

05:09
©1995**СТИМУЛЯЦИЯ ТРЕХМАГНОННОГО РАСПАДА
МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН
ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ НАКАЧКОЙ***Г.Т.Казakov, А.В.Кожевников, Ю.А.Филимонов*

1. Влияние дополнительного сигнала накачки на амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) линии задержки на поверхностных магнитостатических волнах (ПМСВ) исследовалось в работах [1-3]. Было обнаружено, что, когда накачка возбуждала ПМСВ частотой $f_p > 2f_{th} = 2f_{min}$, где f_{min} -минимальная частота в спектре спиновых волн (СВ) пленки, и мощностью P_p больше пороговой [4], для трехмагнотных распадов P_{th} в АЧХ возникали полосы ослабления сигнала как на частоте f_p , так и на частотах сателлитов F_s , рождаемых накачкой [5,6]. Кроме того, в работах [1,3] наблюдался рост порога нелинейности P_{th} слабого сигнала в некоторой области частот вблизи f_p . Причину возникновения указанных особенностей связывали с влиянием параметрических СВ, рождаемых накачкой, как на возбуждение, так и на распространение слабого (допорогового) сигнала ПМСВ в ферритовой пленке. Однако механизм, через который параметрические СВ влияют на указанные процессы, в работах [1-3] не обсуждался.

Цель данной работы — исследовать один из возможных механизмов влияния накачки на распространение слабого сигнала, проявляющийся в стимуляции (снижении порога) трехмагнотного распада. Существование такого механизма следует ожидать исходя из того, что величина порога определяется затуханием магнонов, которое под влиянием волны накачки в некоторой части пленки может быть скомпенсировано.

Мы рассмотрим действие этого механизма в условиях, когда возбуждение и прием слабого сигнала осуществляются преобразователями, расположенными вне области существования параметрических СВ. Тогда влиянием накачки на возбуждение и прием слабого сигнала можно пренебречь и все особенности в распространении слабого сигнала связать с его прохождением через неравновесную область пленки.

Указанные условия можно реализовать, если волну накачки возбуждать дополнительным преобразователем, по-

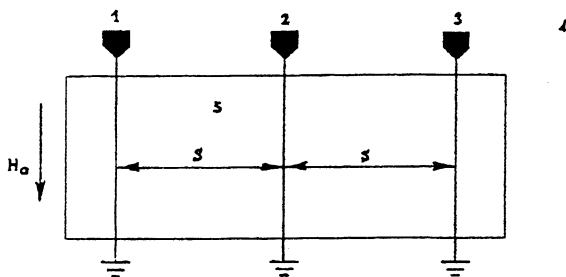


Рис. 1. Макет линии задержки: 1-3 — микрополосковые преобразователи, 4 — поликор, 5 — ферритовая пленка.

мещенным между преобразователями, используемыми для возбуждения и приема слабой ПМСВ, на расстояниях S , больших протяженности L “неравновесного” участка пленки: $S > L$.

Отметим, что идея использования отдельного преобразователя для возбуждения волны накачки была предложена в работе [3]. Однако в работе [3] условие $S > L$ нарушалось с ростом P_p . При этом накачка характеризовалась сравнительно небольшой надкритичностью, так как не обеспечивала рождения кинетической неустойчивости параметрических СВ [7].

2. Исследования проводились с помощью макета линии задержки на МСВ, состоящего из трех расположенных параллельно друг другу на равных расстояниях $S = 3.5$ мм преобразователей длиной 4 мм и шириной 40 мкм (рис. 1). На преобразователях размещались образцы эпитаксиальных пленок железиттриевого граната (ЖИГ) на подложках гадолиний-галлиевого граната ориентации (111). Пленки имели параметры: намагниченность насыщения $4\pi M_0 = 1750$ Шс, ширина линии ферромагнитного резонанса $\Delta H = 0.2 \dots 0.3$ Э, поля кубической (H_c) и нормальной одноосной (H_u) анизотропии $H_c = -40$ Э и $H_u = -10$ Э, толщины $d_1 = 5.1$ мкм и $d_2 = 44$ мкм и планарные размеры 30×5 мм². Макет помещался в однородное магнитное поле $H_0 = 200 \dots 660$ Э, которое ориентировалось параллельно преобразователям, что соответствовало возбуждению ПМСВ.

Далее на один из преобразователей подавался сигнал накачки с частотой $f_p = 3 \dots 3.5$ ГГц и мощностью $P_p \leq 60$ мВт. При этом два других использовались для исследования амплитудно-постоянных характеристик (АЧХ) сигнала ПМСВ частотой $f' = 2 \dots 4$ ГГц и мощностью

$P' = 0.01 \dots 1$ мкВт, где нижний предел обуславливался чувствительностью измерительной установки. Сигнал с выхода преобразователя 3 через режекторный фильтр, настроенный на частоту накачки f_p , подавался на анализатор спектра и панорамный приемник.

