

- [1] А с н и н В.М., Р о г а ч е в А.А., С т е п а н о в В.И.,
Ч у р и л о в А.Б. - Письма в ЖЭТФ, 1986, т. 43, в. 6,
с. 284-287.
- [2] А с н и н В.М., Р о г а ч е в А.А., С т е п а н о в В.И.,
Ч у р и л о в А.Б. - ФТТ, 1987, т. 29, в. 6, с. 1713-1722.
- [3] А с н и н В.М., Р о г а ч е в А.А., С т е п а н о в В.И.,
Ч у р и л о в А.Б. - Письма в ЖТФ, 1987, т. 13, в. 18,
с. 1113-1117.
- [4] А л т у х о в П.Д., И в а н о в А.В., Л о м а с о в Ю.Н.,
Р о г а ч е в А.А. - Письма в ЖЭТФ, 1983, т. 38, в. 1,
с. 5-8; 1984, т. 39, в. 9, с. 432-436.
- [5] A n d o T., F o w l e r A.B., S t e r n F. -
Rev. Mod. Phys., 1982, v. 54, N 2, p. 437-672.
- [6] А л т у х о в П.Д., М о н а х о в А.М., Р о г а ч е в А.А.
Х а р ц и е в В.Е. - ФТТ, 1985, т. 27, в. 6, с. 576-578.
- [7] А с н и н В.М., Р о г а ч е в А.А., С т е п а н о в В.И.,
Ч у р и л о в А.Б. - Письма в ЖЭТФ, 1987, т. 45, в. 9,
с. 436-439.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
20 августа 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 23

12 декабря 1988 г.

АМОРИФИКАЦИЯ ЖЕЛЕЗА И ХРОМА ПРИ ЛАЗЕРНОМ ИСПАРЕНИИ

А.Г. Б а г м у т, В.М. К о с е в и ч,
Г.П. Н и к о л а й ч у к, В.Г. К и р и ч е н к о

Аморфное состояние устойчиво при комнатных температурах в сплавах, которые содержат около 20% специальных примесей. Чистые d -металлы удавалось получить в аморфном состоянии при конденсации на подложки, охлажденные до 4 К [1]. Они кристаллизуются при температурах, не превышающих 77 К. Согласно [2], для образования аморфного состояния необходимо малое количество примесей в конденсате. Наименьшая концентрация атомов кислорода, необходимых для аморфизации металла, составляет 1.1 ат. %, а кремния - 0.88 ат. % [3].

В данной работе пленки получали импульсным лазерным распылением мишеней Fe и Cr с последующей конденсацией эрозионной плазмы на подложках при комнатной температуре. Структура пленок исследована методами просвечивающей электронной микроскопии

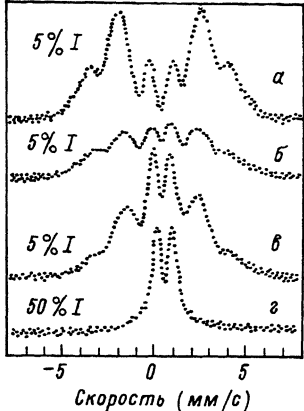


Рис. 1. Мессбауэровские спектры рассеяния конденсатов железа: а - с защитным покрытием золота; б - спектр свежесозданной пленки (без покрытия); в - этой же пленки через 20 час после осаждения; г - через 120 час. Возле каждого спектра указана величина эффекта в процентах.

(ПЭМ) и мессбауэровской спектроскопии конверсионных электронов (МСКЭ).

Конденсацию проводили на подложки из слюды, ситалла, аморфных углеродных пленок, различных металлов и

ЩГК. Давление остаточных газов в процессе испарения составляло $\sim 10^{-5}$ Па. Для испарения использовали обогащенное (на 95% ^{57}Fe) и небогатенное железо, а также хром, чистота которых была не хуже 99,95%. Мессбауэровские исследования проводили на спектрометре ЯГРС - 4. Структурные превращения изучали при прогреве пленок „*in situ*” электронным лучом в колонне микроскопа, либо после отжига в вакууме.

Установлено, что конденсаты железа и хрома, осажденные из лазерной эрозивной плазмы, являются аморфными. На это указывает однородный абсорбционный контраст электронномикроскопического изображения пленки и диффузные гало на электронограммах.

Аморфизация происходит за счет быстрой закалки, радиационного воздействия ионов лазерной плазмы на конденсируемый слой и захвата газа из остаточной атмосферы вакуумной камеры. Пленки, полученные в аналогичных вакуумных условиях термическим испарением, имели поликристаллическую структуру. При совместном лазерном и термическом соосаждении, когда в поток эрозивной лазерной плазмы добавлялись атомы из термического испарителя, также образовывались поликристаллические пленки.

Структурное состояние конденсатов изучали методом мессбауэровской спектроскопии, регистрируя электроны внутренней конверсии. МСКЭ спектры рассеяния, полученные с пленок железа (обогащенных на 95% ^{57}Fe) при 300 К, были типичными для аморфных ферромагнетиков (рис. 1,а). Изомерный сдвиг δ спектров положителен относительно $\alpha\text{-Fe}$ и равняется $0.18 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$, что свидетельствует об уменьшении электронной плотности на ядрах ^{57}Fe в аморфной пленке по сравнению с кристаллическим железом. Линии спектра рассеяния уширены. Это указывает на распределение сверхтонких полей (СТП) в аморфной фазе. Среднее значение СТП в аморфных пленках 240-250 кЭ, что значительно меньше, чем для массивного $\alpha\text{-Fe}$, у которого СТП равно 330 кЭ.

