Доклады Академии наук СССР
1965. Том 164, № 6

УДК 538.245 *ФИЗИКА*

Член-корреспондент АН СССР Л. В. КИРЕНСКИЙ, В. Г. ПЫНЬКО

АНИЗОТРОПИЯ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК КОБАЛЬТА

В сравнительно невысоком вакууме (10^{-4} мм рт. ст.) термическим напылением на свежие сколы кристаллов NaCl, нагретые до 200°, удается получать полностью ориентированные пленки кобальта (электронограммы не содержат колец Дебая — Шеррера). Из электронограмм (рис. 1 см. вклейку к стр. 1260) следует, что пленки, полученные при таких условиях, состоят из кристаллитов кубической β-фазы и кристаллитов гексагональной α-фазы. Ориентации кристаллитов обеих фаз относительно подложки схематично представлены на рис. 2. Электронограммы содержат также штриховые рефлексы, происхождение которых приписывается наличию кислорода в гранецентрированной решетке металла ([1]).

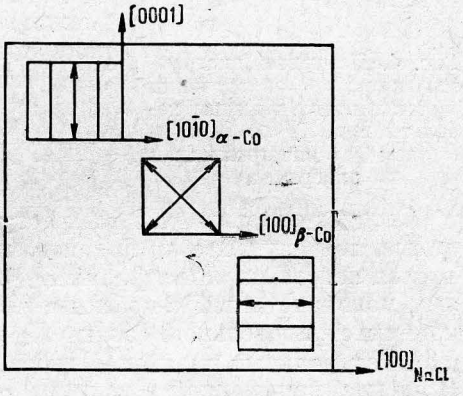

Рис. 2. Ориентации кристаллитов α- и β-фаз кобальта относительно подложки (кристалл NaCl) в эпитаксиальной пленке

Проведенное нами изучение доменной структуры и петель гистерезиса таких пленок выявило у них непостоянство положения осей легкого намагничивания. В большинстве случаев легкие оси совпадали с направлениями [100] β-фазы, что хорошо видно из рис. 3 (см. вклейку к стр. 1260), на котором представлен снимок доменной структуры типа «шахматной доски», полученный в электронном микроскопе. Структура образовалась после размагничивания пленки в переменном поле. 90-градусные границы идут вдоль направлений [110] β-фазы, являющихся, следовательно, трудными. Реже встречались пленки, у которых с направлениями [110] β-фазы совпадали легкие оси.

Из литературных источников ([2]) известно, что константа K_1 магнитной анизотропии β-Co меньше нуля и равна $-6\cdot10^5$ эрг/см^3. Следовательно, кристаллиты β-фазы должны создавать в пленке сильную двухосную анизотропию с осями легкого намагничивания, параллельными их кристаллографическим направлениям [110]. Измеренные методом ферромагнитного резонанса поля анизотропии пленок, напыленных на NaCl, оказались не превышающими 200 эрст., что значительно меньше обычно принимаемых значений $2K_1 / J_s$. Снижение поля анизотропии, а также поворот в некоторых случаях осей легкого намагничивания на 45° («положительную» анизотропию) у эпитаксиально выращенных на NaCl пленок кобальта можно объяснить наличием у них кристаллитов α-фазы с двумя равноценными ориентациями (рис. 2), если при этом учесть вторую константу K_2 магнитной анизотропии в выражении энергии для одноосных кристаллов:

$$E = E_0 + K_1 \sin^2 \varphi + K_2 \sin^4 \varphi. \qquad (1)$$

Если $K_2 < 0$, то полярные диаграммы энергии анизотропии кристаллитов α-фазы примут вид, изображенный на рис. 4. Сложение энергии кри-

сталлитов α-фазы двух взаимно перпендикулярных ориентаций при равенстве их объемов приводит к соотношению

$$E = E_1 + E_2 = E_0' + \frac{K_2}{4} \cos 4\varphi. \qquad (2)$$

Суммарная энергетическая диаграмма, полученная сложением энергии анизотропии E_1 и E_2 кристаллитов этих двух ориентаций, будет соответствовать «розетке» двухосной «положительной» анизотропии.

