

АНОМАЛИЯ ФЕРРОМАГНИТНОЙ РЕЛАКСАЦИИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ В СОСТОЯНИЕ ТИПА СПИНОВОЕ СТЕКЛО

В.С.Покатилов, С.В.Капельницкий

Обнаружено аномальное поведение ширины линии ферромагнитного резонанса и частоты релаксации Ландау – Лифшица в неупорядоченном сплаве $\text{Ni}_{75}\text{Mn}_{18}\text{Fe}_7$ при переходе из ферромагнитного состояния в состояние типа спинового стекла при $T_0 \cong 60 \text{ K}$.

В ряде работ показано, что в неупорядоченных системах при конкуренции ферро- и антиферромагнитных взаимодействий может происходить двойной магнитный переход: из парамагнитного в ферромагнитное при T_c

и, при более низкой температуре T_0 , в состояние типа спинового стекла (ТСС) [1]. Теоретические исследования динамики спиновых волн в неупорядоченных неколлинеарных магнетиках (в том числе "чистых" спиновых стеклах) показали, что в таких системах спиновые волны являются хорошо определенными, но слабо релаксирующими возбуждениями, особенно магноны с волновыми векторами $K \approx 0$ [2]. Цель настоящей работы — исследовать влияние перехода в состояние ТСС на релаксацию спиновых волн с $K \approx 0$ методом ферромагнитного резонанса (ФМР).

В работе изучался неупорядоченный сплав состава 75 ат. % Ni, 18 ат. % Mn и 7 ат. % Fe. Для измерений методом ФМР готовились монокристаллические параллелепипеды со сторонами 0,1 – 0,2 мм и длиной ~ 4 мм. Длинная ось параллелепипеда совпадала с направлением $\langle 111 \rangle$ с точностью 1 – 2°. Образец тщательно полировался различными способами. Резонансный сигнал снимался со среднего участка образца, чтобы исключить влияние на ширину линии неоднородности размагничивающего поля на концах образца. Частота опыта 9,8 ГГц. Внешнее магнитное поле прикладывалось вдоль длинной стороны образца. Ширина линии ФМР ΔH измерялась как расстояние между экстремумами производной поглощения с точностью 8 – 10%. Намагниченность I исследовалась на вибрационном магнетометре с точностью не хуже 3%. Образец для измерения намагниченности представлял собой диск $\varnothing 10$ мм и толщиной 1,5 мм. Удельное сопротивление ρ определялось потенциометрическим методом. ΔH , I и ρ измерялись в области температур 3,5 – 293 К и температура опыта поддерживалась постоянной в каждой точке с точностью не хуже 0,5 К. Измерения ΔH и I проводились при нагреве образца после охлаждения его до 3,5 К.

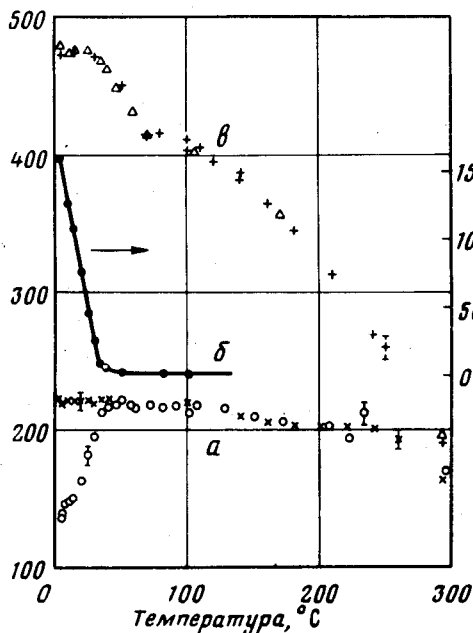


Рис.1. Температурные зависимости: а) намагниченности неупорядоченного сплава $Ni_{75}Mn_{18}Fe_7$ при нагреве образца от 3,5 К в поле $H = 300$ Э, после охлаждения его до 3,5 К в поле $H = 0$ (о) и $H = 300$ Э (х); б) остаточной намагниченности I_R образца, охлажденного в поле $H = 2000$ Э до 3,5 К при нагреве его в $H = 0$; в) намагниченности образца в поле $H = 200$ Э при нагреве от 3,5 К, после его охлаждения в поле $H = 0$ (Δ) и $H = 2000$ Э (+)

Температурные зависимости намагниченности $I(T)$ приведены на рис.1, а – в. $I(T)$ имеют вид, типичный для сплавов, претерпевающих

двойной магнитный переход – при T_c и при T_o [1]. Как видно из рис.1, a и b переход в состояние ТСС наблюдается при $T_o \approx 50$ К. Точка Кюри сплава $Ni_{75}Mn_{18}Fe_7$ согласно [3] равна $T_c \approx 350$ К.

