

05

Интенсивность линий поглощения мод спин-волнового резонанса при наноразмерных толщинах слоя закрепления

© А.М. Зюзин, С.Н. Сабаев, В.В. Радайкин, М.А. Бакулин

Мордовский государственный университет, Саранск
E-mail: zuzin.am.@rambler.ru

Поступило в Редакцию 25 декабря 2007 г.

Исследовано влияние толщины слоя закрепления на интенсивность линий мод спин-волнового резонанса в двухслойных монокристаллических пленках ферритов гранатов. Обнаружено, что в области наноразмерных толщин слоя закрепления, при одной из ориентаций внешнего магнитного поля относительно пленки, происходит периодическое изменение интенсивности линий. При значениях толщины, равной четверти длины спиновой волны в данном слое, происходит резкое (примерно в 3.5 раза) возрастание интенсивности линий.

PACS: 76.50.+g, 75.70.-i

Исследование структуры спектров спин-волнового резонанса (СВР), причин и механизмов, обуславливающих их особенности, представляет несомненный научный интерес [1,2]. Несмотря на большое число работ, посвященных исследованиям СВР, особенности, обусловленные влиянием слоя закрепления на спектры СВР изучены недостаточно подробно. Известные модели, описывающие СВР-модель поверхностной анизотропии или динамический механизм [1], не всегда позволяют объяснить особенности спектров, наблюдающихся в многослойных пленках, в частности поведение интенсивности линий поглощения спин-волновых (СВ) мод при наноразмерных толщинах слоя закрепления.

В настоящей работе исследована зависимость интенсивности линий поглощения мод СВР в двухслойных монокристаллических пленках ферритов-гранатов, в которых доминирующим являлся диссипативный механизм закрепления спинов [3,4]. Пленки были выращены методом жидкофазной эпитаксии на подложках из гадолиний-галлиевого граната с плоскостью (111) путем последовательного погружения в

два различных раствора в расплаве. Толщина слоев определялась интерференционным методом на однослойных аналогах, а для тонких слоев оценивалась по времени полного травливания. Первый, ближний к подложке слой (слой возбуждения стоячих гармонических мод) состава $Y_{2.98}Sm_{0.02}Fe_5O_{12}$ имел толщину $h_1 = 340$ нм, параметр затухания Гильберта $\alpha_1 = 0.003$, намагниченность насыщения $4\pi M_1 = 1740$ Г, эффективное поле одноосной анизотропии $H_1^{eff} = -1715$ Ое, поле кубической анизотропии $H_1^k = -82$ Ое, гиромагнитное отношение $\gamma_1 = 1.76 \cdot 10^7$ Ое $^{-1} \cdot$ с $^{-1}$. Второй слой (слой закрепления состава $Sm_{0.45}Er_{2.55}Fe_5O_{12}$) имел исходную толщину $h_1 = 310$ нм, $\alpha_2 = 0.2$, $4\pi M_2 = 1330$ Г, $H_2^{eff} = 96$ Ое, $H_2^k = -120$ Ое, $\gamma_2 = 1.38 \cdot 10^7$ Ое $^{-1} \cdot$ с $^{-1}$.

Регистрацию спектров СВР производили на радиоспектрометре, при частоте СВЧ-поля $9.34 \cdot 10^9$ Нз. Толщину слоя закрепления уменьшали путем химического травливания. Спектры СВР после каждого шага травления записывали при перпендикулярной и параллельной ориентациях внешнего постоянного магнитного поля \mathbf{H} относительно плоскости пленки.

