Изв. АН Армянской ССР, Физика, 9, 62—66 (1974)

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ МОСТИКОВ МЕЖДУ ЧАСТИЦАМИ В РАННИХ СТАДИЯХ РОСТА ПЛЕНОК ЗОЛОТА

Ф. М. МАЛАДЖИКЯН, Г. Г. ШИРАКЯН

В работе исследованы азимутальные ориентации мостиков и их количественное распределение по азимутальным направлениям в ранних стадиях роста пленок золота. Экспериментально найдено, что азимутальные ориентации мостиков имеют тенденцию к распределению с 6°-ной периодичностью. Количественное распределение мостиков по обнаруженным направлениям проверялось с помощью критерия согласия χ^2. С достаточной уверенностью отвергается гипотеза о равномерном распределении количества мостиков.

Известно, что в ранних стадиях конденсации металлических пленок на чужеродных подложках формируются разобщенные частицы металлического конденсата. В ряде работ [1—3] было обращено внимание на то, что многие пары соседних частиц оказываются соединенными с помощью мостиков. Детальное изучение механизма зарождения и роста этих мостиков важно для развития физических представлений о ранней стадии формирования металлического конденсата на подложке.

В настоящей работе впервые изучены ориентации направлений мостиков и их количественное распределение по азимутальным направлениям в ранних стадиях роста пленок золота. Исследуемые пленки были получены на поверхности (001) каменной соли в условиях 10^{-5} *тор*. С целью обеспечения чистоты эксперимента скалывание кристалла производилось в вакууме после достижения стабильной скорости испарения золота. Испарителем служила вольфрамовая проволока *V*-образной формы с диаметром 0,2 *мм*. В процессе конденсации золота температура кристалла каменной соли поддерживалась равной 200°C с точностью ±5°. Скорость конденсации составляла ~1 Å/*сек*.

Пленки различной толщины были получены варьированием времени конденсации на отдельных подложках и на одной и той же подложке передвижением заслонки. Образцы для электронномикроскопических исследований были приготовлены по известной методике [4].

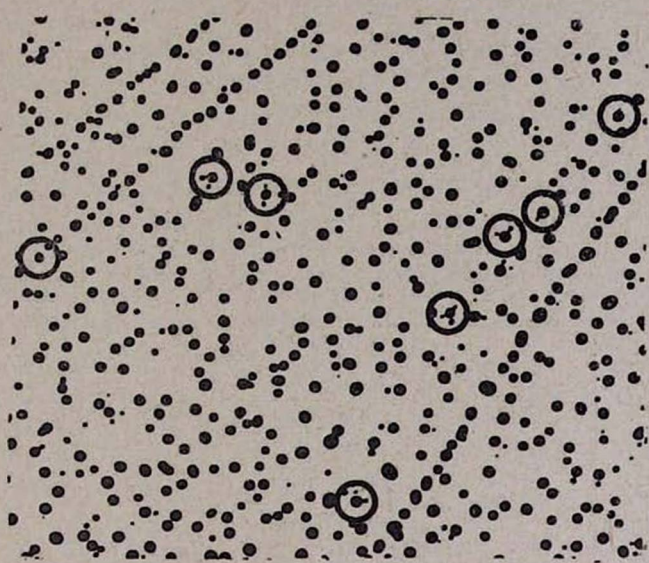
Средняя толщина пленок оценивалась на основе светлопольных электронномикроскопических снимков. Исследования производились на электронном микроскопе *УМВ-100К* при электронооптическом увеличении $(7—8)\cdot 10^4$x.

Нами исследованы пленки золота со средними толщинами $h_{ср}$, равными 0,4, 2, 3, 3,5, 6,5, 8 и 13 Å. Во всех указанных случаях формировался конденсат в форме совокупностей частиц золота, которые вдали от различных дефектов поверхности (ломели скола и др.) располагались хаотично.

