

СПИН-ВОЛНОВОЙ РЕЗОНАНС В ПЛЕНКАХ ИТТРИЙ-ЖЕЛЕЗИСТОГО ГРАНАТА

В.Н.Дудоров, В.В.Рандошкин

В монокристаллических пленках феррит-гранатов (МПФГ) с достаточно малым затуханием (безразмерный параметр затухания Гильберта $\alpha < 0.03$) возможно возбуждение спин-волнового резонанса (СВР) [1-4]. Обсуждаются различные механизмы возбуждения СВР. В частности, для механизма динамического закрепления спинов число возбужденных спин-волновых мод в спектре СВР сильно зависит от ориентации внешнего магнитного поля H относительно плоскости пленки [3]. Наиболее богатый спектр СВР имеет место при ориентации поля перпендикулярно плоскости пленки. В двухслойных МПФГ с сильно различающимися значениями α в слоях реализуется диссипативный механизм возбуждения СВР однородным магнитным полем [4]. В отличие от динамического диссипативный механизм является изотропным, поэтому число возбужденных мод в спектре СВР для последнего механизма не зависит от ориентации внешнего магнитного поля.

Настоящая работа посвящена исследованию СВР в МПФГ состава $Y_3Fe_5O_{12}$. Пленки выращивали методом жидкофазной эпитаксии из переохлажденного раствора-расплава на основе $PbO-V_2O_5$ на подложки гадолиний-галлиевого граната с ориентацией (110) [5-7]. Исследования СВР проводили на частоте 9.34 GHz и при ориентации внешнего магнитного поля параллельно (H_{\parallel}) и перпендикулярно (H_{\perp}) плоскости пленки (параллельная и перпендикулярная ориентации соответственно), причем регистрировали производную сигнала поглощения [8]. МПФГ исследовали как непосредственно после выращивания, так и после их отжига на воздухе при температуре 900-1300° C, а также после их послойного химического травливания.

Типичные спектры СВР, полученные для образца толщиной 10.0 μ непосредственно после выращивания, приведены на рис. 1.

Более простым является спектр СВР при параллельной ориентации. Он представляет собой систему резонансных пиков плавно уменьшающейся амплитуды с примерно одинаковыми интервалами между ними. Главный резонансный пик, соответствующий однородной прецессии намагниченности, явным образом не выражен. Будем считать таковым пик, расположенный в наибольшем магнитном поле. Не исключено, что претендентом на роль главного является соседний к выбранному пику, поскольку он имеет наибольшую амплитуду. Строгое определение главного пика требует проведения большого числа дополнительных сложных экспериментов. Между тем возможная ошибка в определении намагниченности насыщения и параметров магнитной анизотропии в плоскости пленки из-за неверного выбора главного пика невелика (меньше интервала между пиками).

При перпендикулярной ориентации спектр СВР существенно более сложный (рис. 1). Резонансных пиков столь много, что затруднительно выявить закономерность в их расположении. Тем не менее видно, что

