

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ СПИНОВЫХ ВОЛН ПРИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИИ ЧАСТОТЫ НАКАЧКИ

В. С. Житнюк, Г. А. Мелков

Экспериментально исследован процесс параметрического возбуждения спиновых волн в ферритах. Установлено, что величина интервала возбуждения спиновых волн по собственным частотам по порядку величины совпадает с частотой релаксации спиновых волн.

В настоящей работе экспериментально изучалось параметрическое возбуждение спиновых волн в ферритах под действием двух последовательно включаемых накачек различной частоты. Эксперимент проводился на монокристаллических сферах железо-иттриевого граната (ЖИГ) диаметром 2,5 мм при температуре 4,2К. Параметрическое возбуждение спиновых волн с волновым вектором $k \approx 10^5 \text{ см}^{-1}$ осуществлялось методом параллельной накачки на частоте 9,4 ГГц; исследуемые образцы помещались внутрь прямоугольного объемного резонатора с типом колебаний H_{011} , нагруженная добротность которого $\sim 10^3$. Величина постоянного магнитного поля была равна $H_0 = 1860 \text{ Э}$. На резонатор с ферритом последовательно подавались две импульсных накачки,

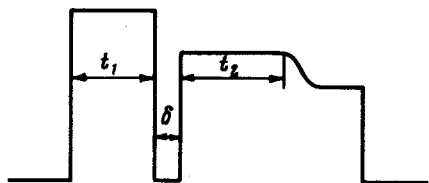


Рис. 1. Форма сигнала СВЧ, отраженного от резонатора с ферритом

различающиеся по частоте на $\Delta\omega$ (см. рис. 1). Первая накачка на частоте ω_H в течение времени t_1 "подогревает" пакет спиновых волн вблизи частоты $\omega_H/2$. Задолго до проявления нелинейных механизмов ограничения амплитуды параметрически возбужденных спиновых волн (ПСВ) первая накачка выключается и через время δ включается вторая накачка на частоте $\omega_H + \Delta\omega$. Через время t_2 на импульсе второй накачки появляется характерный скол, свидетельствующий о том, что ПСВ в своем экспоненциальном росте во времени достигли определенного уровня N , зависящего от чувствительности установки, в нашем случае величина $N \sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Время t_2 будет зависеть от амплитуды и частоты спиновых волн "подогретых" первой накачкой. Если пауза δ велика, $\delta \gg \gamma_k^{-1}$, где γ_k — частота релаксации спиновой волны с волновым вектором k , амплитуды всех ПСВ в момент включения второй накачки будут близки к тепловому уровню и время до скола t_2 будет максимальным: $t_2 = t_{2max}$. При малых δ будет иметь место уменьшение t_2 в результате действия первой накачки. Если амплитуды ПСВ, "подогретых" первой накачкой, распределены в конечном интервале частот $\Delta\omega_k$, то t_2 будет функцией сдвига частоты $\Delta\omega$: $t_2 = t_2(\Delta\omega)$, причем при $\Delta\omega = 0$ время до скола t_2 будет минимальным: $t_2(0) = t_{2min}$ при $\Delta\omega \gg \Delta\omega_k$: $t_2(\infty) = t_{2max}$.

На рис. 2 представлены результаты экспериментального исследования нормированной зависимости $(t_{2max} - t_2)/(t_{2max} - t_{2min})$ от сдвига частоты $\Delta\omega$ при различных надкритичностях первой накачки $\zeta_1 = h_1/h_{пор}$, где $h_{пор}$ — пороговая величина СВЧ магнитного поля накачки, при которой начинается возбуждение ПСВ. Видно, что при $\zeta_1 > 1$ для заметного изменения нормированного времени скола необходим сдвиг частоты накачки порядка частоты релаксации γ_k (несколько сот килогерц), причем этот сдвиг растет с увеличением надкритичности ζ_1 . Варьирование в широких пределах величиной t_1 и δ (от 0 до 30 мксек) не существенно влияют на характер кривых на рис. 2. При $\delta > 30 \text{ мксек}$

связь между импульсами отсутствует. С помощью рис. 2 можно приблизительно оценить интервал возбуждения спиновых волн $\Delta\omega_k$ первой накачкой. Для этого необходимо считать, что уровень ПСВ, созданный первой накачкой на частоте второй накачки в момент ее включения равен $N(\omega + \Delta\omega)$. Тогда можно записать простые соотношения

$$N(\omega + \Delta\omega) \exp[2\gamma_k(\zeta_2 - 1)t_2] = n_0 \exp[2\gamma_k(\zeta_2 - 1)t_{2max}] = N,$$

$$N(\omega) \exp[2\gamma_k(\zeta_2 - 1)t_{2min}] = n_0 \exp[2\gamma_k(\zeta_2 - 1)t_{2max}] = N,$$

где n_0 — тепловой уровень спиновых волн. Интервал возбуждения ПСВ определяется отсюда с помощью условия $N(\omega + \Delta\omega) = 0,5N(\omega)$, которое приводит к величине $\Delta\omega_k$ также имеющей порядок величины частоты релаксации спиновых волн γ_k ; здесь $\Delta\omega_k$ и γ_k — круговые частоты.