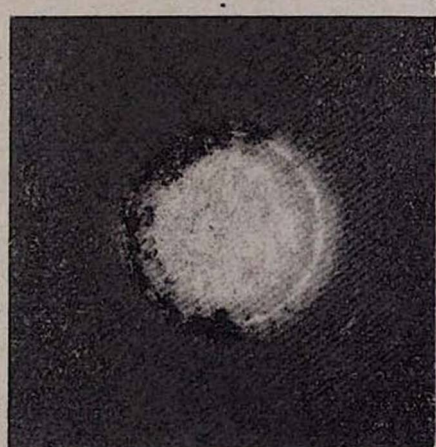
Электронномикроскопические исследования показали следующее.

а) Образование мостиков между соседними частицами наиболее характерно для пленок с $h_{ср} = 3{,}5—13$ Å. В более ранних стадиях конденсации ($h_{ср} < 3{,}5$ Å) мостики между соседними частицами очень редки. По всей вероятности появление мостиков связано с ростом частиц и достижением их размеров некоторой критической величины. В наших экспериментах размер частиц составлял 50—70 Å в диаметре.

б) Мостики в основном наблюдаются между большими и маленькими частицами. Одна большая по размеру частица (50—70 Å) с помощью мостиков может быть соединена с одной, двумя, тремя, четырьмя и в очень редких случаях с шестью маленькими частицами (рис. 1). Размеры



а



б

Рис. 1. а) Микрофотоснимок пленки золота со средней толщиной 3,5 Å (увеличение 360 000 x). б) Дифракционная картина пленки.

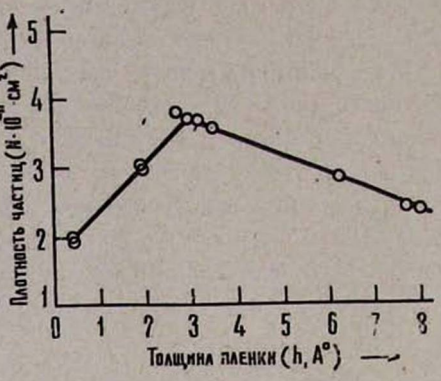


Рис. 2. Кривая изменения плотности частиц золота в зависимости от изменения толщины осадка.

Таблица 1

Азимутальные направления мостиков с шагом 6°	Колич. мостиков по отдельным азимутальным направлениям в пленках с различными $h_{ср}$ (Å)				Азимутальные направления мостиков с шагом 6°	Колич. мостиков по отдельным азимутальным направлениям в пленках с различными $h_{ср}$ (Å)			
	3,5	6,5	8	13		3,5	6,5	8	13
0	17	7	2	3	186	17	13	7	2
6	9	7	3	4	192	11	7	8	4
12	11	5	5	4	198	15	4	2	6
18	5	5	3	10	204	18	11	5	8
24	11	7	5	2	210	5	14	3	4
30	5	13	6	5	216	7	12	2	4
36	7	10	4	4	222	11	11	3	10
42	13	10	3	6	228	8	12	3	6
48	9	10	4	8	234	10	7	5	8
54	15	6	4	11	240	12	4	3	8
60	12	14	2	5	246	11	4	3	9
66	14	14	3	4	252	7	5	5	7
72	10	20	10	16	258	9	9	10	7
78	10	10	8	10	264	15	2	7	8
84	10	12	5	10	270	19	6	5	11
90	12	22	7	7	276	13	12	5	8
96	15	18	8	13	282	12	10	7	9
102	23	24	15	12	288	22	12	7	8
108	5	14	6	8	294	14	19	3	5
114	9	20	8	13	300	14	5	6	2
120	18	14	4	11	306	11	12	8	10
126	26	29	14	20	312	10	22	8	1
132	15	12	7	6	318	14	11	11	4
138	21	25	9	5	324	17	19	5	8
144	9	16	4	6	330	14	12	5	2
150	11	14	7	3	336	15	11	5	4
156	15	15	8	8	342	17	9	5	2
162	9	13	7	2	348	14	6	2	2
168	7	15	6	4	354	13	9	6	0
174	6	17	5	6					
180	14	7	3	1					

маленьких частиц колеблются в пределах 20—30 Å в диаметре. Редко можно наблюдать, когда из большой по размеру частицы выходит тонкая игла. Как правило, иглы, которые на своем конце не имеют маленьких частиц, длиннее мостиков на 10—20 Å. Длина мостиков в наших опытах почти постоянна и колеблется в пределах 60—80 Å.