Прежде всего определялись условия локализации накачки, когда при подаче накачки на преобразователь 2 в область ее действия не попадают преобразователи 1 и 3 (рис. 1). С этой целью сигнал накачки подавался на преобразователь 1, тогда как преобразователи 2 и 3 служили для возбуждения и приема слабого (допорогового) сигнала. Накачка считалась локализованной, если при мощности $P_p = P_{\max} = 60$ мВт ее включение не меняло вид АЧХ передачи слабого сигнала, полученной с помощью преобразователей 2 и 3.

Оказалось, что для выбранного расстояния между преобразователями ($S = 3.5$ мм) локализации накачки в исследуемых пленках можно добиться, если ее частота превышает граничную для трехмагнанных распадов: $f_p > f_{th}$. В том случае, когда частота f_p находилась в пределах АЧХ макета, она определялась экспериментально, как частота, на которой отсутствует вызываемое трехмагнанным распадом ограничение выходной мощности ПМСВ. С Другой стороны, величину f_{th} можно оценить с помощью соотношения

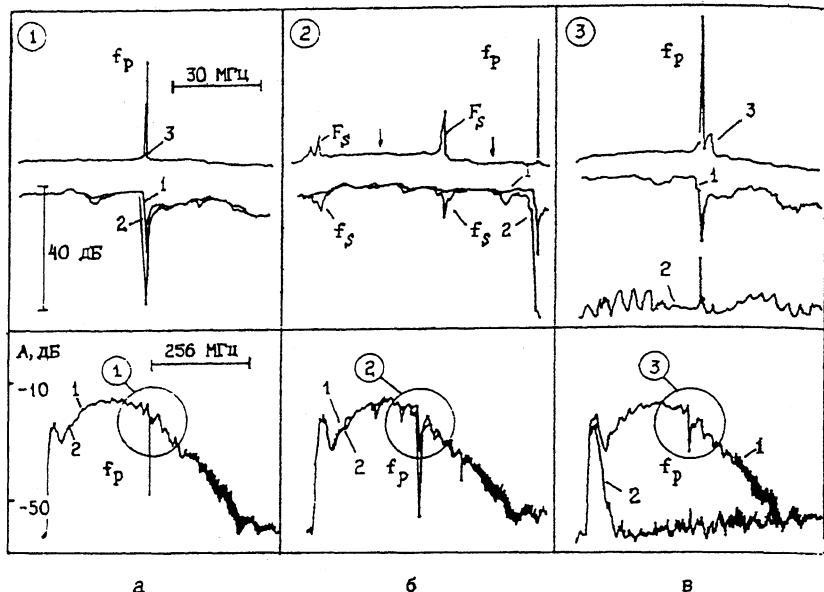
$$f_{th} = 2\sqrt{f_H^2 + f_H f_a - 2 \cos^2(3\phi) f_c^2}, \quad (1)$$

где $f_H = \gamma(H_0 = \alpha M_0 Q^2)$, $f_a = \gamma(2H_u - H_c)$, $f_c = -\gamma H_c$, ϕ — угол между кристаллографическим направлением [110] и полем H_0 , γ — гиромангнитное отношение, $\alpha = 2A/M_0^2$, $A = 6.4 \cdot 10^{-7}$ Эрг/см-обменная жесткость, $Q \approx 10^5 - 10^6$ см $^{-1}$ — волновое число СВ.

Таким образом, при подаче накачки частотой $f_p > f_{th}$ на преобразователь 2 она не влияет на возбуждение и прием ПМСВ преобразователями 1 и 3. При этом накачка на пути распространения волны создает участок пленки с неравновесным распределением СВ.

Для этого случая на рис. 2 показано изменение АЧХ макета с пленкой толщиной $d_1 = 5.1$ мкм в зависимости от уровня надкритичности $C = 10 \lg(P_p/P_{th})$ накачки. На вставках показан спектр сигнала накачки, снятого с выходного преобразователя. Отметим, что мощность слабого сигнала не превышала пороговой для трехмагнанных распадов, которая в рассматриваемом случае всегда оказывалась $P_{th} > 4$ мкВт.

Видно, что при $C > 0$ дБ в АЧХ ПМСВ на частотах накачки и рождения спутников присутствуют полосы



а

б

в

Рис. 2. Изменение АЧХ передачи ПМСВ для пленки $d_1 = 5.1$ мкм с микрополоска 1 в 3 в зависимости от уровня надкритичности накачки C : а — $C = 0.8$ дБ; б — $C = 12.5$ дБ; в — $C = 21.5$ дБ. Цифрами 1, 2 и 3 обозначены: 1 и 2 — АЧХ при значениях $C < 0$ и $C > 0$ соответственно; 3 — спектр сигнала накачки на выходе. Масштаб координат для всех рисунков одинаков. $f_p = 3424$ МГц, $k_p = 361.0$ см $^{-1}$, $H_0 = 530$ Э.

