

О НАБЛЮДЕНИИ СВЯЗАННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ЯДЕРНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ

А. Н. Погорелый, В. В. Котов

В [1] анализировались эффекты вызываемые динамическим взаимодействием электронной и ядерной спиновых систем в ферромагнитных пленках. Отмечалась возможность существования связанных электронно-ядерных колебаний в области пересечения невозмущенных спиновых ветвей. Их перепутывание происходит при наличии магнитной асимметрии в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля, так как только в этом случае имеются необходимые циркулярные компоненты в переменных составляющих электронного и ядерного моментов. Эти условия реализуются в магнитной пленке намагниченной в плоскости. Магнитная асимметрия для такой ориентации будет обусловлена размагничивающими факторами. Кроме того, из всех известных ферромагнитных материалов лишь в тонких пленках может быть осуществлена очень низкая частота ФМР [2] и, следовательно, легко реализовано пересечение электронной ветви с ядерной.

Объектом исследования выбрана пленка толщиной около 1000 \AA железоникелькобальтового сплава с содержанием последнего около 40%. Пленка обладала четко выраженной одноосной анизотропией в плоскости с угловой дисперсией $\sim 1,5^\circ$ и величиной поля анизотропии $(H_k) \sim 18 \text{ а}$ ФМР с достаточно узкой линией (2 э) наблюдался вплоть до частот порядка 1 МГц : ФМР от ядер кобальта был виден в диапазоне частот $190 - 200 \text{ МГц}$.

Известно, что в случае намагничивания тонкой пленки в плоскости и перпендикулярно оси анизотропии условие невозмущенного ФМР может быть записано:

$$\omega_e = \gamma_e \sqrt{4\pi M(H - H_k)}, \quad (1)$$

где $\omega_e = 2\pi f$ — круговая частота, γ_e — электронное магнитомеханическое отношение, M — намагниченность насыщения, H — внешнее поле. Легко видеть, что при $H \rightarrow H_k$, $\omega_e \rightarrow 0$. С другой стороны невозмущенная частота ЯМР (ω_n) практически не зависит от внешнего поля [3] и определяется сверхтонким полем $H_{СТВ}$:

$$\omega_n = \gamma_n |H_{СТВ}|, \quad (2)$$

где γ_n — ядерное магнитомеханическое отношение. В области $\omega_e = \omega_n$ без учета затухания, расчет дает для возмущенных частот две непересекающиеся расталкивающиеся ветви (см. рис. 2 в [1]). Учет затухания, по-видимому, (так же как и в случае других "кроссов") может привести к характерному излому электронной ветви (рис. 1), наблюдаемому экспериментально, в области частот, соответствующих ЯМР. При увеличении мощности высокочастотного поля (примерно в 10 раз) наблюдает-

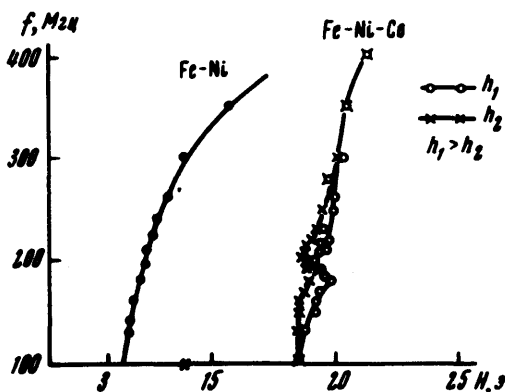


Рис. 1. Частотная зависимость ФМР тонких пленок двух составов. Магнитное поле приложено в плоскости пленки и перпендикулярно оси анизотропии

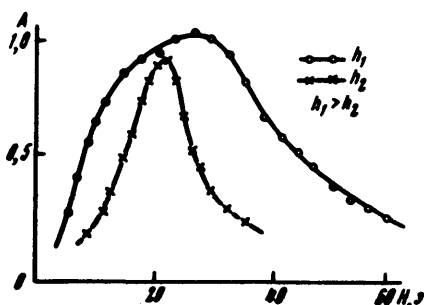


Рис. 2. Зависимость сигнала ЯМР тонкой пленки, содержащей Co^{59} от внешнего магнитного поля приложенного нормально легкой оси

ся спрямление и некоторое смещение излома, что, вероятно, связано с нелинейными явлениями. На этом же рисунке для сравнения нанесена кривая частотной зависимости ФМР пленки не содержащей кобальт. Отметим также, что в районе "кросса" наблюдается искажение линии ФМР. На рис. 2 показана зависимость интенсивности ЯМР от величины внешнего поля, которое по-прежнему приложено перпендикулярно легкой оси. Кривая носит ярко выраженный резонансный характер с максимумом в полях, соответствующих ФМР. При увеличении мощности

кривая расширяется, из-за насыщения (верхняя кривая). Интересным является факт, что наблюдаемая интенсивность ЯМР в районе "кросса" значительно превышает интенсивность в отсутствие магнитного поля при ориентации высокочастотного поля перпендикулярно легкой оси. Это является, на наш взгляд прямым доказательством наличия связанных колебаний, поскольку происходит более эффективная передача энергии от электронной системы к ядерной (резко увеличивается коэффициент усиления радиочастотного поля на ядре, так как восприимчивость электронной системы возрастает при ФМР). Конечно, такая упрощенная трактовка наблюдаемых эффектов является не совсем правильной, поскольку в области связанных колебаний различить ЯМР и ФМР трудно. Можно надеяться, что дальнейшее развитие теоретических работ по связанным электронно-ядерным колебаниям с учетом затухания и нелинейных явлений даст более точное объяснение экспериментальным фактам.

Авторы признательны В.А.Игнатченко и М.П.Петрову за интерес к работе.

Институт металлофизики
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
19 июля 1971 г.

Литература

- [1] В.А.Игнатченко, Ю.А.Куденко. Изв. АН СССР, Сер. физ., 30, 77, 1966.
 - [2] А.Н.Погорель, Г.И.Левин. ФММ, 28, 92, 1969.
 - [3] Е.А.Туров, М.П.Петров. ЯМР в ферро- и антиферромагнетиках, М., Изд. Наука, 1969.
-