

УДК 621.328.8.002.3:669.3+681.2.002.3:669.3

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕДИ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДЛОЖКАХ**

А.В. Табалов (1), В.М. Березин (2)  
e-mail: alextab@mail.ru (1), berezin@termeh.tu-chel.ac.ru (2)

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Статья поступила 16 мая 2002 г.

### **Введение**

Углубленное изучение физических свойств тонких металлических пленок стимулировано широким практическим использованием металлических конденсаторов во многих областях техники.

Тонкие металлические пленки по своей природе представляют собой объекты с весьма разнообразными физическими свойствами, а многообразие и изменчивость этих свойств существенно расширяют возможности их практического применения. При создании и использовании пленочных материалов с заданными характеристиками совершенно необходимо знать основные закономерности изменения свойств тонких пленок.

Известно, что переход от массивных образцов к кристаллам малых размеров или тонким пленкам приводит к изменению параметра решетки. Так параметр решетки тонких пленок Al, Bi, Pb и Ag «докритической» толщины уменьшается с уменьшением толщины [1], а Пинскер [2] обнаружил увеличение параметра решетки тонких пленок Cu с уменьшением толщины. Показано [1], что изменение параметра решетки тонких пленок ванадия и хрома зависит от условий получения пленок, в частности от давления остаточных газов во время конденсации.

Предметом исследования настоящей работы являются особенности формирования структуры тонких металлических пленок меди толщиной от 0,1 до 2 мкм на поликоре.

Образцы были получены термовакуумным напылением и подвергнуты рентгеноструктурному анализу, проведенному с использованием установки ДРОН-3. Рассчитаны межплоскостное расстояние и параметр элементарной ячейки.

### **Экспериментальные исследования**

Тонкие пленки меди получены методом термовакуумного напыления на поликоровые подложки стандартного размера 48 × 60 мм. Все подложки были подвергнуты двойной предварительной очистке: сначала химическим травлением в растворе хромовой смеси ( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  — 100 гр,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  — 50 гр, вода дистиллированная — до литра), затем плазмохимической очисткой с использованием установки «Плазма-600».

Известно, что процесс конденсации и структура образующейся пленки существенно зависят от кинетических параметров конденсации — температуры подложки, плотности падающего молекулярного пучка, определяющей концентрацию адсорбированных атомов, характера взаимодействия осаждаемых атомов с подложкой, ее потенциальным рельефом и т. п. [3].

Напыление пленок меди проводилось при давлении остаточных газов  $P = 1 \cdot 10^{-8}$  Па и температуре подложки  $T = 70$  °С.

Исследование атомно–кристаллической структуры тонких пленок меди осуществлено методом рентгеновской дифрактометрии [4, 5] с помощью ДРОН–3. Проводилась съемка поликристаллического материала в параллельном пучке монохроматического (характеристического) излучения с медного анода (длина волны для  $K\alpha_1$   $\lambda = 1,54051$  Å). Дифракционные условия выполняются для тех кристаллов, в которых плоскости ( $hkl$ ) образуют угол  $\theta$  с падающим излучением. Дифрагируемое излучение регистрируется на синхронно движущейся ленте. Из наблюдаемых дифрактограмм были рассчитаны межплоскостные расстояния  $d$  по закону Вульфа–Брэггов, а также определен параметр элементарной ячейки  $a$  (таблица).

### Результаты расчета дифрактограмм

Толщина пленки, мкм	Угол $2\theta$ , град	Межплоскостное расстояние, $d$ , Å	Параметр элементарной ячейки $a$ , Å
0,1	43,3750	2,10992	3,6545
0,5	43,3494	2,11073	3,6559
1,0	43,3469	2,11077	3,6560
2,0	43,3469	2,11077	3,6560

Результаты, представленные в таблице, показывают, что с увеличением толщины напыляемой пленки наблюдается увеличение параметра элементарной ячейки меди (рис. 1). Кроме того, параметр элементарной ячейки меди в пленочном состоянии на 1,2—1,3 % больше чем в массивном образце. Аналогичный результат был получен Пинскером и Татариновой [2].

