

ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД АМОРФНОЕ СОСТОЯНИЕ – ПОЛИКРИСТАЛЛ В ФЕРРОМАГНИТНЫХ Co-P ПЛЕНКАХ

*Л.А.Чеканова, Р.С.Исхаков, Г.И.Фиш, Р.Г.Хлебопрос,
Н.С.Чистяков*

Методом спин-волнового резонанса ($f = 9,2 \text{ ГГц}$) исследованы фазовые переходы типа: аморфное состояние – кристаллическое; гексагональная структура – кубическая, в магнитных кобальт-фосфорных пленках (9 ат. % Р). Измерена температурная зависимость константы обменного взаимодействия $A(T)$ в интервале $300 - 700^\circ\text{K}$ при наличии указанных переходов.

Исследуемые образцы представляли собою трехслойные пленки, полученные методом химического осаждения [1]. Толщина основного (центрального) слоя составляла $1000 - 3000 \text{ \AA}$. Дополнительные слои толщиной $200 - 300 \text{ \AA}$, намагниченность которых была, соответственно, больше и меньше намагниченности основного слоя, наносились с целью создания специальных граничных условий (в данном случае антисимметричного закрепления). Использование таких граничных условий позволяет устранить возможное влияние изменения поверхностного закрепления в процессе нагревания образца на результаты измерения константы обмена [3]. В спектре СВР исследуемых пленок наблюдалось 9 – 11 мод, с добротностью $H_p / \Delta H \sim 80$. Квадратичная зависимость резонансного поля моды от ее номера позволяет использовать для определения константы обмена дисперсионное соотношение Киттеля. Точность измерения резонансных полей мод составляла $\pm 0,2\%$; константы обмена – $\pm 5\%$.

На рис. 1 (кривая 1) представлена зависимость обменной константы от температуры. Кривая $A(T)$ характеризуется двумя скачками: при температуре 530°K резкое уменьшение обменной константы, затем медленное из-

менение и при температуре 640°K реализуется второй скачок – резкое увеличение. Аналогичным образом изменяется резонансное поле основной моды спектра.

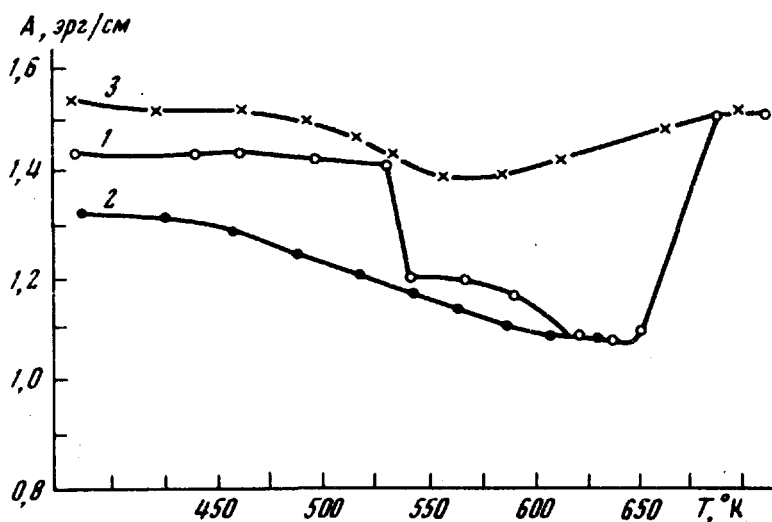


Рис. 1. Изменение константы обменного взаимодействия с температурой $\text{Co}-\text{P}$ пленки: 1 – ход $A(T)$ аморфного образца; 2 – ход $A(T)$ после отжига при температуре 570°K ; 3 – ход $A(T)$ после отжига при температуре 690°K

Электроннограммы и рентгенограммы полученных осадков в исходном состоянии характеризуются размытыми дифракционными максимумами, что свидетельствует об их аморфности (рис. 2, а). Аморфность $\text{Co}-\text{P}$ пленок подтверждает анализ их термограмм для которых характерно наличие экзотермического пика при температуре 530°K соответствующего переходу из неравновесного (аморфного состояния) в равновесное [2].

