

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ БЕГУЩИХ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН В ТОНКИХ ФЕРРИТОВЫХ ПЛЕНКАХ

Г. А. Мелков, С. В. Шолом

Преобразование частоты в ферромагнетиках известно уже более 30 лет [1]. Изучены все возможные режимы работы, и на объемных образцах ферритов проведено большое количество экспериментов, имеющих конечной целью создание смесителей СВЧ. Однако эффективность ферритовых смесителей оказалась существенно меньшей, чем у известных полупроводниковых устройств [2]. В ферритовых пленках явление преобразования частоты может быть использовано для других целей, а именно для управляемого изменения частоты бегущей магнито-статической волны (МСВ). Для осуществления процесса преобразования необходимо выполнить ряд условий, обусловленных законами сохранения энергии и импульса. Пусть f_1, k_1 — соответственно частота и волновой вектор входной МСВ; f_H, k_H — частота ($f_H > f_1$) и волновой вектор дополнительного сигнала накачки. В результате преобразования частоты возникает выходная МСВ с частотой $f_2 = f_1 - \Delta f$ и волновым вектором k_2 , при этом

$$f_2 = f_H - f_1, \quad k_2 = k_H - k_1. \quad (1)$$

В роли накачки может выступать одна из МСВ (в этом случае эффективность преобразования наиболее велика), но технически более удобным является случай квазигоднородной

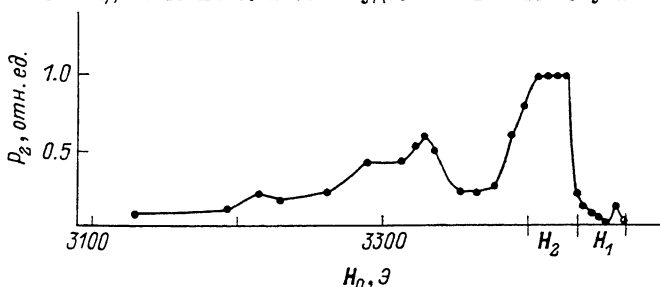


Рис. 1.

накачки, когда $k_1, k_2 \gg k_H \approx 0$ и $k_2 \approx -k_1$, т. е. входная и выходная волны должны иметь равные, но противоположно направленные волновые векторы. Если в качестве входной и выходной МСВ используются одинаковые волны, например прямая и обратная поверхностные МСВ, то условие $k_2 \approx -k_1$ означает $f_2 = f_1$, т. е. $\Delta f = 0$ (с учетом конечной ширины линии МСВ ΔH_k изменение частоты может достигать значения $|\Delta f| \sim \gamma \Delta H_k$). Это, по-видимому, имело место при преобразовании частоты МСВ в касательно намагниченных пленках ЖИГ, где изменение частоты МСВ не превышало ~ 5 МГц [3]. Существенное увеличение значения $|\Delta f|$ может быть получено при использовании для преобразования двух разных МСВ, например двух прямых объемных МСВ в нормально намагниченной ферритовой пленке, отличающихся индексом n , т. е. числом вариаций намагниченности по толщине пленки. При этом при одинаковых значениях волнового вектора $k_1 \approx k_2$ разность частот МСВ может достигать сотен мегагерц, на такую же величину может быть осуществлено и изменение частоты бегущей МСВ.

В данной работе исследовалось преобразование частоты прямой объемной магнито-статической волны (ПОМСВ) в нормально намагниченной пленке ЖИГ с геометрическим размером $7 \times 8 \times 22 \cdot 10^{-3}$ мм (ширина линии ФМР $\Delta H = 0.7$ Э), плоскость пленки совпадала с кристаллографической плоскостью (111). На входной преобразователь (медная незаземленная проволока диаметром 25 мкм, наклеенная на поверхность ЖИГ) подавался сигнал частоты f_1 . В области аналогичного выходного преобразователя, расположенного на расстоянии ~ 3 мм от входного, располагался диэлектрический резонатор (ДР) на частоту накачки f_H . Пленка с резонатором и антеннами помещалась внутри трехсантиметрового волновода, по которому подавался сигнал накачки, возбуждавший ДР. Вектор магнитного поля накачки на поверхности пленки был параллелен внешнему постоянному магнитному полю H_0 , т. е. осуществлялся, согласно [1], второй случай преобразования частоты. На приемной антенне

наряду с сигналами на частотах f_1 и f_H регистрировался сигнал на разностной частоте $f_2 = f_H - f_1$, амплитуда которого зависела от постоянного магнитного поля и мощности накачки. Чтобы предотвратить нагревание образца и ДР, использовался импульсный режим работы: длительность импульсов ~ 30 мкс, частота повторения 10 Гц.