ослабления. В диапазоне значений $C = 0 \dots 4$ дБ полоса ослабления в АЧХ формируется вблизи частоты накачки (рис. 2, а). При надкритичности $C = 5 \dots 15$ дБ полосы ослабления возникают на дополнительных частотах f_s , которые частично соответствуют частотам спутников F_s в спектре накачки и имеют одинаковую с ними динамику при изменении параметров H_0 и C [5,6,8]. Однако для некоторых полос ослабления в АЧХ не находится аналогов в спектре накачки (рис. 2, б). При надкритичностях $C > 15 \dots 20$ дБ ПМСВ испытывает ослабление в полосе частот $f' > f_{th}$, что обусловлено кинетической неустойчивостью СВ [7] (рис. 2, в).

В целом, для значений $C < 15$ дБ характер трансформации АЧХ с ростом P_p аналогичен приведенному в работах [1-3]. Однако в отличие от [1,3] какого-либо порога по мощности слабого сигнала P' (во всяком случае для $P' > 0.01$ мкВт) при возникновении полос ослабления не наблюдалось при любых уровнях надкритичности накачки.

3. Наблюдаемые полосы ослабления в АЧХ слабого сигнала следует связать с процессами трехмагнного распада ПМСВ, которые она испытывает, попадая в область дей-

ствия накачки. При этом должны быть выполнены законы сохранения

$$f' = f_{k_1} + f_{k_2}, \quad k = k_1 + k_2 \quad (2)$$

где f' и k' — частота и волновой вектор ПМСВ, k_j и f_{k_j} , $j = 1, 2$ — волновые вектора и частоты СВ. Величина пороговой мощности ПМСВ определяется частотой релаксации СВ ν_{k_j} на частотах f_{k_j} . В тех случаях, когда СВ, удовлетворяющие (2), находятся к тому же во взаимодействии с накачкой, их затухание оказывается полностью скомпенсировано при мощности накачки $P_p > P_{th}$. При этом порог нелинейности слабого сигнала должен отсутствовать [9].

Отметим, что в сферах ЖИГ частота релаксации СВ в присутствии однородной дополнительной накачки могла как уменьшаться, так и расти при надкритичности $C = 5 \dots 7$ дБ [10]. В нашем случае благодаря локальности действия накачки этого не происходит даже при надкритичности $C > 30$ дБ. Действительно, если даже в какой-то части области действия накачки число параметрических СВ, рождаемых накачкой, окажется достаточным для того, чтобы вызвать рост частоты релаксации СВ ν_{k_j} , участвующих в процессах (2), то на границе области локализации распределение СВ и их частота релаксации не отличаются от равновесных. Поэтому внутри области локализации всегда находится участок пленки, где затухание СВ скомпенсировано накачкой и порог трехмагнетонного распада ПМСВ снижен.

Характерно, что в тех случаях, когда в спектре накачки присутствовали спутники F_s , накачка не приводила к увеличению числа каналов распада слабого сигнала ПМСВ относительно накачки. Это можно видеть из рис. 2, б, сравнив вид АЧХ и спектра накачки в случае $C = 13$ дБ, где стрелками показано положение частот f' , на которых в результате распадов вида (2) могли бы рождаться СВ с частотами, равными половинным частотам двух соседних спутников.

Работа поддержана грантами РФФИ и фонда Альберта Слоана, присужденными Американским Физическим Обществом.

Список литературы

- [1] Чивилева О.А., Анисимов А.Н., Гуревич А.Г. и др. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. Вып. 24. С. 1497-1501.
- [2] Вашковский А.В., Зубков В.И., Локк Э.Г., Никитов С.А. // ФТТ. 1988. Т. 30. N 3. С. 827-832.
- [3] Анисимов А.Н., Чивилева О.А., Гуревич А.Г. // ФТТ. 1990: Т. 32. N 6. С. 1622-1628.

- [4] Калиникос Б.А. // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. Вып. 13. С. 811-814.
[5] Медников А.М. // ФТТ. 1981. Т. 23. N 1. С. 242-245.
[6] Темиряев А.Г. // ФТТ. 1987. Т. 29. N 2. С. 313-319.
[7] Дудко Г.М., Казаков Г.Т., Кожевников А.В., Филимонов Ю.А. // Тез. докл. рег. конф. "Спин-волновые явления электроники СВЧ". Краснодар, 1987. С. 119-120.
[8] Мелков Г.А., Шолом С.В. // ЖЭТФ. 1989. Т. 96. Вып 2. С. 712-719.
[9] Гуревич А.Г. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках. М.: Наука, 1973. С. 591.
[10] Мелков Г.А. // ФТТ. 1975. Т. 17. N 6. С. 1728-1733.

Институт радиотехники
и электроники РАН
Саратовский филиал

Поступило в Редакцию
20 августа 1994 г.
В окончательной редакции
7 апреля 1995 г.