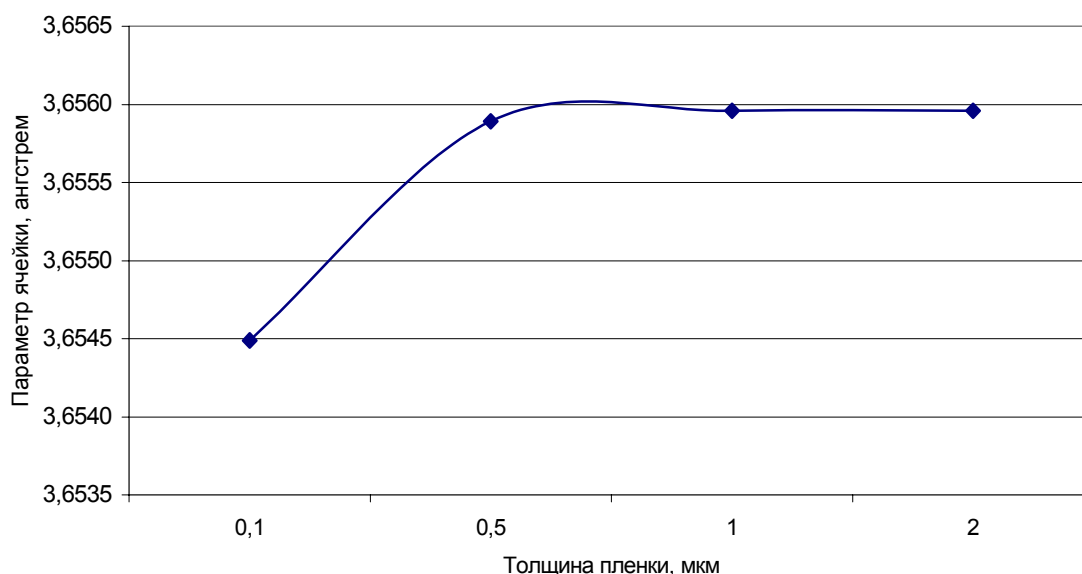


Рис. 1. Параметр элементарной ячейки для пленок меди различной толщины

На рис. 2 представлена зависимость интегральной интенсивности рефлекса (111) от толщины напыляемой пленки. Из рисунка видно, что с увеличением толщины пленки интегральная интенсивность полученных рефлексов сначала увеличивается почти линейно вплоть до толщины  $\sim 1,0$  мкм. Это закономерный результат, связанный с увеличением числа рассеивающих центров при условии, что глубина проникновения рентгеновских лучей больше толщины пленки. Кроме того, именно до этой толщины идет увеличение параметра элементарной ячейки. Однако, при дальнейшем увеличении толщины пленки изменения значения параметра элементарной ячейки не происходит, а наблюдается уменьшение интенсивности, хотя естественным было бы ожидать иной ход этого участка кривой — либо рост, либо выход на насыщение. Можно предположить, что возрастающий отрезок экспериментальной кривой соответствует формированию преимущественной ориентации тонкой пленки меди, когда кристаллы возникающей фазы

оказываются закономерным образом ориентированными относительно кристалла–подложки [3, 4]. Эффект же понижения интегральной интенсивности рефлекса при увеличении толщины пленки, видимо, связан с процессом текстурирования медной пленки.

