

ДВОЙНОЙ ФЕРРОМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС

И.А.Дерюгин, В.В.Запорожец, М.Г.Лысенко

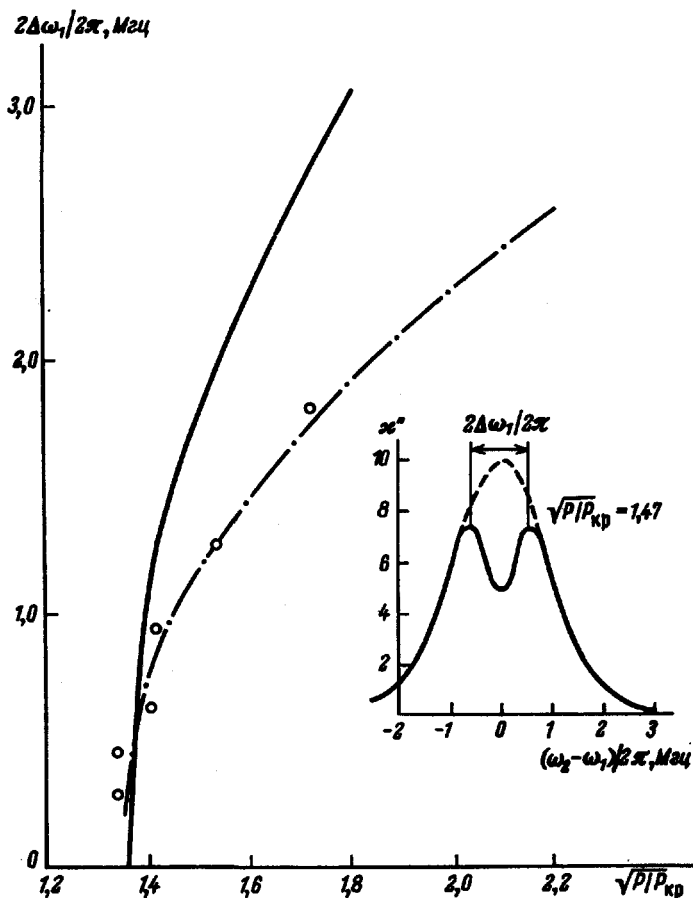
Пусть ферромагнитный образец находится в постоянном магнитном поле H_0 и в поле излучения двух близких сверхвысоких частот ω_1, ω_2 . Фотон, падающий на феррит, возбуждает в нем спиновую волну с энергией, равной энергии фотона, и равным нулю волновым вектором (однородная прецессия).

При определенных условиях [1] процесс релаксации однородной прецессии идет с рождением двух магнонов половинной энергии, волновые векторы которых направлены противоположно.

За счет этого процесса при достаточной амплитуде микроволнового поля может быть достигнуто насыщение в любой области линии ФМР. Это насыщение может быть наблюдеено при записи кривой поглощения вариацией частоты ω_2 так называемого детектирующего микроволнового излучения такой амплитуды, что параметрическое возбуждение незатухающих спиновых волн этим полем невозможно. Записанная таким способом линия ферромагнитного резонанса представляет собой обычную кривую с провалом в окрестности точки насыщения (см. рисунок). Провал обусловлен взаимодействием параметрически возбужденных спиновых волн, насыщающих спиновую систему, с однородной прецессией, возбужденной детектирующим полем. Это явление мы называем двойным ферромагнитным резонансом (ДФМР). Используя разложение вектора намагниченности по плоским волнам [1] и метод последовательных приближений, из уравнения Ландау – Лифшица можно получить выражение для мнимой части магнитной восприимчивости χ'' . Для частного случая насыщения центральной области кривой и сферической формы образца имеем

$$\chi'' = \gamma M_0 \frac{(\omega_2 - \gamma H_0)^2 \eta_0 + \eta_0 \eta_k^2 \left(2 \sqrt{\frac{P}{P_{кр}}} - 1 \right)}{\left[(\omega_2 - \gamma H_0)^2 - \eta_0 \eta_k \left(2 \sqrt{\frac{P}{P_{кр}}} - 1 \right) \right]^2 + (\eta_0 + \eta_k)^2 (\omega_2 - \gamma H_0)^2}, \quad (1)$$

где γ — гиромагнитное отношение; M_0 — намагниченность насыщения; η_k — постоянная затухания спиновой волны с волновым вектором k ; P — мощность насыщающего поля излучения; $P_{кр}$ — критическая мощность насыщающего излучения, при которой возбуждаются незатухающие спиновые волны.



Экспериментально на частоте 2000 МГц исследовался ДФМР на монокристаллической сфере диаметром 3 мм, изготовленной из иттрий-галиевого граната ($4\pi M_0 = 1100$ эс). Источником насыщающего излучения служил генератор Г4-8, детектирующее поле создавалось генератором Г3-22. Линейная перестройка частоты детектирующего излучения производилась специальным устройством. Девиация частоты в пределах линии ФМР не приводила к существенным изменениям уровня детектирующего излучения.

Сверхвысокочастотная мощность частоты ω_1 и ω_2 при помощи двойного T-образного моста вводится в измерительную волноводную сек-

цию с образцом. Между величиной постоянного магнитного поля H_0 и частотой насыщающего излучения ω_1 существует связь

$$\omega_1 = \gamma H_0. \quad (2)$$

Сигнал поглощения с детектора СВЧ, усиленный усилителем постоянного тока, регистрируется на ленте самописца. Кривая поглощения, записанная путем изменения частоты ω_2 , имеет провал в центральной части (см. рисунок).

Теоретическое соотношение уравнения (1) позволяет определить важнейшие параметры линии ДФМР. На рисунке также представлена зависимость расстояния $2\Delta\omega_1$ между экстремальными точками χ'' от уровня падающей на феррит мощности. Эксперимент хорошо подтверждает теоретические ($\eta_0 = 1,1 \text{ МГц}$, $\eta_k = 210 \text{ МГц}$) расчеты в области, где $\sqrt{P/P_{кр}}$ менее 1,4. Дальнейший рост мощности сигнала частоты ω_1 приводит к возбуждению других типов спиновых волн, что изменяет параметр затухания η_k . Поскольку выражение (1) не предусматривает это изменение, при $\sqrt{P/P_{кр}} > 1,4$ наблюдается количественное расхождение экспериментальных и теоретических результатов.

Метод ДФМР удобно применить при исследовании релаксационных процессов в запороговой области без определения абсолютных значений микроволновых полей, а также при точном измерении величины времени релаксации спиновой волны, возбужденной в данном материале.

Такой способ изучения нелинейных взаимодействий в ферромагнетиках может найти применение и при других методах возбуждения спиновых волн, например, продольной накачкой, звуком и др.

Киевский
государственный университет
им. Т.Г.Шевченко

Поступило в редакцию
2 декабря 1968 г.

Литература

[1] H. Suhl. J. Phys. Chem. Sol., 1, 209, 1957.