На этих образцах были сняты рентгенограммы в области температур $293 - 750^{\circ}\text{K}$ (рис. 2). В области температур $510 - 550^{\circ}\text{K}$ появляются четкие рефлексы характеризующие гексагональный кобальт – α -фазу. Рентгенограмма, характеризующая начало перехода в кристаллическое состояние (α - Co), представлена на рис. 2, б. При температуре $640 - 690^{\circ}\text{K}$ рентгенограммы свидетельствуют о происшедшем переходе α -фазы в β -фазу. На рис. 2, в дана рентгенограмма, снятая при температуре 690°K . Пик большей интенсивности этой рентгенограммы соответствует кубической фазе кобальта (β - Co). Термограмма пленок $\text{Co}-\text{P}$ имеет два максимума, характеризующие экзотермическую реакцию. Один из максимумов расположен в области температур $510 - 550^{\circ}\text{K}$, второй – $640 - 690^{\circ}\text{K}$.

Изменение константы обменного взаимодействия в процессе охлаждения образцов от температуры 570 и 690°K представлены на рис. 1, соответственно кривыми 2 и 3. При последующих циклах нагревания и охлаждения образцов в указанных интервалах температур значения константы обменного взаимодействия в пределах ошибки измерения воспроизводились и соответствовали указанным кривым.

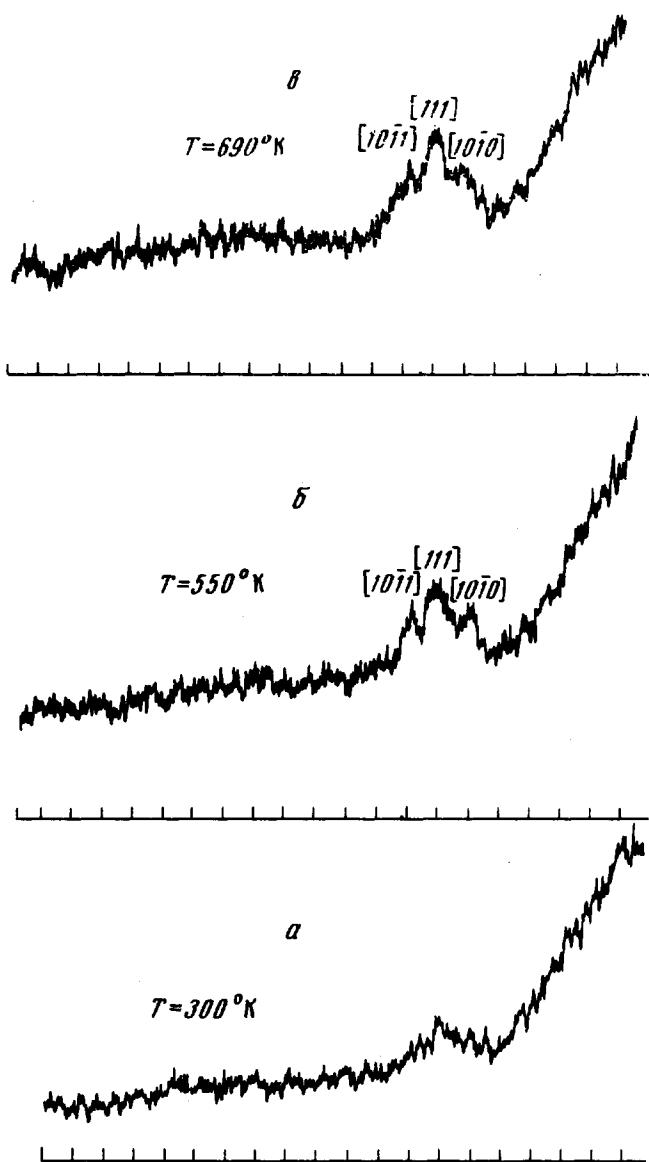


Рис. 2. а – Рентгенограмма аморфной Co–P пленки (P = 9 ат. %); б – рентгенограмма снятая в начальной стадии кристаллизации, рефлексы 1010, 1011 – характеризуют гексагональную фазу кобальта, 111 – кубическую; в – рентгенограмма, снятая в конечной стадии полиморфного перехода α -Co – β -Co