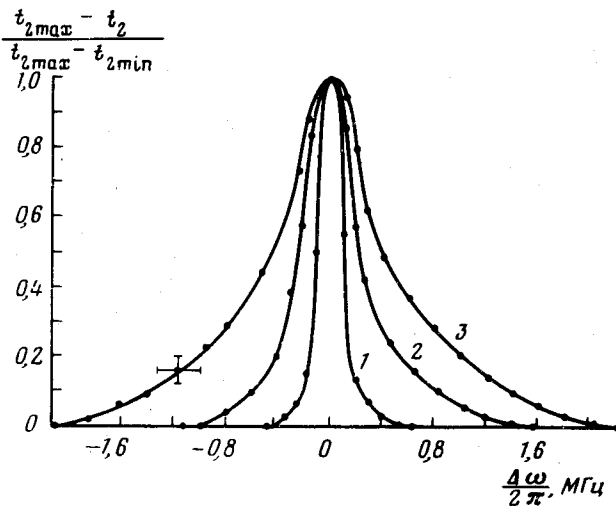


Рис. 2. Зависимость нормированного времени скола на втором импульсе от разности частот первого и второго импульсов: $(\gamma_k/2\pi) = 0,033$ МГц, $k \approx 10^5$ см⁻¹, $\delta = 5$ мксек, $t_1 = 200$ мксек, $\zeta_2 = 1,085$, $t_{2max} = 200$ мксек, $t_{2min} = 30$ мксек. Кривая 1 — $\zeta_1 = 0,945$; 2 — $\zeta_1 = 1$; 3 — $\zeta_1 = 1,59$.

Приведенные результаты не находят объяснения в теории параметрического возбуждения спиновых волн [1, 2], они же противоречат и некоторым экспериментальным работам [3, 4], где характерный частотный масштаб системы ПСВ не превышает десятка килогерц. Они также не могут быть объяснены нестабильностью частоты СВЧ генератора, которая специально исследовалась с помощью высокочастотного анализатора спектра С4-27 в результате чего было установлено, что эта нестабильность за время t_2 (≤ 200 мксек) не превышает 10 кГц. Для объяснения полученных результатов можно предположить, что частотный интервал возбуждения ПСВ $\Delta\omega_k$ существенно больше теоретического [1, 2] и составляет величину порядка частоты релакса-

ции ПСВ. В пользу этого объяснения говорят и результаты работы [5], где для объяснения скорости затухания продольной сверхвысокочастотной намагниченности пришлось сделать точно такое же предположение.

Отметим в заключение интересное обстоятельство: экспериментальный метод, используемый в работе, позволяет уверенно регистрировать допороговое возбуждение ПСВ при параллельной накачке в ферритах. Для иллюстрации этого на рис. 2 приведена экспериментальная кривая, измеренная при $\zeta_1 = 0,945$; вообще же измерения возможны при $\zeta_1 \geq 0,91$.

Авторам приятно выразить благодарность В.С.Львову, Л.А.Прозоровой, А.И.Смирнову и В.Б.Черепанову за многочисленные и полезные обсуждения результатов работы.

Киевский государственный университет
им. Т.Г. Шевченко

Поступила в редакцию
8 апреля 1980 г.

После переработки
11 июня 1980 г.

Литература

- [1] E.Schlomann, R.Joseph. J. Appl. Phys., 32, 1006, 1961.
 - [2] В.Е.Захаров, В.С. Львов, С. С. Старобинец. УФН, 114, 609, 1974.
 - [3] Л.А.Прозорова, А.И.Смирнов. ЖЭТФ, 67, 1952, 1974.
 - [4] И.В.Круценко, В.С.Львов, Г.А.Мелков. ЖЭТФ, 75, 1114, 1978.
 - [5] В.С.Житнюк, Г.А.Мелков. ЖЭТФ, 75, 1755, 1978.
-