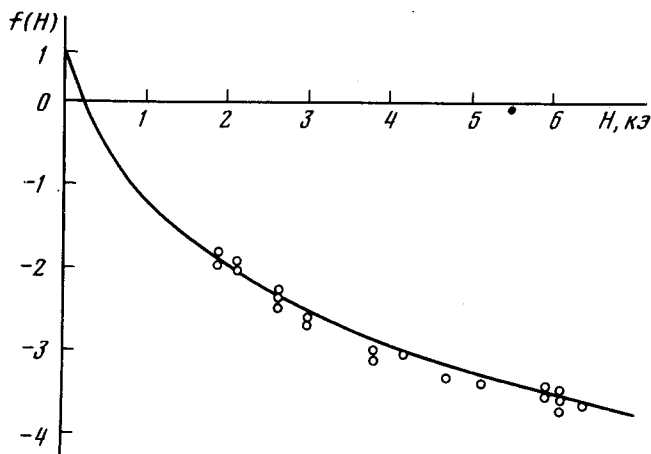


Рис.2. Зависимость нелинейного сдвига частоты от напряженности магнитного поля:

$$f(H) = \lg \left[\frac{\Delta \omega_N}{\Omega_n} / \left(\frac{C_{44}}{2B_{14}} b_n \right)^2 \right]$$

На рис.2 представлены результаты измерений величины $\Delta \omega_N(H)$. Результаты расчета по формуле (8) показаны сплошной кривой.

Сильная полевая зависимость нелинейного сдвига частоты, величина которого согласуется с изложенной теорией, показывает, что нелинейное самовоздействие звуковых волн в гематите (при $H \lesssim 6$ кэ) практически целиком обусловлено магнитоупругим взаимодействием.

Отметим, что нелинейное самовоздействие в гематите проявляется как основной механизм ограничения амплитуды параметрических колебаний в экспериментах по параметрическому возбуждению звука продольной накачкой [5].

В заключение авторы выражают благодарность Н.Н.Евтихиеву за постоянное внимание к работе и полезные обсуждения результатов. Авторы благодарят В.Г.Куриленко и А.А.Евдокимова за предоставленные монокристаллы гематита, В.Ф.Мещерякова за плодотворные обсуждения.

Московский
институт радиотехники,
электроники и автоматики

Поступила в редакцию
14 июня 1978 г.

Литература

- [1] А.С.Боровик-Романов, Е.Г.Рудашевский. ЖЭТФ, 47, 2095, 1964.
[2] М.А.Савченко. ФТТ, 6, 864, 1964.

[3] M.H. Seavy. Sol. Stat. Comm., 10, 219, 1972.

[4] В.И.Ожогин, В.Л.Преображенский. ЖЭТФ, 73, 988, 1977.

[5] Н.Н. Евтихийев, В.Л.Преображенский, М.А.Савченко, Н.А.Экономов.
"Вопросы радиоэлектроники", Сер. Общетеχνич., II, 124, 1978.
