

КЛАСТЕРНАЯ СТРУКТУРА И СВЕРХРЕШЕТКИ В ПЛЕНКАХ Co И Fe

*С.М.Жарков, В.С.Жигалов, Л.И.Квеглиц, Ю.В.Лисица, К.В.Ренская,
Г.И.Фролов*

*Институт физики им. Л.В.Киренского Сибирского отделения РАН
660036 Красноярск, Россия*

Поступила в редакцию 29 апреля 1997 г.

Исследован процесс дендритной кристаллизации пленок Co и Fe. Методами электронографии удалось показать, что в пленках Co и Fe фрактальный рост дендритов осуществляется путем множественного двойникования элементов наноструктуры, представляющей собой различные кластеры с плотной упаковкой. Образование сверхструктур объясняется оболочечной моделью кластерной структуры, образующей нанокристаллиты.

PACS: 61.50.Ks

Ранее нами были представлены электронно-дифракционные картины, полученные от пленок железа после взрывной кристаллизации (ВК) из исходного аморфного состояния. Электронограммы не соответствовали ни α - ни γ -фазам Fe, хотя содержали ряд рефлексов обеих фаз. Сверхтонкая структура мессбауэровских спектров таких пленок указывала на появление новой фазы Fe [1]. Исследования ферромагнитных характеристик пленок Co и Fe показали, что в процессе дендритного роста происходит уменьшение намагниченности насыщения и увеличения удельного электросопротивления [1, 2].

В данной работе исследованы пленки Co и Fe, полученные с помощью той же технологии. Исходное состояние пленок было рентгеноаморфным. Пленки, напыленные на различные подложки (LiFe, MgO, NaCl, стекло), подвергали многоступенчатому отжигу в температурном диапазоне от 50 до 700°C в вакууме 10^{-5} торр. Под воздействием электронного пучка на пленках, отожженных при температурах от 100 до 400°C, наблюдали взрывную кристаллизацию. Микроструктура пленок представляла собой сеть дендритов, растущих из центров кристаллизации.

На рис.1а представлена электронограмма дендритного участка пленки Co. Расшифровка основных рефлексов электронограммы с учетом двойников соответствует ГПУ-Co с осью зоны [110] [3]. На электронограмме обнаружены и сверхструктурные рефлексы, свидетельствующие об удвоении периода вдоль направлений [002] и [012].

На рис.1b, c, d приведены электронограммы трех типов сверхрешеток, наблюдавшихся в пленках железа после ВК. На рис.1b показана электронограмма с двумя сверхструктурными рефлексами между нулевым и (211) α -Fe, которые можно связать с множественным двойникованием по плоскости (211) в α -Fe [4]. На рис.1c показана электронограмма, содержащая уже не два, а четыре, а на рис.1d – шесть сверхструктурных рефлексов между центральным пучком и отражением (211) α -Fe. Не было отмечено никакой корреляции между температурой отжига, выбором подложки и типом сверхрешетки, отжиг лишь

инициировал процесс ВК. При температуре отжига выше 450°C начинался процесс релаксации структуры и физических свойств пленок к значениям, характерным для массивного состояния.

На основании расшифровки электронограмм мы можем считать, что к появлению сверхструктурных рефлексов в пленках Co и Fe приводит множественное двойникование. Такое двойникование может быть результатом слияния кластеров нанокристаллических размеров, имеющих форму кубооктаэдра. Считая, что кластеры имеют плотноупакованную структуру типа АВАС, характерную для ГПУ-Co, можно понять появление сверхструктурных рефлексов типа (001) и $(0\frac{1}{2}1)$, связанных с удвоением соответствующих периодов в ГПУ-Co. Структура типа АВАС является элементом кубооктаэдра [5, 6].

