

ФМР В ЗАМЫКАЮЩИХ ДОМЕНАХ В ДВУХСЛОЙНЫХ ГРАНАТОВЫХ ПЛЕНКАХ

В.Ф.Шкарь, И.М.Макмак, В.В.Петренко

Донецкий государственный университет

340055 Донецк, Украина

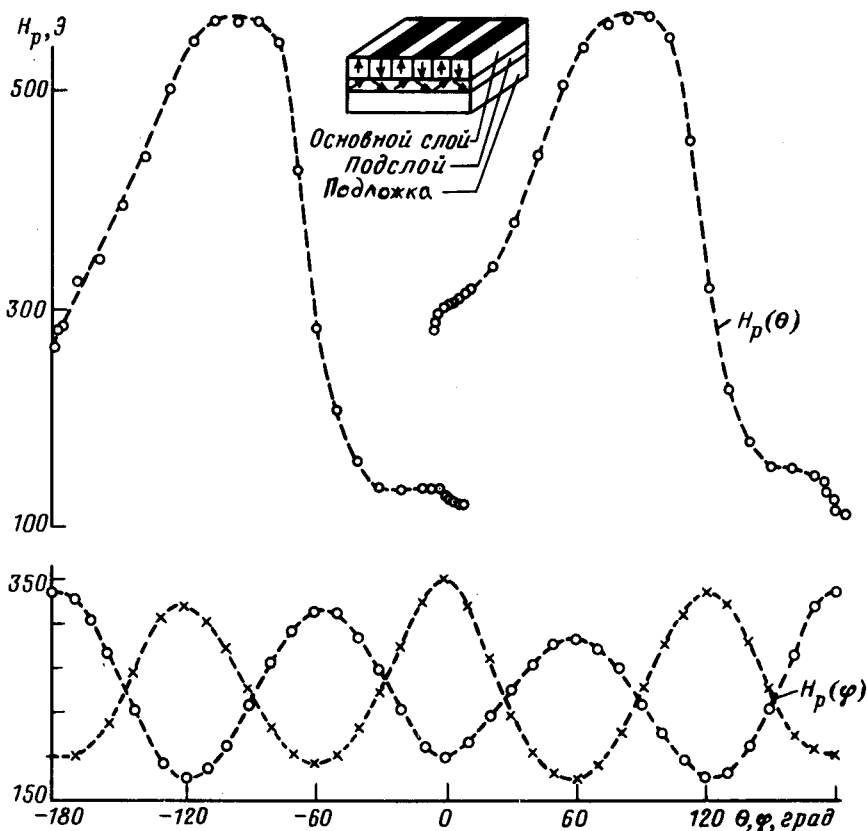
Поступила в редакцию 27 декабря 1991 г.

Обнаружены и исследованы магнитные резонансы в замыкающих доменах, находящихся в подслое, которые обусловлены наличием доменной структуры в основном слое с осью легкого намагничивания. Определена ориентация магнитных моментов в каждой из двух групп замыкающих доменов.

Взаимодействие магнитных слоев приводит к особенностям спин-волнового резонанса ¹ для насыщенного состояния феррит-гранатовой пленки, которые проявляются, в частности, в расталкивании линий ферромагнитного резонанса (ФМР). Взаимодействие магнитных доменов в однослойной пленке также может привести к расталкиванию мод доменного ФМР ². В настоящей работе методом ФМР исследовались двухслойные пленки с доменной структурой, полученные методом жидкофазной эпитаксии ³ на подложках (111) галлий-гадолиниевого граната. Первый наращиваемый на подложку слой $(Y, Gd, La)_3(Fe, Ga)_5O_{12}$ толщиной $d_1 \approx 0,05$ мкм и намагниченностью насыщения $4\pi M_1 = 380$ Гс, второй - $(Y, Eu, Tm, Lu)_3(Fe, Mn, Ga)_5O_{12}$ толщиной $d_2 = 2,85$ мкм и $4\pi M = 148$ Гс. Обменные константы в слоях равны $A_1 = 2,5 \cdot 10^{-7}$ эрг/см, $A_2 = 2 \cdot 10^{-7}$ эрг/см; гиромагнитные отношения $\gamma_1 = 1,76 \cdot 10^7$ 1/с·Э, $\gamma_2 = 1,47 \cdot 10^7$ 1/с·Э; константы затухания $\alpha_1 = 8 \cdot 10^{-3}$, $\alpha_2 = 2,7 \cdot 10^{-2}$; константы одноосной магнитной анизотропии $K_1^u = 0$, $K_2^u = 7,7 \cdot 10^3$ эрг/см³, кубической магнитной анизотропии $K_1 = 1,1 \cdot 10^3$ эрг/см³, $K_2 = 4,1 \cdot 10^2$ эрг/см³. Поле коллапса доменной структуры в основном (втором) слое $H_0 = 56$ Э, планарное поле насыщения основного слоя $H_{||} = 1060$ Э.

