

ОБРАЗОВАНИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ФРАКТАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ КОВАЛЬТА

И.В.Золотухин¹⁾, А.Б.Суходолов, А.С.Андреевко, Н.В.Тристан
Воронежский государственный технический университет, 394026 Воронеж, Россия*

** Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова,
119899 Москва, Россия*

Поступила в редакцию 24 сентября 1997 г.

Получены макроскопические фрактальные агрегаты кобальта путем термического испарения металла в среде аргона и дальнейшего осаждения на нагретую (до 1000 К) кремниевую подложку. Установлено, что фрактальная структура формируется в результате действия механизма диффузионно-ограниченной агрегации частиц кобальта. Макроскопические фрактальные агрегаты кобальта ферромагнитны.

PACS: 61.43.Nv

В последние годы проявляется всё возрастающий интерес к конденсированным твердым телам, имеющим фрактальную структуру. Осознанно фрактальные структуры некоторых веществ (Fe, Zn, SiO₂, MoO₃, NiCl₂) были получены путем агрегации микроскопических кластеров, которые формировались в результате испарения и последующего охлаждения в газовой среде [1–4]. Структура и физические свойства такого рода агрегатов почти не изучались.

Целью настоящей работы являлась разработка способа получения и изучение магнитных свойств фрактальных агрегатов кобальта. Выбор кобальта обусловлен следующими обстоятельствами. Ряд авторов при обсуждении механизма образования фрактальных структур используют модель диффузионно-ограниченной агрегации (ДОА) для частиц [5] и кластеров [6] испаряемого материала. В [7] при рассмотрении процессов формирования фрактальных агрегатов кобальта учитывалось также ферромагнитное взаимодействие частичек данного металла, однако ничего не сообщалось о магнитных свойствах подобного рода структур. Поэтому перед нами стояла задача получения ферромагнитных фрактальных структур кобальта, выяснения механизма их формирования и определения магнитных свойств.

Фрактальные агрегаты кобальта были получены путём термического распыления атомов в газовую среду аргона с последующим осаждением продуктов конденсации на полированную (высота неровностей не превышала 10 нм) пластину кремния. Как показано в [4], и было проверено нами, рост фрактальных агрегатов не происходит при наличии неровностей на поверхности подложки, высота которых сравнима или больше размера кластеров. В вакуумной камере при давлении $P = 10^{-4}$ торр с помощью вольфрамовой спирали в алундовом тигле нагревалась навеска кобальта до $T = 2000$ К. Непосредственно перед плавлением кобальта камера заполнялась аргоном до давления 0.1 торр. Варьирование давления аргона от 0.1 до 10 торр не приводило к качественным изменениям полученных структур. Подложка, нагретая до 1000 К, находилась на расстоянии 10 см от источника распыления, что оказалось достаточным для протекания процесса образования кластеров кобальта до попадания

¹⁾ e-mail: paul@zolot.vrn.ru

их на подложку. Достаточно высокая температура подложки способствует диффузии кластеров кобальта по поверхности полированной кремниевой пластины.

Полученные фрактальные структуры кобальта исследовались с помощью оптического и растрового электронного микроскопов. Фрактальная размерность агрегатов D определялась по следующей формуле:

$$L = cDS^{D/2},$$

где c – постоянная величина, L и S – периметр и площадь фрактального агрегата. Фрактальная размерность оправавшихся структур определялась путем варьирования масштаба измерения L и S [8].



