

ЭХО МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ МОД В ПЛЕНКАХ ЖИГ

А.А.Серга, А.В.Тычинский

Киевский университет им. Тараса Шевченко

252017 Киев, Украина

Поступила в редакцию 1 ноября 1993 г.

После переработки 14 февраля 1994 г.

Приводятся результаты эксперимента по наблюдению эха в касательно намагниченных эпитаксиальных пленках железо-иттриевого граната (ЖИГ) при возбуждении магнитостатических волн, имеющих фиксированные направления распространения относительно поля подмагничивания. Результаты подтверждают предположение о связи эхо-процесса в пленках ЖИГ с распространяющимися вблизи критических углов медленными поверхностными магнитостатическими волнами.

Для эффективной генерации эха в любой физической системе, как известно, необходимо выполнение условий:

$$\Delta t \ll T_1, T_2, T_2^*,$$

$$T_2 > \tau > T_2^*,$$

$$T_1 \geq T_2 \geq T_2^*,$$

где T_1 – время энергетической релаксации, T_2 – время необратимой фазовой релаксации, T_2^* – время обратимой фазовой релаксации, Δt – длительность импульсов возбуждения, τ – интервал времени между возбуждающими импульсами [1]. Для эха магнитостатических мод последнее условие требует возбуждения магнитостатических колебаний в полосе частот $\Delta f \gg T_2^{-1}$, где $T_2 \approx 0,3$ мкс.

Эхо в пленках ЖИГ ранее наблюдалось при наличии сильного градиента (≈ 200 Э/мм) внешнего магнитного поля на частотах, соответствующих поверхностным магнитостатическим волнам (ПМСВ) с $k \approx 70$ см $^{-1}$ [2], либо в однородном поле вблизи частоты ферромагнитного резонанса ω_1 [3]. В работе [2] необходимый для генерации эха разброс резонансных частот создавался, как и в объемных образцах ЖИГ, сильно неоднородным полем подмагничивания. Попытка же в [3] связать вышеуказанный разброс с неоднородностью внутренних полей в пленке ЖИГ вызывает определенные сомнения, поскольку, как известно [4], диполь-дипольное взаимодействие усредняет резонансные частоты в различных точках образца и уширения линии ферромагнитного резонанса не происходит. Более вероятное, на наш взгляд, объяснение может быть найдено, если обратить внимание на возможность наблюдения эха при размещении малой (диаметром ≤ 2 мм) приемно-передающей петлевой антенны в центре образцов – "шайб" с диаметром 60 мм и больше [3], когда для магнитостатических мод заведомо не реализуется резонаторный режим. Этот факт свидетельствует о том, что эхо генерируется магнитостатическими волнами, имеющими низкие групповые скорости (V_{gr}). Лишь при условии:

$$V_{gr} \leq L/2\tau, \quad (1)$$

где L – характерный размер используемой антенны, область эхо-генерации останется в окрестности антенны на время, соизмеримое с временем задержки сигнала отклика. Для $L = 2$ мм и максимального наблюдаемого нами в эксперименте значения $2\tau \approx 3$ мкс $V_{gr} \leq 0,1$ см/мкс. При этом обеспечиваются, как пространственное совмещение магнитостатических возбуждений от двух импульсов, так и эффективный прием сформированного эхо-сигнала. Особо отметим, что магнитостатические волны с низкой групповой скоростью и длинами волн намного меньшими характеристических размеров образца не ощущают влияния граничных условий, связанных с ограниченными размерами пленки, то есть имеют непрерывную дисперсионную характеристику. Такие волны могут быть возбуждены во всей частотной полосе, соответствующей спектру СВЧ импульсов и разброс частот, необходимый для генерации эха, обеспечивается здесь автоматически. Зависимости амплитуды двухимпульсного эха магнитостатических мод в пленках ЖИГ от угла между плоскостью образца и направлением внешнего магнитного поля, ранее полученные авторами [5,6], показали, что эхо генерируется лишь в случае малых углов между плоскостью пленки и постоянным внутренним магнитным полем – то есть, в режимах близких к касательному намагничиванию. Существующие при нормальном намагничивании прямые объемные магнитостатические волны с требуемой групповой скоростью имеют слишком большие волновые числа и практически не возбуждаются.

Учитывая вышесказанное, можно предположить, что непосредственное участие в генерации эха на частоте ω_1 принимают ПМСВ, распространяющиеся вблизи критических углов и имеющие вследствие сужения полосы существования как угодно низкую групповую скорость даже при малых (≈ 150 см $^{-1}$) волновых числах. Под критическим углом здесь понимается то минимальное значение угла между волновым вектором ПМСВ и направлением подмагничивающего поля, ниже которого волна данного типа не существует [7].

Для подтверждения выдвинутого предположения проведен эксперимент по наблюдению эха в касательно намагниченных образцах ЖИГ с диаметром от 20 до 60 мм при возбуждении магнитостатических волн, распространяющихся в заданных направлениях к внешнему магнитному полю. Возбуждение магнитостатических волн осуществлялось микрополосковой линией с шириной полоска $L \approx 0,4$ мм, на которой симметрично размещались образцы ЖИГ. Максимум диаграммы направленности в такой системе соответствует перпендикуляру к оси полоска, а изменение угла θ между направлением поля подмагничивания и направлением распространения волны осуществляется поворотом микрополосковой линии относительно фиксированного во внешнем магнитном поле образца. В данной системе взаимодействие переменной намагниченности происходило в основном с касательной компонентой СВЧ магнитного поля, а следовательно наиболее эффективно возбуждались волны, распространяющиеся перпендикулярно к направлению внешнего поля. Таким образом при приближении угла θ к нулю уменьшалась связь микрополосковой антенны с пленкой ЖИГ. Для компенсации влияния этого эффекта в процессе измерений, амплитуда возбуждающих импульсов изменялась так, что уровень мощности, рассеянной микрополосковой антенной, поддерживался неизменным.

