

Исследование ФМР и СВР в пленках нанокристаллических сплавов (Fe-Ni)-P

Л.А.Чеканова¹, Ж.М. Мороз², С.А. Карпенко¹

¹Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, Красноярск

²Филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, Красноярск

В последние годы интенсивно изучаются материалы с нанокристаллической структурой (средний размер зерна около 10-100nm). Физические свойства их значительно отличаются от свойств их крупнокристаллических аналогов [1,2]. Особый интерес вызывает диапазон концентраций ~30at% Ni, используемых на практике нанокристаллических пленок сплава Fe-Ni, где структурные и химические неоднородности обуславливают необычные физические свойства данных инварных сплавов. Эти неоднородности могут проявлять себя во флуктуациях основных параметров спиновой системы: намагниченности M_s , константы обменного взаимодействия A_{eff} , константы локальной магнитной анизотропии K . Информация о типе магнитных неоднородностей и их пространственной протяженности может быть получена из анализа спектров спиновых волн

Представленная работа посвящена экспериментальному исследованию методом спин-волнового резонанса (СВР) и ферромагнитного резонанса (ФМР) особенностей магнитных свойств нанокристаллических пленок сплава (Fe-Ni)-P (с размером зерна ~10 нм), синтезированных методом химического осаждения во всем диапазоне концентраций, который позволяет получать концентрацию вакансий близкую к предплавному состоянию.

Впервые возможность возбуждения обменно-связанных спиновых волн однородным высокочастотным магнитным полем в тонкой магнитной пленке, намагниченной перпендикулярно плоскости, была предсказана Киттелем. Основой расчета явилась предложенная им модель однородно намагниченной ферромагнитной пленки с жестким закреплением спинов на ее поверхности. Дисперсионное соотношение в

этом случае имело вид:
$$\frac{\omega}{g} = H - 4\pi M + \frac{2A}{M} k^2$$

где ω – частота внешнего переменного поля, γ – магнитомеханическое отношение, H – величина внешнего постоянного магнитного поля, A – постоянная обменного взаимодействия, $k = \pi n/d$ (n – порядковый номер моды в спектре СВР, d – толщина пленки). В этом случае дисперсионный закон $\omega(k)$ квадратичен по k и при постоянной частоте эксперимента $\omega = \text{const}$ распределение резонансных полей пиков СВР также квадратично по k . Тангенс угла наклона зависимости $H_i(n)$ определяется значением константы спин-волновой жесткости $\eta = 2A/M$, где M – намагниченность насыщения. Спин волновая жесткость может быть легко измерена:

$$\eta = \frac{H_i - H_j}{n_j - n_i} \cdot \frac{d^2}{\pi^2}, \text{ а затем вычислена } A.$$

Для неоднородных ферромагнетиков наблюдаются отклонения от квадратичного закона дисперсии для спиновых волн. Исследование подобных отклонений или модификаций закона дисперсии методом спин-волновой спектроскопии может служить источником важнейшей структурной информации [1]. Для ферромагнетика со случайно флуктуирующими в пространстве спиновыми параметрами – обменом A , намагниченностью M , анизотропией, флуктуации магнитных параметров приводят к характерным для данного параметра модификациям закона дисперсии. По типу модификации, по особым точкам спектра можно судить о характере флуктуаций (т.е. типе главного флуктуирующего параметра), радиусе корреляции флуктуаций и амплитуде

(среднеквадратичном отклонении γ_i) флуктуаций параметров спиновой системы неоднородного ферромагнетика.

Для исследований были получены нанокристаллические пленки (Fe-Ni)-P в диапазоне концентраций Ni от 0 до 100%. Концентрация фосфора в образцах составляла 2 ат.%. Спектры СВР изучались на спектрометре x-band ($f = 9,2$ GHz) при комнатной температур.

На исследуемых пленках образцах были зафиксированы спектры СВР во всем диапазоне концентраций Ni. Измерены зависимости магнитных параметров M_{eff} , ΔH от концентрации Ni причем зависимость $A_{\text{eff}}(x)$ впервые определена в инварной области (35-40 ат.% Ni). Показано, что в инварной области наблюдается отклонение закона дисперсии $\omega(k)$ от квадратичного закона, вызванные флуктуацией обменной константы «изломы по обмену». В области, далекой от инварной, наблюдается модификация $\omega(k)$ обратного типа обусловленная флуктуациями намагниченности– «излом по намагниченности» [2].

Таким образом, нам впервые удалось методом химического осаждения получить макрооднородные и однофазные пленки на основе сплава Fe-Ni во всем диапазоне концентраций, пригодные для исследования методом СВР, что позволило зафиксировать смену типа доминирующего флуктуирующего параметра вблизи инварной области и определить размеры пространственной неоднородности флуктуаций обменной константы в инварной области и флуктуаций намагниченности вне этой области.

1. Игнатченко В.А., Исхаков Р.С., Чеканова Л. А., Изучение дисперсионного закона для спиновых волн в аморфных пленках методом СВР. // ЖЭТФ – 1978. - Т.75, -С.653.

2. Р.С. Исхаков, С.В. Столяр, Л.А. Чеканова, В.С. Жигалов // ФТТ, 2001, том 43, вып. 6, стр. 1072