

# Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 3 — 1963

В. В. УДАЛОВА, Н. А. ПОТЕМКИНА

## ЭЛЕКТРОНОГРАФИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕКСТУР РОСТА ИНДИЯ ПРИ НАПЫЛЕНИИ В ВАКУУМЕ НА СКОЛ КАМЕННОЙ СОЛИ

Электроннографически показано, что индия при напылении на скол каменной соли образует два типа текстур. При одних условиях напыления образуется текстура, обусловленная ориентирующим действием подложки: плоскость (111) параллельна подложке. В других условиях напыления образуется текстура, определяемая условиями роста — направлением на источник: направление [111] перпендикулярно подложке.

Образование текстуры в тонких пленках индия, полученных напылением в вакууме на коллоидную подложку, изучалось ранее [1]. Электроннографически было показано, что основная часть кристаллов в таких пленках ориентирована плоскостью (111) параллельно подложке. Небольшая же часть кристаллов имеет другую ориентацию, которая в работе не определялась.

Рентгенографическое и электронно-микроскопическое изучение структуры пленок индия, полученных напылением на стеклянную подложку, было проведено в работах [2, 3]. Авторы этих работ также обнаружили две ориентации кристалликов индия по раздвоению пятен на рентгенограммах, причем одно пятно всегда гораздо слабее другого. Две ориентации кристаллов получены также ими и на электронно-микроскопических снимках. Основной ориентацией они считают такую ориентацию, когда плоскость (111) параллельна подложке. Появление второй ориентации, которую они не определили, авторы этих работ объясняют двумя гипотезами. Согласно первой [2] вторая ориентация является за счет того, что тетраэдр, образованный системой плоскостей {111}, в тетрагональном индии не есть правильный тетраэдр, и поэтому возможны две неэквивалентные ориентации его на подложке. Вторая гипотеза [3] объясняет раздвоение пятен на рентгенограмме двойникованием. Вторую гипотезу авторы считают более правильной. В работе [2] исследовалось также влияние различных условий напыления. Было обнаружено, что при больших выдержках, когда пленка индия становится достаточно толстой, текстура исчезает. Раздвоение пятен делается не четким также при напылении пленок в плохом вакууме, когда наблюдается большой разброс в ориентации кристалликов.

Мы получали тонкие пленки индия напылением в вакууме на свежий холодный скол каменной соли. Затем пленки отжигались в вакууме при температуре  $100^\circ$  в течение 1,5 часов. Пленки индия отделялись от

подложки из каменной соли растворением последней в воде. Изучались они электронографическим методом на просвет при косом падении пучка на образец.

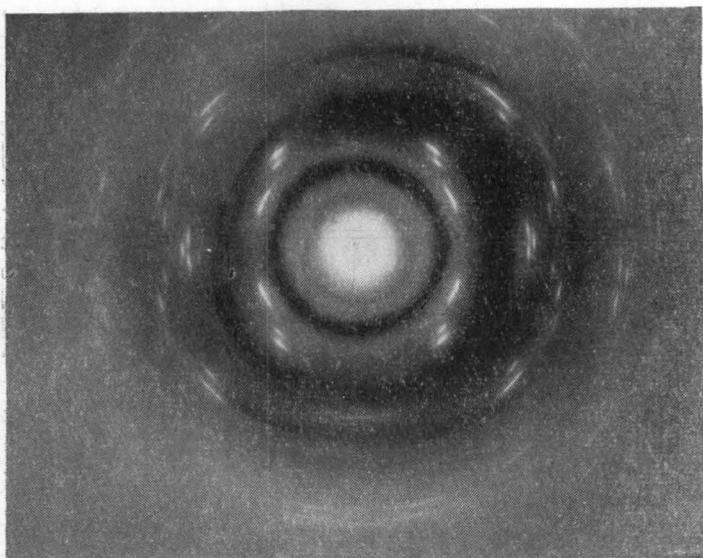


Рис. 1

При таких условиях получения пленок индия мы наблюдали образование двух типов текстур (электронограммы 1 и 2). Разница в условиях образования этих двух типов текстур не поддается контролю. Индексирование электронограмм приведено в таблице.