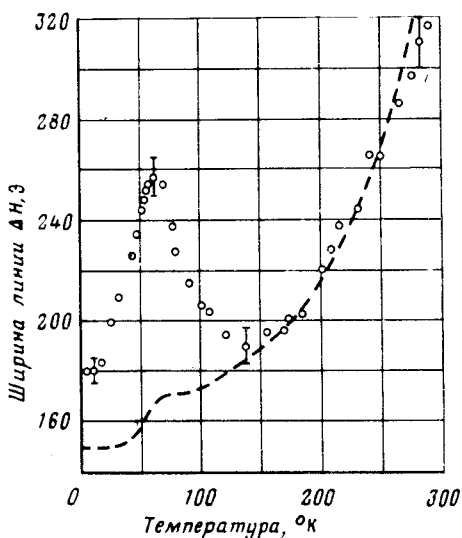


Рис.2. Температурная зависимость ширины линии ФМР $\Delta H(T)$ неупорядоченного сплава $Ni_{75}Mn_{18}Fe_7$: \circ – экспериментальные точки; ---- – теоретическая кривая по модели [7]

Известно, что ширина линии ФМР в ферромагнитных сплавах при понижении температуры от точки Кюри уменьшается за счет увеличения намагниченности [7] и уменьшения вклада в ΔH температурных флуктуаций намагниченности [4]; при дальнейшем охлаждении, вплоть до низких температур, ΔH остается практически постоянной [5]. Сравнение известного температурного поведения $\Delta H(T)$ ферромагнитных сплавов с $\Delta H(T)$ сплава $Ni_{75}Mn_{18}Fe_7$ (рис.2) показывает, что ширина линии в этом сплаве ведет себя аномально, а именно, при $T_o \approx 60$ К имеет ярко выраженный максимум. Заметим, что резонансное поле ФМР в исследуемом сплаве изменялось в пределах 1500 – 2300 Э в изучаемом диапазоне температур. Из сравнения температурного хода намагниченности (рис. 1, $a - b$) и ширины линии (рис.2) видно, что аномалия ΔH лежит при температурах перехода сплава в состояние ТСС. Таким образом, из наших данных видно, что наблюдается ярковыраженная релаксация длинноволновых магнонов вблизи перехода в состояние типа спинового стекла, причем этот дополнительный вклад в ΔH составляет почти 50%.

Известно [6], что экспериментальная ширина линии ΔH состоит из уширения, обусловленного скин-эффектом $\Delta H_{\text{скин}}$ и релаксационного уширения ΔH_{λ} , феноменологически описываемого частотой релаксации λ по Ландау и Лифшицу, причем $\Delta H_{\text{скин}} \sim (A\sigma\omega)^{1/2}$, а $\Delta H_{\lambda} \sim \lambda\omega\gamma^{-2}I_o^{-1}$, где I_o – намагниченность насыщения, ω – частота резонанса, γ – магнитомеханическое отношение. Из данных по резонансному полю для исследуемого сплава мы определили $\gamma = 1,84 \cdot 10^7 \text{сек}^{-1} \times \text{Э}^{-1}$. Величина обменного параметра A бралась равной $A = 0,55 \times 10^{-6} \text{эрг/см}$. Такое значение A имеет пермаллой с T_c и I_o близкими к исследуемому сплаву. Проводимость сплава при $T = 4,2$ К была равна $\sigma(4,2) = 1,6 \cdot 10^6 \text{Ом}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$ и с ростом температуры уменьшалась по величине $\sigma(293) = 1,33 \cdot 10^6 \text{Ом}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$ монотонно. Вклад в ΔH от

$\Delta H_{\text{скин}}$ составляет не более 7% и в пределах точности эксперимента наблюдаемая ширина линии описывается релаксационным уширением ΔH_{λ} .