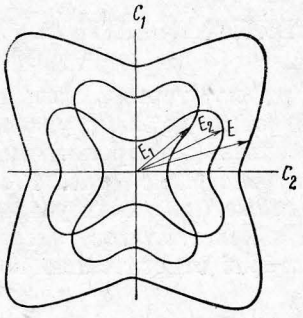

Рис. 4. Полярные диаграммы энергии анизотропии кристаллитов α-фазы кобальта при $K_2 < 0$ и суммарная энергетическая диаграмма

Таким образом, наличие в эпитаксиальной пленке кобальта кристаллитов α-фазы понижает отрицательную анизотропию и при определенном количестве их может создать «положительную» суммарную анизотропию.

Проведенные нами электронографические исследования пленок кобальта, напыленных на кристаллы LiF при температуре подложки 250°, показывают, что такие пленки почти не содержат кристаллитов α-фазы. Анизотропия таких пленок всегда отрицательна, а измерения на них поля анизотропии дают значения 500—600 эрст. Эти факты являются подтверждением высказанного выше предположения о том, что за «положительную» анизотропию в пленках кобальта, эпитаксиально выращенных на NaCl, ответственны кристаллиты α-фазы.

Следует отметить, что все рассуждения, приведенные выше, справедливы в том случае, если принять, что в эпитаксиальных пленках для α-Co вторая константа анизотропии $K_2 < 0$. Однако, как известно ([3]), в массивных монокристаллах α-кобальта $K_2 > 0$. Можно предположить несколько причин отрицательного знака K_2 у кристаллитов гексагональной фазы в эпитаксиальных пленках. Наиболее вероятна, на наш взгляд, следующая. В пленке, напыленной в вакууме $\sim 10^{-4}$ мм рт. ст., кристаллиты α-фазы, так же как и β-фазы, могут содержать повышенное по сравнению с массивными монокристаллами количество атомов кислорода. Гейденрейх, Несбитт и Бёрбанк ([1]) показали, что для возникновения наведенной анизотропии при магнитном отжиге сплавов с гранецентрированной решеткой требуется наличие в них кислорода. Поэтому вполне возможно, что именно наличие кислорода в кристаллитах α-фазы пленок меняет у них знак K_2.

Напыление пленок при натекании в камеру кислорода в момент напыления подтверждает это мнение. Пленки, напыленные на NaCl, в этом случае регулярно получаются с «положительной» анизотропией.

Институт физики
Сибирского отделения Академии наук СССР

Поступило
24 VI 1965

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] R. D. Heidenreich, E. A. Nesbitt, R. D. Burbank, J. Appl. Phys., **30**, 995 (1959). [2] J. Goddard, J. G. Wright, Nature, **202**, 1322 (1964). [3] W. Sucksmith, J. E. Thompson, Proc. Roy. Soc., **A 225**, 362 (1954).

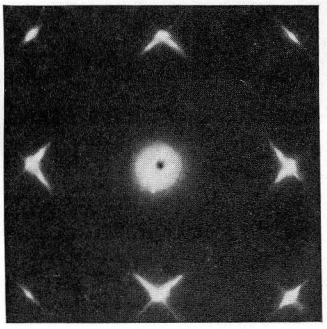

Рис. 1. Электронограмма пленки кобальта, напыленной в вакууме 10^{-4} мм рт. ст. на кристалл NaCl, нагретый до 200°

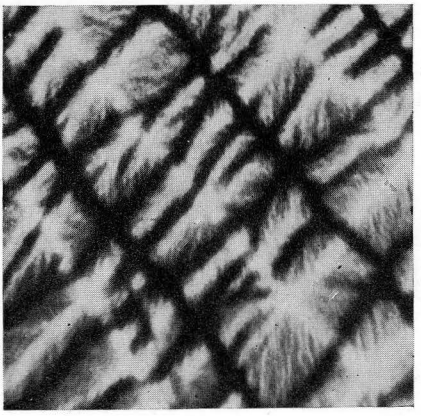

Рис. 3. Электронномикроскопическое изображение доменной структуры пленки кобальта, выращенной на NaCl. Структура возникла в результате размагничивания пленки в переменном поле. 1100×

Зак. 2927, т. 164, № 6