На рис. 1 представлена зависимость мощности P_2 выходного сигнала на частоте f_2 от внешнего постоянного магнитного поля H_0 при $\Delta f = 96$ МГц. На рис. 1 H_1 и H_2 — теоретически рассчитанные значения постоянного магнитного поля, ниже которых в спектре МСВ появляются волны с частотами соответственно f_1 и f_2 . Как и следовало ожидать, эффективное преобразование частоты происходит в области полей $H_0 < H_2$, где существуют МСВ с собственными частотами f_1, f_2 . При $H_0 > H_1$, где собственные частоты всех МСВ выше и f_1 , и f_2 , преобразование вообще отсутствует. При $H_0 < H_2$ наблюдаются быстрые резонансные осцилляции выходной мощности P_2 при изменении H_0 (на рис. 1 показаны лишь огибающие этих осцилляций), обусловленные попаданием частот f_1 и f_2 в резонанс к ПОМСВ с различными индексами n . Однако, согласно рис. 1, существует и общая тенденция уменьшения эффективности преобразования с уменьшением поля, связанная, по-видимому, с ростом как волновых векторов возбуждаемых МСВ k_1 и k_2 , так и их индексов. Заметная эффективность преобразования наблюдалась обычно в диапазоне полей ≤ 400 Э, что соответствует возбуждению волн с $k_1, k_2 \leq 10^3$ см $^{-1}$.

Зависимости, аналогичные показанной на рис. 1, наблюдались при $|\Delta f| \leq 100$ МГц. С ростом Δf эффективность преобразования из-за увеличения индекса МСВ падала, в связи с чем изменение частоты бегущей МСВ в наших экспериментах наблюдалось в пределах $-210 < \Delta f < \times 240$ МГц.

На рис. 2 представлена зависимость эффективности преобразования частоты, т. е. отношение выходной мощности P_2 на частоте f_2 к выходной мощности P_1 на частоте f_1 , от мощности накачки P_H . С ростом P_H эффективность преобразования увеличивается и достигает -30 дБ при $P_H \sim 500$ мВт. Дальнейший рост мощности накачки приводит к уменьшению эффективности преобразования из-за возникновения параметрического возбуждения накачкой спиновых волн.

В заключение заметим, что накачка для упрощения конструкции и расширения широкополосности может подаваться на пленку не через ДР, а непосредственно на приемный преобразователь. Однако ясно, что здесь возникают трудности с селекцией слабого сигнала частоты f_2 на фоне мощного сигнала накачки.

Список литературы

- [1] Гуревич А. Г. Ферриты на сверхвысоких частотах. М.: Физматгиз, 1960. 407 с.
- [2] Левин Л. // Нелинейные свойства ферритов в полях СВЧ / Под ред. А. Л. Микаэляна. М.: ИЛ, 1963. С. 91—109.
- [3] Пылаев Е. С. // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 6. С. 1229—1232.

Киевский государственный университет
им. Т. Г. Шевченко

Поступило в Редакцию
10 июня 1988 г.

ВЛИЯНИЕ ПОКРЫТИЯ ТЕПЛОЫДЕЛЯЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА НА СКОРОСТЬ ВОЛНЫ СМЕНЫ РЕЖИМОВ КИПЕНИЯ

С. И. Захарченко, В. Б. Митюшин, Л. М. Фишер

Изучению процессов кипения жидкости на металлической нити, нагреваемой током, посвящено множество работ (см., например, [1]). Как известно, переход между различными режимами кипения имеет характер волны переключения. Возникающая границы раздела