Расчитанная частота релаксации λ приведена на рис.3. $\lambda(T)$ при $130 \text{ K} < T < 293 \text{ K}$ ведет себя так же как и в ферромагнитных сплавах, т.е. слабо растет до некоторой величины при уменьшении температуры опыта, затем, при дальнейшем уменьшении температуры, остается постоянной [5]. Однако в исследуемом сплаве $\lambda(T)$ показывает аномальное поведение – максимум при $T_0 \approx 60 \text{ K}$.

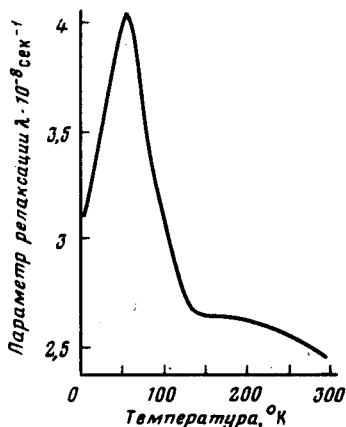


Рис.3. Температурная зависимость частоты релаксации по Ландау и Лифшицу $\lambda(T)$ неупорядоченного сплава $\text{Ni}_{75}\text{Mn}_{18}\text{Fe}_7$

Недавно [7] был предложен механизм релаксации, количественно и качественно описывающий наблюдаемую ширину линии ФМР в ферромагнитных металлических сплавах [8]. Согласно этой модели ширина линии обусловлена некогерентными процессами рассеяния магнов и электронов проводимости. На рис.2 пунктирная кривая – зависимость $\Delta H(T)$ по модели [7], рассчитанная в предположении, что ход $\Delta H(T)$ определяется температурной зависимостью намагниченности. Видно, что при $T > 130 \div 140 \text{ K}$ модель релаксации [7] правильно предсказывает температурный ход ширины линии ФМР в неупорядоченном сплаве $\text{Ni}_{75}\text{Mn}_{18}\text{Fe}_7$, однако, в области температур перехода сплава в состояние ТСС механизм затухания [7] не описывает наблюдаемую температурную зависимость $\Delta H(T)$. По-видимому, существуют дополнительные механизмы релаксации магнов с $K \approx 0$, связанные с переходом сплава в состояние типа спинового стекла. Качественно, увеличение ΔH при температурах перехода ТСС может быть объяснено: а) существованием разного вида спиновой диффузии вблизи T_0 [9, 10] в неколлинеарных неупорядоченных ферромагнетиках, как и в "чистых" спиновых стеклах; б) взаимодействием спинов бесконечного кластера с подсистемой конечных магнитных кластеров, претерпевающих переход при T_0 в состояние кластерного стекла, причем наблюдаемые зависимости $\Delta H(T)$ в исследуемом сплаве и в сплавах Au-Fe [11] аналогичны.

Литература

- [1] G.Nieuwenhuys, В.Н. Verbeek, J.A. Mydosh. J.Appl. Phys., **50**, 1685, 1979.
 - [2] I.E.Dzyaloshinskii, G.E.Volovik. J. de Phys., **39**, 693, 1978;
J.Villain. JMMM 15 – 18, 105, 1980.
 - [3] А.З.Меньшиков, В.А.Казанцев, Н.Н.Кузьмин. Письма в ЖЭТФ, **23**, 6, 1976.
 - [4] P.E.Seiden. Phys. Rev. Lett., **14**, 370, 1965.
 - [5] И.М.Пузей, В.С.Покатилов. ФТТ, **16**, 1039, 1974.
 - [6] D.S.Rodbell. Physics., I, 279, 1965.
 - [7] Е.М.Коган, Е.А.Туров, А.Н.Волошинский. Phys. Stat. Solidi, **17**, **98**, 165, 1980.
 - [8] В.С.Покатилов, И.М.Пузей. ЖЭТФ, **66**, 1028, 1974.
 - [9] А.Ф.Андреев, В.И.Марченко. УФН, **130**, 39, 1980.
 - [10] J.A.Hertz, R.A.Klemm. Phys. Rev., **B20**, 316, 1979.
 - [11] В.Р.Солс, В.В.В. Саркисян, Р.Н.Тейлор. Phil. Mag., **B37**, 489, 1978.
-