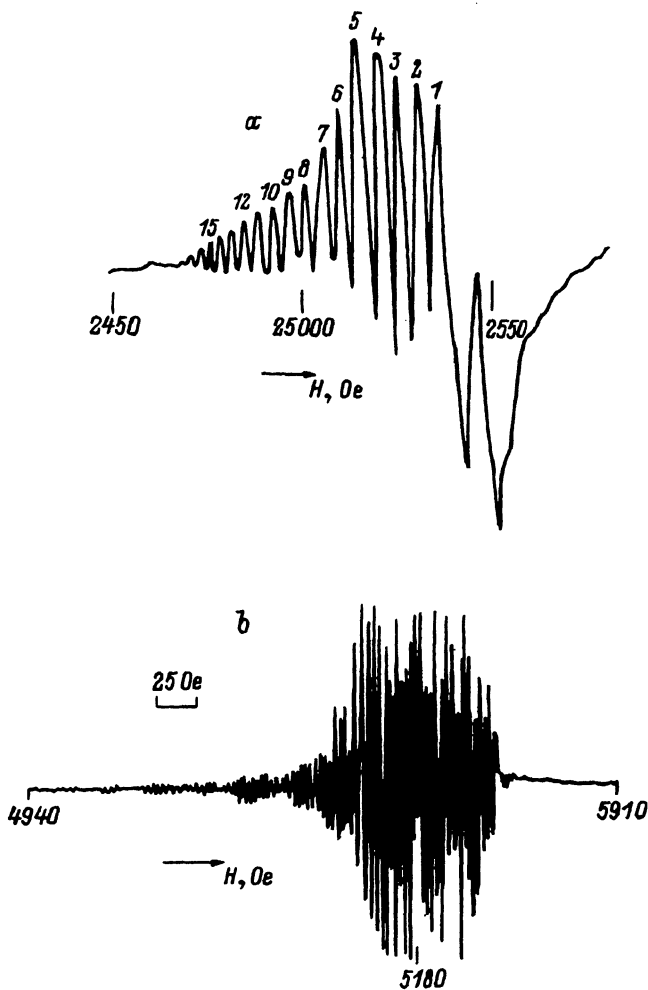


Рис. 1. Спектр СВР при ориентации внешнего магнитного поля параллельно (а) и перпендикулярно (б) плоскости пленки.

в низких полях (вне области полей, где локализованы наиболее интенсивные пики) наблюдается по крайней мере пять групп резонансных пиков с постепенно уменьшающейся амплитудой по мере продвижения в область низких полей.

Различие числа мод в спектрах СВР при двух ориентациях внешнего магнитного поля указывает на то, что в возбуждении СВР важную роль играет механизм динамического закрепления спинов. С другой стороны, достаточно сложный спектр при параллельной ориентации свидетельствует о наличии диссипативного механизма. Не исключено, что реализуются и иные механизмы возбуждения СВР.

Высокотемпературный отжиг при 1100°C привел к тому, что ненулевые моды, первоначально наблюдавшиеся в спектре при параллельной ориентации, исчезли. При перпендикулярной ориентации по-

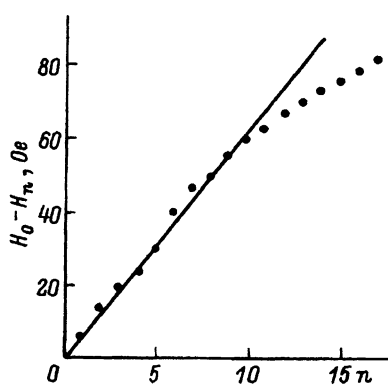


Рис. 2. Расположение пиков в спектре СВР. n — номер пика, $(H_0 - H_n)$ — разность резонансных полей и n -й мод.

ля спектр остался достаточно богатым, хотя и несколько изменился. Важно, что упомянутые группы резонансных пиков также исчезли.

Характер изменения спектров после отжига МПФГ свидетельствует о том, что ненулевые моды в спектре при параллельной ориентации и группы резонансных пиков в спектре при перпендикулярной ориентации являются поверхностными, поскольку именно поверхность образца наиболее чувствительна к воздействию отжига. Этот вывод подтверждает эксперименты по послойному стравливанию, приведшему к аналогичным результатам. На это также указывает большая «разряженность» спектра СВР при параллельной ориентации.

Не исключено, что возбуждение СВР в поверхностном слое обусловлено диссипативным механизмом, поскольку поверхностный слой МПФГ обогащен вносящими сильное затухание ионами свинца, являющегося основной частью раствора-расплава [2].

Частые пики в спектре СВР при перпендикулярной ориентации, сохраняющиеся после отжига и стравливания поверхностного слоя МПФГ, представляют собой объемные спин-волновые моды и скорее всего связаны с механизмом динамического закрепления спинов.

На рис. 2 показана зависимость положения пиков от номера спин-волновой моды. Видно, что расстояние между соседними пиками сначала остается постоянным, а при больших порядковых номерах даже несколько уменьшается.