Электронограмма 1				Электронограмма 2			
№	$r$	$H$	$hkl$	№	$r$	$H$	$hkl$
1	37,0	0,0	$20\bar{2}$	1	37,0	1,0	$20\bar{2}$
2	38,5	0,0	$\bar{2}20$	2	38,3	0,0	$\bar{2}20$
3	63,5	0,0	$2\bar{2}4$	3	63,8	2,3	$2\bar{2}4$
4	66,0	0,0	$\bar{2}42$	4	65,7	1,2	$\bar{2}42$
5	23,0	5,2	$\bar{1}\bar{1}1$	5	22,9	5,2	$\bar{1}\bar{1}1$
6	42,7	5,2	$\bar{1}\bar{1}3$	6	42,5	3,7	$\bar{1}\bar{1}3$
7	45,0	5,2	$\bar{1}3\bar{1}$	7	44,7	5,7	$\bar{1}3\bar{1}$
8	57,0	5,2	$1\bar{3}3$	8	57,0	3,7	$1\bar{3}3$
9	59,0	5,2	$3\bar{3}1$	9	57,0	6,8	$3\bar{3}1$
10	25,5	10,4	$002$	10	58,7	4,7	$3\bar{3}1$
11	27,0	10,4	$200$	11	25,0	9,2	$002$
12	46,0	10,4	$\bar{2}22$	12	27,0	10,4	$200$
13	60,4	10,4	$\bar{2}40$	13	46,0	9,7	$\bar{2}22$
14	42,5	15,6	$1\bar{1}3$	14	60,0	11,7	$\bar{2}40$
15	45,0	15,6	$13\bar{1}$	15	42,1	14,3	$1\bar{1}3$
				16	45,0	15,7	$13\bar{1}$

$hkl$  — индексы отражений,  $r$  — расстояние рефлекса от центрального пучка в м.м.,  $H$  — высота рефлекса над нулевой слоевой линией в м.м.

Электроннограмма 1 имеет четко выраженные слоевые линии. Распределение рефлексов на них показывает, что ни одна из координатных осей не является осью текстуры. На электроннограмме 2 рефлексы расположены не по слоевым линиям, что обычно бывает на электроннограммах кристаллов низкой симметрии. Нас заинтересовала такая любопытная картина на электроннограмме текстуры тетрагонального индия ( $a = 4,59 \text{ \AA}$ ,  $c = 4,94 \text{ \AA}$ ), решетка которого обладает высокой симметрией.

Для определения оси текстуры по электроннограммам мы использовали хорошо известную формулу угла между двумя прямыми в решетке  $[hkl]$  и  $[mnp]$ . По этой формуле, если нам известен угол  $\varphi$  между определенным направлением в

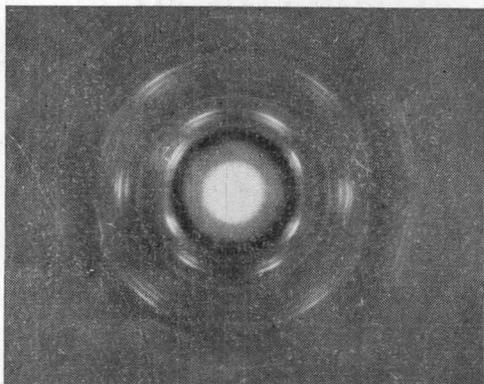


Рис. 2

обратной решетке  $[hkl]$  и осью текстуры  $[mnp]$ , можно определить индексы оси текстуры.

Как хорошо известно, углу  $\varphi$  в обратной решетке соответствует угол  $\psi$  между направлением на определенный рефлекс и следом оси текстуры на электроннограмме:  $\cos \varphi = \cos \psi \sin \alpha$ , где  $\alpha$  угол наклона образца к пучку [4]. Угол  $\psi$  в свою очередь может быть непосредственно измерен на электроннограмме, а отсюда может быть легко определен и угол  $\varphi$ .

Однако задача определения индекса оси текстуры по формуле угла между двумя прямыми довольно сложна, так как для нахождения трех индексов оси текстуры нужно решить систему трех квадратных уравнений с тремя неизвестными. В общем случае это неразрешимая задача.