Рис.1

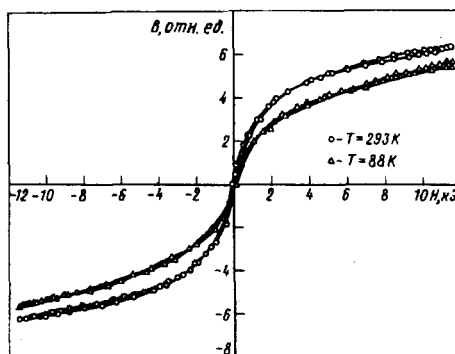


Рис.2

Качественно процесс образования фрактальных структур представляется следующим образом. Известно, что в результате испарения вещества образуется парогазовая среда, состоящая из атомов (или молекул) со значительной долей (до нескольких процентов) заряженных ионов, которые при резком охлаждении в буферном газе (аргоне) являются центрами конденсации жидких кластеров с размерами 10-30 нм [9]. После кристаллизации процесс укрепления кластеров продолжается (по законам образования пылевых частиц [10]), и перед попаданием на подложку размер их достигает 0,1 – 0,5 мкм. Вследствие высокой температуры подложки кластеры интенсивно диффундируют по ее поверхности и начинают самоорганизовываться, образуя фрактальные агрегаты в виде звезд, состоящих из самоподобных ветвистых структур размером от нескольких мкм до нескольких мм (рис.1). Таким образом, фрактальные агрегаты кобальта формируются в результате действия механизма ДОО, обусловленного высокой подвижностью кластеров на подложке, нагретой до 1000 К. Следует отметить также, что у края подложки, где концентрация попадающих кластеров меньше, чем в центральной части, наблюдается рост отдельных фрактальных веток и неразвитых структур с формой звезд. В центре подложки образуются агрегаты в виде звезд с разветвленной структурой. Меняется от края к центру подложки и фрактальная размерность агрегатов от 1.2 до 1.7, соответственно.

Результаты намагничивания фрактальных агрегатов кобальта при 88 и 293 К представлены на рис. 2 (кривые 1 и 2). Характерной особенностью кривых намагничивания фрактальных агрегатов кобальта является то, что во внешних полях с напряженностью магнитного поля H до 12 кЭ отсутствует насыщение, тогда как обычные образцы кобальта насыщаются в полях с напряженностью H не выше 10 кЭ. Мы полагаем, что трудности намагничивания связаны с магнитной анизотропией, возникающей в процессе образования фрактальных структур, и с влиянием неровностей поверхности агрегатов на процесс перемагничивания. Что касается величины коэрцитивной силы H_c , то как фрактальный, так и исходный кобальт имеет значение $H_c \sim 105$ Э. Значения H_c кобальта по литературным данным находятся в пределах от 9 до 166 Э в зависимости от структурного состояния [11, 12].

Таким образом, полученные фрактальные агрегаты кобальта являются макроскопическими (до 2 мм) ферромагнитными разветвленными структурами, образовавшимися по механизму ДОА. Значение коэрцитивной силы этих структур такое же, как и у кристаллического кобальта. Однако в отличие от кристаллического кобальта кривые намагничивания фрактальных агрегатов во внешних магнитных полях до 12 кЭ не выходят на насыщение.

-
1. S.R.Forrest and T.A.Witten, J. Phys. A: Math. Gen. **12**, L109 (1979).
 2. J.Z.Zhang and D.Liu, J. Materials science **27**, 4329 (1992).
 3. J.Z. Zhang, Phys. Rev. B **41**, 9614 (1990).
 4. J.Z.Zhang et al., J. Phys. Condens. Matter. **4**, L245 (1992).
 5. T.A.Witten and L.M.Sander, Phys. Rev. Lett. **47**, 1400 (1981).
 6. P.Meakin, Phys. Rev. Lett. **51**, 1119 (1983).
 7. G.A.Niclasson et al., Phys. Rev. Lett. **60**, 1735 (1988).
 8. J.M.Gomez-Rodriguez et al., J. Phys. Chem. **96**, 347 (1992).
 9. Е.Ф.Михайлов, С.С.Власенко, УФН **165**, 263 (1995).
 10. В.Н.Цытович, УФН **167**, 57 (1997).
 11. Р.М. Бозорт, *Ферромагнетизм*, М.: ИЛ, 1956.
 12. Л.Ф.Ильющенко, *Электролитически осажженные магнитные пленки*, Минск: Наука, 1972.