в) Увеличение толщины пленок в некотором интервале приводит к увеличению плотности частиц. Максимальная плотность наблюдается в пленках, где $h_{ср} = 3$ Å, и составляет $3{,}7 \cdot 10^{11}$ $см^{-2}$. Дальнейшее увеличение толщины пленки приводит к убыванию плотности частиц (рис. 2).

Исследования азимутальных ориентаций мостиков были проведены на электронномикроскопических снимках пленок с $h_{ср} = 3{,}5$, 6,5, 8 и 13 Å. Микрофотоснимки удовлетворяли следующим требованиям: имели достаточное увеличение (600 000х); размеры снимков (50×75 $см^2$) позволяли получить достаточное количество статистических данных о количествах мостиков. На электронномикроскопических снимках параллельно каждому мостику были проведены направления от большой частицы к маленькой. Далее всевозможные направления по отдельности были перенесены и расположены вокруг одного центра. Метод позволил обнаружить закономерное распределение азимутальных направлений мостиков—тенденцию к 6°-му распределению. Отклонение от шестиградусной периодичности оценивалось коэффициентом вариации, который не превышал 8%.

Одновременно была собрана статистика о количествах мостиков по обнаруженным направлениям. Эти данные для пленок с $h_{ср} = 3{,}5$, 6,5, 8 и 13 Å приведены в табл. 1. Проверялась также гипотеза о равномерности распределения количеств мостиков с помощью критерия согласия χ^2. Полученные результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

$h_{ср}$ пленки (Å)	Количество мостиков (n)	Среднее количество мостиков ($n/60$)	Число степеней свободы	Критерий χ^2
3,5	748	12,47	59	98,58
6,5	715	11,92	59	163,35
8,0	334	5,57	59	81,33
13,0	394	6,67	59	135,03

$\chi^2_{59;\ 0{,}01} = 87{,}17$; $\chi^2_{59;\ 0{,}05} = 77{,}9$

В трех случаях из четырех (пленки с $h_{ср} = 3{,}5$, 6,5 и 13 Å) с достаточной уверенностью отвергается гипотеза о равномерном распределении количеств мостиков. Иными словами, имеются направления, которые предпочтительны для образования мостиков.

Поступила 20.VII.1972,
после переработки 14.XI.1973

ЛИТЕРАТУРА

1. *H. Poppa.* Z. Naturforsch., A419, 835 (1964).
2. *D. W. Pashley.* Adv. Phys., 14, 327 (1965).
3. *D. Lewis, D. J. Stirland.* J. Cryst. Growth, 3, 200 (1968).
4. *G. A. Bassett.* Phil. Mag., 3, 1042 (1958).
5. *G. I. Distler, E. I. Tokmakova.* Thin Solid Films, 6, 203 (1970).
6. *Г. И. Дистлер.* Тезисы Всесоюзного совещания по росту кристаллов, Ереван, 1972. I часть, стр. 109.

ՈՍԿՈՒ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ԱՃՄԱՆ ՎԱՂ ՇՐՋԱՆՈՒՄ ՀԱՏԻԿՆԵՐԻ ՄԻՋԵՎ ԿԱՄՐՋԱԿՆԵՐԻ ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ՄԻ ՔԱՆԻ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Ֆ. Մ. ՄԱԼԱՋԻԿՅԱՆ, Գ. Գ. ՇԻՐԱԿՅԱՆ

Հետազոտվել է հատիկների միջև կամրջակների աղիմուտալ ուղղությունները ոսկու թաղանթների աճման վաղ շրջաններում։ Բոլոր ուղղությունների դուգահեռ չերումով մեկ կետի շուրջ բացահայտվում է նրանց տեղաբաշխման 6°-ային ձգտում։

ON THE FORMATION OF BRIDGES BETWEEN PARTICLES AT INITIAL STAGES OF GOLD FILMS GROWTH

F. M. MALADJIKIAN, G. G. SHIRAKIAN

Azimuth bearing of bridges between particles at initial stages of gold film growth have been studied. The azimuth bearings of bridges are found experimentally to show a tendency for distribution with 6° periodicity.