Таким образом, в настоящей работе показано, что в МПФГ состава $Y_3Fe_5O_{12}$ одновременно реализуются по крайней мере два механизма возбуждения СВР. По-видимому, объемные спин-волновые моды возбуждаются посредством механизма динамического закрепления спинов, а поверхностные спиновые волны — посредством диссипативного механизма.

В заключение авторы выражают благодарность В.И.Козлову за помощь при проведении настоящей работы и обсуждении ее результатов.

Список литературы

- [1] Гуревич А.Г. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках. М.: Наука, 1973.
- [2] Рандошкин В.В., Червоненкис А.Я. Прикладная магнитооптика. М.: Энергоатомиздат, 1990. С. 320.
- [3] Зюзин А.М., Куделькин Н.И., Рандошкин В.В., Телеснин Р.В. // ЖТФ. 1983. Т. 53. № 1. С. 174-176.

- [4] Зюзин А.М., Куделькин Н.И., Рандошкин В.В., Телеснин Р.В. // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. № 3. С. 177-181.
 [5] Дудоров В.Н., Рандошкин В.В., Телеснин Р.В. // УФН. 1977. Т. 122. № 2. С. 253-294.
 [6] Дудоров В.Н., Милль Б.В., Телеснин Р.В. // ПТЭ. 1974. № 2. С. 245-247.
 [7] Телеснин Р.В., Дудоров В.Н. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1974. Т. 38. № 11. С. 2475-2478.
 [8] Телеснин Р.В., Козлов В.Н., Дудоров В.Н. // ФТТ. 1974. Т. 16. № 8. С. 3531-3534.

Мордовский государственный университет
 им. Н.П.Огарева
 Институт общей физики РАН
 Совместная хозрасчетная лаборатория
 «Магнитооптоэлектроника»
 Саранск

Поступило в Редакцию
 6 января 1994 г.

УДК 537.312.8

© Физика твердого тела, том 36, № 6, 1994
 Solid State Physics, vol. 36, N 6, 1994

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК ИЗ $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ В МИЛЛИМЕТРОВОМ РАДИОДИАПАЗОНЕ

Е.М.Ганопольский, А.В.Полев, И.Н.Чуканова

Ранее в ряде работ [1-5] было изучено поверхностное сопротивление R_s пленок из различных материалов с высокотемпературной сверхпроводимостью (ВТСП), в частности из $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, в слабых электромагнитных полях сантиметрового и миллиметрового радиодиапазонов. Эти исследования линейных электромагнитных свойств ВТСП-пленок имели в основном прикладную направленность и преследовали цель создания различных СВЧ-элементов — резонаторов, фильтров, линий задержки и т.п., которые по своим параметрам превосходят аналогичные элементы, использующие медные проводники. Поэтому основное внимание в них было уделено выяснению возможности получения остаточного поверхностного сопротивления $R_s \ll R_c$, где R_c — поверхностное сопротивление меди при температурах $T < T_c$, T_c — температура сверхпроводящего перехода. В противоположность линейным нелинейные электромагнитные свойства ВТСП-пленок на СВЧ, которые проявляются при достаточно сильных магнитных СВЧ полях, изучены крайне слабо. В то же время изучение таких свойств дает возможность построить реалистическую физическую модель ВТСП-пленки как объекта нелинейной электродинамики ВТСП-материалов.

Нелинейные свойства ВТСП-пленок наблюдаются в переменном магнитном поле СВЧ, амплитуда которого H_a имеет величину порядка первого критического магнитного поля H_{c1} , которое для $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ составляет несколько сотен эрстед [6]. Трудности в реализации таких полей в сантиметровом и особенно в миллиметровом радиодиапазонах, по-видимому, являются одним из основных препятствий для систематического изучения нелинейных свойств ВТСП-материалов.

В работе описывается оригинальный метод исследования и результаты изучения нелинейных свойств эпитаксиальных пленок из