При плавном уменьшении толщины h_2 слоя закрепления было обнаружено, что начиная со значений $h_2 \approx 250$ нм интенсивность I_n линий поглощения СВ-мод при параллельной ориентации внешнего магнитного поля относительно пленки периодически изменяется с толщиной. Это иллюстрирует рис. 1, а, на котором приведена соответствующая зависимость для третьей СВ-моды. Более того, как следует из рисунка, происходит сильное возрастание интенсивности в максимумах с уменьшением h_2 . При толщине $h_2 \approx 30$ нм интенсивность линий СВ-мод возрастает по сравнению с интенсивностью I_0 при исходной толщине слоя закрепления примерно в 3.5 раза для всех мод, за исключением нулевой. Дальнейшее уменьшение h_2 приводило к монотонному уменьшению до нуля интенсивности линий всех СВ-мод, кроме нулевой. Положения максимумов и минимумов на зависимостях I_n от h_2 для разных СВ-мод были несколько смещены относительно друг друга — с увеличением номера моды n экстремумы монотонно смещаются в сторону меньших значений h_2 . Отметим, что при параллельной ориентации \mathbf{H} относительно плоскости пленки слой закрепления (в интервале магнитных полей, соответствующих наблюдаемому спектру) находился в состоянии дисперсивной среды для спиновых волн, возбуждаемых на частоте СВЧ-поля.

На зависимостях $I_n(h_2)$ при перпендикулярной ориентации \mathbf{H} относительно плоскости пленки подобной картины не наблюдалось

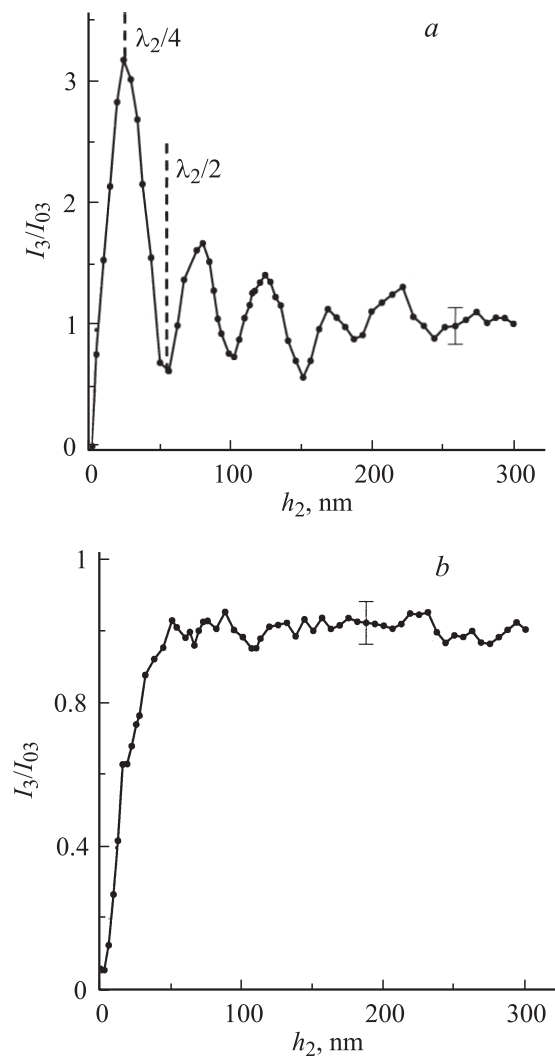


Рис. 1. Зависимость относительной интенсивности линии поглощения третьей СВ-моды от толщины слоя закрепления h_2 : *a* — параллельная ориентация; *b* — перпендикулярная ориентация. λ_2 — расчетное значение длины волны в слое закрепления.

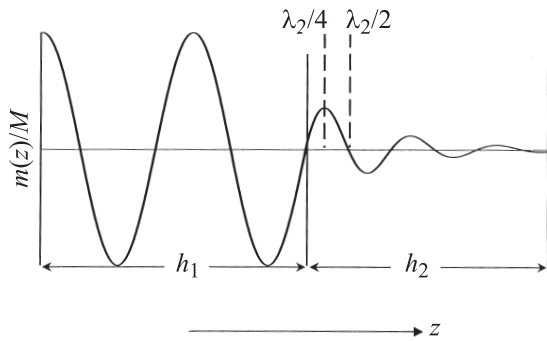


Рис. 2. Распределение нормированного значения переменной намагниченности по толщине слоев для третьей СВ-моды. Штриховые линии определяют толщины, соответствующие максимуму и минимуму на зависимости $I_3(h_2)$.