Измерения проводились на частоте 1300 МГц для большого количества пленок (111) с намагниченностью насыщения ≈ 1750 Гс. Исследовались пленки с толщинами (s) от 0,95 мкм до 20 мкм. Эхо наблюдалось вблизи частоты

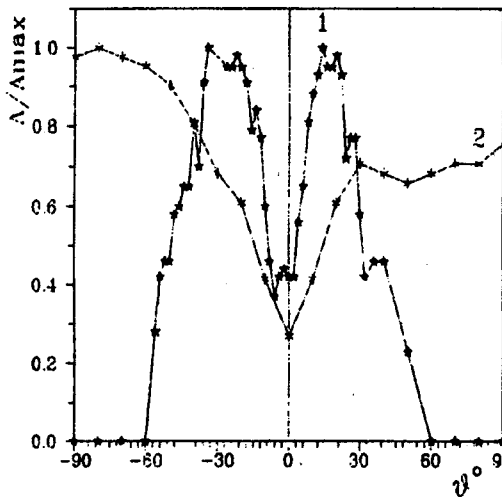


Рис.1. Зависимость относительной амплитуды эхо-сигнала от угла θ : кривая 1 – диаметр образца 60 мм, толщина пленки ЖИГ 6,11 мкм; кривая 2 – диаметр образца 25 мм, толщина пленки ЖИГ ≈ 1 мкм

ω_1 . Критический угол ПМСВ для соответствующих полей подмагничивания – порядка 14° . Типичные результаты приведены на рис.1. Уменьшение амплитуды эхо-сигнала в области малых углов на зависимостях 1, 2 соответствует направлениям, под которыми распространение ПМСВ невозможно, хотя из-за конечной ширины диаграммы направленности антенны, амплитуда эха здесь не уменьшается до нуля. Волновые числа магнитостатических волн, возбуждаемых используемой антенной, приблизительно оцениваются из выражения $k \leq 2\pi/L$ и составляют $\approx 150 \text{ см}^{-1}$. Отметим, что для ПМСВ с $k = 150 \text{ см}^{-1}$ в пленке толщиной 6 мкм условие (1) выполняется при $\theta \approx 20^\circ$. Это значение угла θ достаточно точно совпадает с положением максимумов на кривой 1.

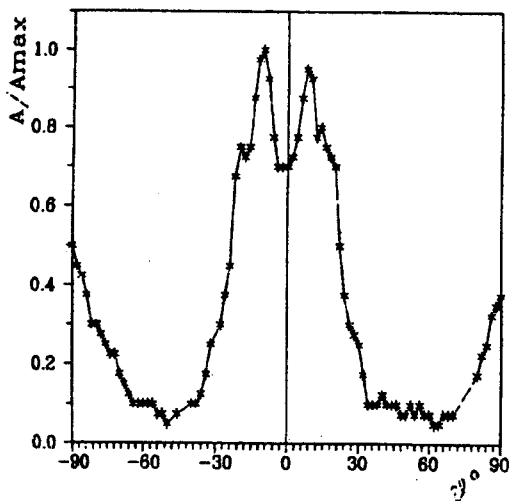


Рис.2. Зависимость относительной амплитуды эхо-сигнала от угла θ для образца с диаметром 20 мм и толщиной пленки ЖИГ 12,89 мкм

С возрастанием толщины пленки максимумы амплитуды эха становятся все более выраженными и, наоборот, для тонких пленок ($s \leq 1$ мкм) максимумы не прослеживались вовсе (рис.1, кривая 2). Такая тенденция объясняется обратно

пропорциональной зависимостью V_{gr} от s , обеспечивающей для тонких пленок выполнение условия (1) при значительно больших углах, чем для толстых.

Для образцов с диаметрами 20, 25 мм наблюдается рост амплитуды эха при $\theta = 90^\circ$ (рис.2), который может объясняться трансформацией на краю пленки хорошо возбуждаемых быстрых ПМСВ в медленные с последующей генерацией эха.

Таким образом, результаты эксперимента позволяют объяснить механизм формирования эха в пленках ЖИГ и связать его с конкретными типами магнитостатических возбуждений. Это полезно как в теоретическом плане, так и с точки зрения осознанного подхода к созданию устройств обработки СВЧ сигналов, использующих указанное явление.

-
1. У.Х.Копвиллем, С.В.Пранц, Поляризационное эхо, М.: Наука, (1985).
 2. F.Bucholtz, D.C.Webb, and C.W.Young, J. Appl. Phys. **56**, 1859 (1984).
 3. В.В.Данилов, А.В.Тычинский, Письма в ЖЭТФ, **38**, 269 (1983).
 4. S.M.Rezende and A.Azevedo, Phys. Rev. B**44**, 7062 (1991).
 5. О.О.Серга, О.В.Тичинский, УФЖ **38**, 763 (1993).
 6. A.A.Serga and A.V.Tychinsky, Digests of European Magnetic Materials & Applications Conference, Kőrsice, August 24-27, 1993, p.314.
 7. R.W.Damon and J.R.Eshbach, J. Phys. Chem. Solids **19**, 308 (1961).