В процессе выдержки конденсатов происходит релаксация аморфной структуры к равновесному состоянию. Вылеживание пленок железа без защитного покрытия на воздухе приводит к переходу части ато-

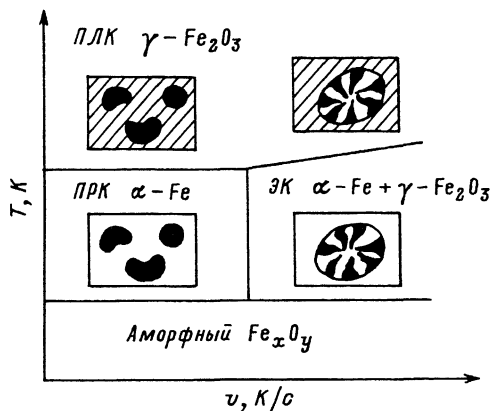


Рис. 2. Качественная диаграмма реакций кристаллизации в пленках $Fe-O$.

мов Fe в фазу, находящуюся в суперпарамагнитном состоянии. Трансформация спектра показана на рис. 1,б-г. Процесс вылеживания приводит к изменению интенсивностей линий и постепенному увеличению изомерного сдвига. В конечном итоге формировался уширенный дублет от суперпарамагнитной фазы с изомерным сдвигом $\delta = 0.41 \text{ мм } \cdot \text{с}^{-1}$, квадрупольным расщеплением $Q = 0.68 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$ и полушириной линий, равной интенсивности около $0.55 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$ (рис. 1,г). Такие параметры спектра характерны для состояния Fe^{3+} . Можно предположить, что выдержка на воздухе сопровождается окислением пленок Fe с образованием аморфного Fe_2O_3 .

Термическая устойчивость конденсатов изучалась в процессе отжига. Отжиг аморфных пленок в вакууме инициирует их кристаллизацию. Переход аморфное - кристаллическое состояние сопровождается уменьшением удельного объема. Среднее относительное увеличение плотности $\Delta\rho/\rho$ составляет 6.5% и 7.2% для конденсатов Fe и Cr соответственно. Возникающие при этом растягивающие напряжения обуславливали сферолитный тип роста и микродвойникование кристаллов.

Структура и состав кристаллов зависели от температуры отжига T и скорости нагрева v . Примерная диаграмма реакций кристаллизации для железа показана на рис. 2. При T около 470 К и v порядка $0.1 \text{ К} \cdot \text{с}^{-1}$ (термический отжиг) происходит преимущественная кристаллизация (ПРК) [4] с выделением частиц $\alpha-Fe$ и обогащением аморфной матрицы кислородом. При $T = 580 \text{ К}$ пленка кристаллизуется полиморфно (ПЛК) с образованием кубической и тетрагональной модификаций $\gamma-Fe_2O_3$. Увеличение скорости нагрева до $10 \text{ К } \cdot \text{с}^{-1}$ (импульсный нагрев электронным лучом) приводит к изменению кинетики кристаллизации. Наблюдалась эвтектическая кри-

таллизация (ЭК) с образованием α -Fe и γ -Fe₂O₃. Конденсаты хрома кристаллизовались с образованием выделений Cr и Cr₂O₃ в ориентации (001). Тип реакций кристаллизации также зависел от температуры и скорости нагрева образцов.

Таким образом, обнаружен эффект образования аморфных конденсатов железа и хрома без специального введения аморфизирующих примесей. Состав конденсатов может быть описан формулой M_xO_y, т.к. основной примесью является кислород, концентрация которого увеличивается при вылеживании пленок на воздухе.

Л и т е р а т у р а

- [1] L e u n g P.K., W r i g h t J.G. - Phil. Mag., 1974, v. 30, N 5, p. 995-1008.
- [2] B e n n e t M.R., W r i g h t J.G. - Phys. status solidi (a), 1972, v. 13, N 1, p. 135-144.
- [3] W a n g R., M e r z M.D. - Phys. status solidi (a), 1977, v. 39, N 2, p. 697-703.
- [4] Металлические стекла. Ионная структура, электронный перенос и кристаллизация / Под ред. Г. Бека и Г. Гюнтеродта. М.: Мир, 1983, 376 с.

Поступило в Редакцию
21 июля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 23

12 декабря 1988 г.

ВОЗМОЖНОСТЬ СИНТЕЗА АЛМАЗА С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСНОГО СВЕРХСИЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

В.В. Д р у ж и н и н, О.М. Т а ц е н к о,
С.А. В о с к о б о й н и к

Существующие методы синтеза алмаза при сжатии графита с помощью ударной волны характеризуются очень сильным нагревом углерода, что приводит к графитизации алмаза и малому полезному выходу [1, 2]. Скорость нагружения образца в этом случае характеризуется очень малыми временами ≈ 1 мкс и адиабатический процесс носит необратимый характер, что ведет к росту энтропии и нагреву до 3500-4000 К. Существующие методы генерации сверхсильных магнитных полей до 10^3 Тл [3, 4] можно использовать для создания высоких и сверхвысоких давлений достигающих 400 ГПа [5]. При этом сжимаемый образец помещается в металлическую трубочку, толщина стенок которой больше скин-слоя данного металла. В экспериментах по люминесценции рубина было зафиксировано