(рис. 1, *b*). В этом случае при уменьшении толщины h_2 интенсивности I_n оставались постоянными и лишь со значений $h_2 \approx 50$ nm, несколько больших, чем при параллельной ориентации, также начинали монотонно уменьшаться. Затем все линии, кроме линии соответствующей нулевой моде СВР, переставали наблюдаться в спектре.

Периодическое изменение интенсивности линий СВ-мод с уменьшением толщины можно связать с периодическим изменением степени закрепления спинов. Когда свободная поверхность слоя закрепления не совпадает с пучностью спиновой волны в этом слое, исходная, т.е. соответствующая большой толщине h_2 конфигурация спиновой волны (рис. 2) перестает удовлетворять граничному условию на свободной поверхности

$$\left. \frac{\partial m_2}{\partial z} \right|_{z=h_2} = 0. \quad (1)$$

Поэтому волна трансформируется таким образом, чтобы граничное условие (1) выполнялось. Такая трансформация приводит к существенному уменьшению интеграла возбуждения [4]

$$I_n \sim \frac{\left(\int_{-h_1}^0 m_1(z) dz + \int_0^{h_2} m_2(z) dz \right)^2}{\frac{\alpha_1}{\gamma_1 M_1} \int_{-h_1}^0 m_1^2(z) dz + \frac{\alpha_2}{\gamma_2 M_2} \int_0^{h_2} m_2^2(z) dz} \quad (2)$$

и, как следствие, уменьшению интенсивности. Здесь m_1 и m_2 — переменная намагничённость в первом и втором слоях соответственно. Когда же свободная поверхность слоя закрепления попадает на пучность спиновой волны, условие (1) выполняется. Это обеспечивает максимальное значение интеграла возбуждения и возрастание интенсивности линий поглощения СВ-мод.

Если рассматривать стоячую спиновую волну как суперпозицию падающей и отраженной от слоя закрепления, то возрастание амплитуды стоячей волны, а следовательно и интенсивности, можно объяснить увеличением коэффициента отражения от слоя закрепления при определенных значениях толщины этого слоя, т.е. для спиновых волн в двухслойной структуре имеет место зависимость коэффициента отражения от толщины слоя закрепления. Подобная зависимость для коэффициентов отражения прозрачного слоя от его толщины наблюдается в оптике [5].

Таким образом, в настоящей работе:

1. Обнаружено, что при наноразмерных толщинах слоя закрепления интенсивность линий возбуждаемых СВ-мод периодически изменяется с толщиной. Максимумы интенсивности существенно возрастают при уменьшении толщины этого слоя, достигая наибольших значений при толщине, равной четверти длины спиновой волны.

2. Обнаруженный эффект резкого возрастания интенсивности линий СВ-мод при наноразмерных толщинах слоя закрепления может быть объяснен увеличением коэффициента отражения спиновых волн от слоя закрепления. Данное явление может быть использовано при разработке „спиновых зеркал“ с управляемыми магнитным полем характеристиками.

Список литературы

- [1] *Hoekstra B., Van Stapele R.P.* // J. Appl. Phys. 1977. V. 48. С. 382.
- [2] *Даньшин Н.К., Деллалов В.С., Линник А.И.* и др. // ФТТ. 1999. Т. 41. С. 1452.
- [3] *Зюзин А.М., Сабаев С.Н., Куляпин А.В.* // ФТТ. 2002. 45. С. 2208.
- [4] *Зюзин А.М., Сабаев С.Н., Бажанов А.Г.* и др. // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 45. С. 33.
- [5] *Кизель В.А.* Отражение света. М.: Наука, 1973. 351 с.