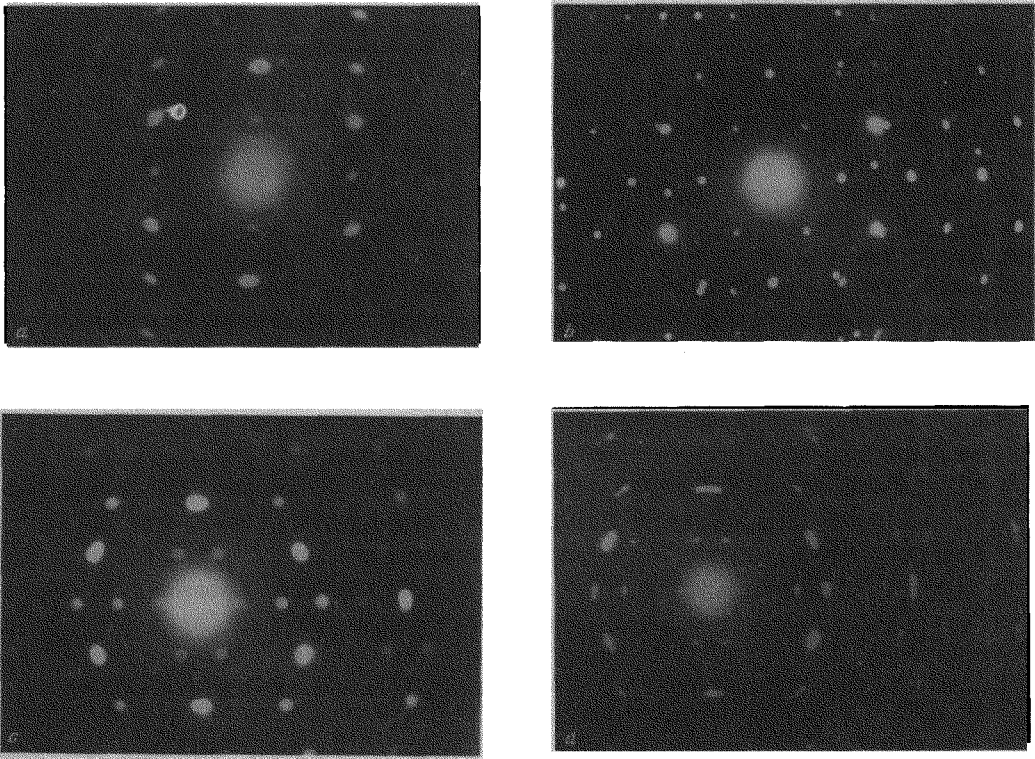


Рис.1. Электронограммы пленок Co (a) и Fe (b, c, d) после ВК

Процесс дендритного роста в пленках железа идентичен процессу в пленках кобальта. На рис.2 приведена схема, иллюстрирующая появление сверхструктурных рефлексов на электронограммах пленок Fe. В процессе отжига кластера, имеющие форму кубооктаэдра, увеличиваются в размере. Исходный равносторонний кубооктаэдр оказывается вписанным в систему из семи параллельных друг другу плоскостей типа (211) (см. рис.2a). Такая система межатомных плоскостей может сформировать на электронограмме два сверхструктурных рефлекса между нулевым и (211) . Если рассмотреть кубооктаэдр,

вписанный в систему из 11 параллельных плоскостей типа (211) (см. рис.2b), то можно понять причину появления четырех сверхструктурных рефлексов на электронограмме. Аналогично можно объяснить сверхструктуру пленки Fe, содержащую шесть сверхструктурных рефлексов, если считать, что кубооктаэдр вписан в систему из 15 параллельных плоскостей типа (211) (см. рис.2c).

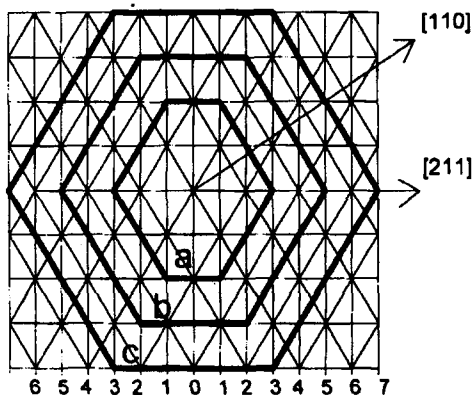


Рис.2. Схема образования наноструктуры. Жирной линией выделены проекции кубооктаэдра, когда он вписан в систему из 7 (a), 11 (b) и 15 (c) атомных плоскостей типа (211). Следы плоскостей типа (211) обозначены вертикальными линиями и пронумерованы

Известно, что в металлических пленках, полученных в условиях сверхбыстрой конденсации, возможно формирование наноструктуры. Авторами [7] теоретически исследована устойчивость кластеров с различной наноструктурой (икосаэдр, тетраэдр, октаэдр, кубооктаэдр) в зависимости от размеров этих кластеров. Теоретически и экспериментально [7,8] обосновано, что наиболее устойчивыми при размерах выше 35 Å являются структуры октаэдра и кубооктаэдра.

Точное описание устойчивой структуры некоторых элементарных металлических кластеров дает достаточно широко известная модель желе, или оболочечная модель [9]. В модели желе металлические кластеры рассматриваются как гигантские макроатомы с электронными энергетическими уровнями, проявляющими оболочечное строение. Оболочечная структура подобна той, которая определяется для ядер. Сходство с ядерной моделью наблюдают экспериментально. Мы допускаем, что оболочечная модель может объяснить дискретность объемов кластеров Co и Fe.

Согласно модели желе, октаэдр – тот структурный блок, который обладает замкнутой суммарной электронной оболочкой от шести атомов. Если считать, что октаэдр является наименьшим блоком в кубооктаэдре, то можно понять уменьшение намагниченности насыщения в пленках Co [2] и Fe [1]. Когда структура пленки при отжиге релаксирует к равновесной, намагниченность насыщения возрастает до значения, присущего массивному материалу.

Наблюдаемые сверхрешетки являются следствием упорядоченного срастания кластеров в процессе дендритного роста и иллюстрируют явление самоорганизации.

На основании вышеизложенного мы считаем допустимым применение модели кластерной структуры для объяснения особенностей физических свойств пленок Co и Fe.

-
1. Г.И.Фролов, О.А.Баюков, В.С.Жигалов и др., Письма в ЖЭТФ **61**, 61 (1995).
 2. Л.И.Квеглис, Ю.В.Лисица, Поверхность **8**, 5 (1996).
 3. П.Хирш, А.Хови и др., *Электронная микроскопия тонких кристаллов*, М.: Мир, 1968.
 4. Л.М.Утевский, *Дифракционная электронная микроскопия в металловедении*, М.: Металлургия, 1973.
 5. Б.М.Смирнов, УФН **12**, 97 (1992).
 6. А.Верма, П.Кришна, *Полиморфизм и политипизм в кристаллах*, М.: Мир, 1969.
 7. Sh. Ino, J. Phys. Soc. Jap. **27**, 941 (1969).
 8. Ch.Hayashi, Physics Today **12**, 44 (1987).
 9. M.L.Cohen, W.D.Knight, Physics Today **12**, 42 (1990).