Исследования были проведены в диапазоне частот 0,4 – 10,5 ГГц при комнатной температуре. Когда поле было направлено в плоскости пленки, то в зависимости от азимутального угла φ на частоте 1,2 ГГц можно было наблюдать одну или две линии поглощения. Зависимость резонансных полей этих линий от φ показана на рисунке. Если поле было направлено вдоль оси типа $\langle 112 \rangle$, то расстояние между линиями было наибольшим, если вдоль оси типа $\langle 110 \rangle$, то линии совмещались и наблюдались на эксперименте как одна. Видно также, что каждая из зависимостей $H_p(\varphi)$ имеет три минимума и три максимума, причем минимум одной из них совпадает с максимумом другой. При стравливании основного слоя с 2,85 мкм до 1 мкм ход зависимостей $H_p(\varphi)$ и интенсивность линий не изменились. Этот факт, а также исследования ФМР от основного слоя на более высоких частотах (5-10 ГГц) свидетельствует о том, что наблюдаемые на частоте 1,2 ГГц резонансы возбуждаются в подслое.

Были проведены также исследования зависимости резонансных полей этих линий от полярного угла θ при двух значениях угла φ . В первом случае угол φ был выбран так, чтобы расстояние по полю (при $\theta = 0$) между линиями было максимальным, во втором случае, - чтобы линии совпадали. Результаты исследований (на частоте 1,2 ГГц) показаны на рисунке. В первом случае в исходном состоянии ($\theta = 0$) обе линии имели одинаковую интенсивность. При изменении угла θ в отрицательном направлении увеличивалась интенсивность низкополевой линии, а высокополевой - уменьшалась и при $\theta = -7^\circ$ она практически исчезла. При изменении θ в положительном направлении происходило



Зависимость резонансных полей H_p от полярного θ и азимутального φ углов

обратное явление, интенсивность высокополевой линии увеличивалась, а низкополевой - уменьшалась и при $\theta = 11^\circ$ она исчезала. Значения резонансных полей этих линий в указанном диапазоне углов изменялись незначительно. Во втором случае во всем диапазоне изменений угла θ наблюдалась одна линия ФМР.

Совокупность фактов обнаруженных в эксперименте можно объяснить в рамках простой модели замыкающих доменов в двухслойной структуре. Сущность ее заключается в том, что в основном слое в интервале планарных полей $0 - 1060$ Э существует доменная структура, а в подслое возникают замыкающие домены (см. вставку на рисунке). Когда внешнее магнитное поле равно нулю, вектор намагниченности в доменах основного слоя направлен нормально к плоскости пленки, поскольку поле одноосной анизотропии больше поля размагничивания образца. В поляризованном свете они будут наблюдаться как черные (вектор намагниченности направлен вниз) и белые (соответственно вверх) домены. Угол наклона магнитных моментов в замыкающих доменах будет определяться полем кубической анизотропии (одноосная равна нулю), размагничивающим полем и полем рассеяния ближайшего домена основного слоя. Будем считать, что существует две группы замыкающих доменов, - одна под черными, другая под белыми доменами. В общем случае в небольшом планарном магнитном поле разные группы доменов будут иметь разное значение угла наклона магнитного момента (за счет симметрии кубической анизотропии в (111) пленке). Только в том случае, когда поле будет

направлено вдоль оси типа $\langle 110 \rangle$ (в плоскости пленки их 6), значение углов будет одинаковым. Если же поле будет направлено вдоль оси типа $\langle 112 \rangle$ (в плоскости пленки их также 6), различие в углах наклона будет наибольшим. При возбуждении ФМР в таких доменах от каждой группы будет наблюдаться своя линия, а зависимости резонансных полей будут аналогичны показанным на рисунке. Если изменять поле по углу θ , то появится нормальная составляющая, которая изменит соотношение между черными и белыми доменами. Когда она достигнет величины поля коллапса доменов в основном слое, исчезнут и замыкающие домены, а следовательно и одна из линий ФМР.

Можно оценить величину полярного угла θ магнитных моментов замыкающих доменов следующим образом. На частоте 1,2 ГГц резонансное поле (планарное, вдоль оси $\langle 110 \rangle$) равно 240 Э и в подслое существуют замыкающие домены, на частоте 10,5 ГГц резонансное поле равно 3450 Э и подслоем однородно намагничен. Нормальные к пленке резонансные поля для указанных частот соответственно равны 640 Э и 4020 Э и подслоем так же намагничен до насыщения. Из этого следует, что если бы на частоте 1,2 ГГц подслоем в планарном поле был однородно намагничен, то резонансное поле было бы на 170 Э меньше. Для того, чтобы увеличить резонансное поле на 170 Э необходимо на частоте 10,5 ГГц вывести угол θ из плоскости пленки на 27° . Это и есть равновесное значение полярного угла замыкающих доменов, когда планарное поле в 240 Э направлено вдоль оси $\langle 110 \rangle$. Если поле направлено вдоль оси $\langle 112 \rangle$, то по зависимости $H_p(\varphi)$ на частоте 1,2 ГГц получим значение углов 16° и 38° для каждой группы доменов.

Авторы благодарны Е.И.Николаеву, В.Н.Саяпину и А.И.Линнику за предоставленные образцы и полезные дискуссии.

-
1. A.M.Grishin, V.S.Dellalov, V.F.Shkar et al., Phys. Lett. A 140, 133 (1989).
 2. M.Jirsa, V.S.Dellalov and V.F.Shkar, Phys. Stat. Sol. (a) 123, K61 (1991).
 3. Е.И.Николаев, И.А.Красин, Кристаллография 33, 478 (1988).