Нам удалось упростить решение этой задачи. Определим ось текстуры на электроннограмме 1. На нулевой слоевой линии лежат рефлексы  $(20\bar{2})$  и  $(\bar{2}20)$ . Это означает, что ось текстуры  $[mnp]$  перпендикулярна векторам в обратной решетке, соответствующим узлам  $(20\bar{2})$  и  $(\bar{2}20)$ . Отсюда для случая рефлекса  $(\bar{2}20)$   $m=n$ ; для случая рефлекса  $(20\bar{2})$   $m = \frac{c^{*2}}{a^{*2}} p$ , где  $a^*$  и  $c^*$  — периоды обратной решетки. Для индия  $\frac{c^*}{a^*} = 0,87$ . Этой величине лучше всего соответствует отношение двух небольших целых чисел 7 и 8. Таким образом, ось текстуры в данном случае [778].

На электроннограмме 2 рефлекс  $(\bar{2}20)$ , как и на электроннограмме 1, лежит на нулевой слоевой линии, значит,  $m=n$ .

Рассмотрим теперь рефлексы  $(200)$  и  $(002)$  и соответствующие им направления в обратной решетке. Для этого случая имеем систему двух уравнений, решив которую, получаем  $m = \frac{\cos \varphi_{200}}{\cos \varphi_{002}} \frac{c^*}{a^*} p$ . Из электроннограммы находим  $\cos \varphi_{200} = 0,66$ ,  $\cos \varphi_{002} = 0,64$ . Это соотношение лучше всего выполняется, если  $m=p$ . Таким образом, ось текстуры в данном случае [111].

Итак, мы получили два типа текстур с осями [778] и [111] в обратной решетке, т. е. в атомной решетке плоскости (778) в одном случае и (111) в другом случае параллельны подложке.

Определим теперь, какое направление в атомной решетке перпендикулярно найденной нами плоскости текстуры (778). Легко можно показать, что в тетрагональной решетке плоскости ( $hkl$ ) перпендикулярно направлению  $[hkl']$ , где  $l' = \frac{a^2}{c^2}l$ . Отсюда плоскости (778) индия перпендикулярно направлению [111].

Итак, при кристаллизации индия на скол каменной соли мы получили в одном случае текстуру, обусловленную ориентирующим действием подложки: плоскость (111) параллельна подложке; в другом случае текстуру, определяемую условиями роста — направлением на источник: направление [111] перпендикулярно подложке.

Интересно сравнить полученные нами результаты с результатами приведенных ранее работ. Электронограммы в работе [1] совершенно идентичны нашим электронограммам первого типа. Однако мы в отличие от автора этой работы считаем, что ось текстуры в этом случае не [111], а [778]. Ошибка автора работы [1] в определении оси текстуры заключается в том, что он считает индий псевдокубическим и, исходя из этого предположения, определяет ось текстуры. Мы же в своих расчетах оси текстуры не прибегаем к этому упрощению, поэтому наши результаты можно считать более точными. На основании наших данных в работе [1] имеет место кристаллизация индия направлением [111] перпендикулярно подложке, что в том случае, если бы индий был кубическим кристаллом, было бы совершенно идентично утверждению, что плоскость [111] параллельна подложке.

В работах [1, 2, 3] наблюдалось появление двух ориентаций на одном и том же образце, в то время как мы обнаружили кристаллизацию индия двумя способами на различных образцах в зависимости от условий напыления. На одном же образце мы получаем только один вид текстуры. Это может быть объяснено тем, что наши образцы имеют более равновесное строение, так как мы изучаем пленки после длительного отжига, а авторы цитированных работ сразу же после напыления.

Пользуясь случаем, выражаем глубокую благодарность проф. З. Г. Пинскеру за постоянное руководство при выполнении данной работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Zorll U. Z. Physik, **139**, 654, 1954.
2. Croce P., Gandais M., Mairand A. Rev. Optique, **40**, No. 11, 555, 1961.
3. Croce P., Gandais M., Mairand A. Rev. Optique, **41**, No. 3, 136, 1962.
4. Вайнштейн Б. К. Структурная электронография. Изд-во АН СССР, М., 1956, стр. 66.

Поступила в редакцию  
14. 9 1962 г.

Кафедра  
кристаллофизики