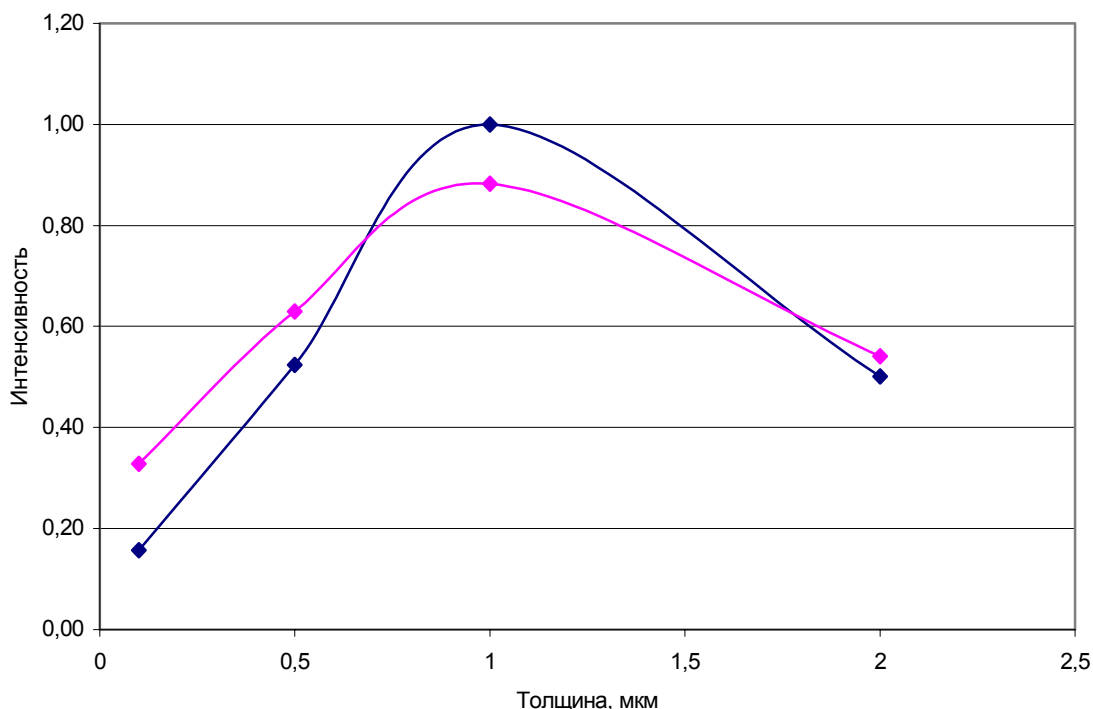


Рис. 2. Интегральная интенсивность рефлекса (111) для пленок меди различной толщины

## Выводы

Рентгеноструктурный анализ тонких пленок меди показал, что интегральная интенсивность рефлекса (111) изменяется в зависимости от толщины напыляемой пленки.

Определение параметра элементарной ячейки меди подтвердило, что период решетки пленки оказывается больше, чем в массивном кристалле, что является типичной ситуацией [3] для пленок более 1 мкм.

Кроме того, для пленок с толщиной менее 1 мкм параметр элементарной ячейки увеличивается с ростом толщины пленки, формируемой на поликоровой подложке, что может быть связано с эффектом эпитаксии, так как параметр материала подложки меньше чем параметр меди.

Поскольку использование тонких пленок меди в промышленности, в частности при производстве гибридных интегральных схем (ГИС) и микросборок, требует знания такой важной характеристики как надежность, которая в свою очередь естественным образом зависит от условий формирования применяемой пленки, то выявленные закономерности следует учитывать при разработке технологических процессов.

## Список литературы

1. Гладких Н.Т., Песин А.И., Проценко И.Е., Чекарев М.А. Изменение параметра решетки тонких пленок ванадия и хрома // УФЖ, 1973. Т. 18. № 2. С. 208—211.
2. Пинскер З.Г. Дифракция электронов. М. —Л.: Изд-во АН СССР, 1949. 406 с.
3. Комник Ю.Ф. Физика металлических пленок. Размерные и структурные эффекты. М.: Атомиздат, 1979. 264 с.
4. Технология тонких пленок / Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга. М.: «Сов. радио», 1977. Т. 2. 1977. 768 с.
5. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. М.: Metallургия, 1982. 632 с.