Рассмотрим насколько полученная температурная зависимость обменной константы $A(T)$ и термограмма Co – P пленок "совместимы" с изменением теплового запаса $Q = \int C_p dT$ с температурой как для кристаллической так и для аморфной модификаций. Как известно, полиморфные превращения α -Co в β -Co происходят с малым изменением теплосодержания. Это связано с тем, что α -Co и β -Co характеризуются одинаковыми координационными числами. При сопоставлении теплосодержания кристалла (кривая 1) и аморфного вещества (кривая 2) исходным репером может служить кривая $Q = f(T)$ выше температуры плавления $T_{пл}$ [4]. Величина ΔQ (рис. 3) представляет собой скрытую теплоту плавления кристалла (для кобальта $\Delta Q = 58,2 \text{ кал/г}$). Эта теплота идет на разрушение дальнего кристаллографического порядка (часть ΔQ_1) и на перестройку ближнего порядка в соответствии со структурой жидкости при $T_{пл}(\Delta Q_2)$. Обычно ΔQ_1 и ΔQ_2 величины одно-

го порядка. При переходе расплав – аморфные вещества выделяется только ΔQ_2 , а величина ΔQ_1 является мерой неупорядоченности аморфного вещества.

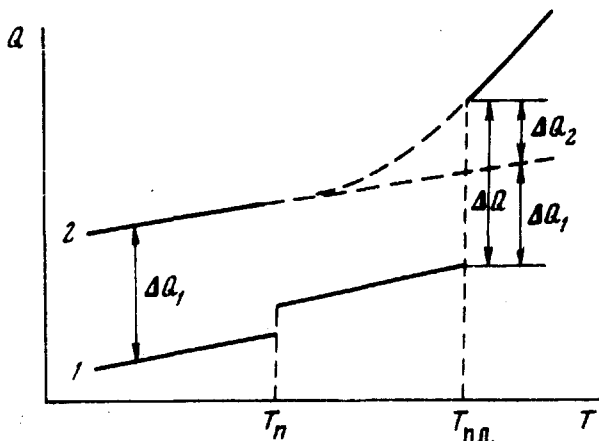


Рис. 3

Наиболее вероятным представляется нам следующее объяснение полученных результатов. Со – Р пленка была получена в неравновесном состоянии (кривая 2, рис. 3). Мерой неравновесности является величина ΔQ_1 . При нагревании в области температур около 530°K происходит необратимый переход в кристаллическую модификацию (α -Со). При этом выделилось ΔQ_1 (на термограмме – большой пик). При дальнейшем нагревании происходит полиморфный переход α -Со \rightarrow β -Со, который идет с поглощением малого количества тепла ($\Delta Q' = 1,05 \text{ кал/г}$). На термограмме при этой температуре виден малый пик выделения тепла. Дополнительные исследования показали, что в области $640 - 690^\circ\text{K}$ происходит выпадение осадка – Со₂Р, которое идет с выделением тепла [2]. По всей видимости это и отражается на термограмме.

Таким образом, кривая 3 рис. 1 характеризует кристаллическую пленку β -Со, кривая 1 рис. 1 соответствует аморфной фазе Со – Р пленки, ближний порядок которой аналогичен β -Со (рис. 3 кривая 2), пленке же, находящейся в гексагональной фазе, соответствует кривая 2 рис. 1.

Институт физики
им. Л.В.Киренского
Сибирское отделение
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
30 января 1974 г.

Литература

- [1] Л.В.Киренский, Н.С.Чистяков, Л.А.Чеканова, Б.П.Тушков, Г.И.Фиш. Физика магнитных пленок (Сб. статей) вып. III, 1970 г., Иркутск.
- [2] A.W.Simpson, D.R.Brambley. Phys. Stat. Sol. (b), 43, 291, 1971.
- [3] Ю.А.Корчагин, Р.Г.Хлебопрос, Н.С.Чистяков. ФТТ, 14, 2121, 1972; ФММ, 34, 1303, 1972.
- [4] А.Уббелоде. Плавление и кристаллическая структура, М., 1969 г; П.П.Кобеко. Аморфные вещества, изд. АН СССР, 1952 г.