

ЭВОЛЮЦИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ТОНКИХ ПЛЕНОК СПЛАВА Al-1.0 ат. % Cr ПРИ ИОННО-АССИСТРОВАННОМ ОСАЖДЕНИИ НА СТЕКЛО

¹Ташлыкова-Бушкевич И.И.*, ²Яковенко Ю.С., ¹Мойсейчик Е.С., ¹Бейда А.И.

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
ул. П. Бровки, 6, 220013, Минск, РБ

²Минский государственный профессионально-технический колледж легкой промышленности и бытового обслуживания населения, ул. Казинца, 89, 220108, Минск, РБ

* *iya.itb@bsuir.by*

Введение

Для управления свойствами тонкопленочных металлических покрытий при их осаждении на подложку необходима диагностика микроструктуры поверхности системы покрытие/подложка. В последнее время тонкие пленки алюминия и его сплавов активно исследуются при разработке покрытий структурных составляющих солнечных батарей, в частности для лицевого контакта солнечных элементов, а также в качестве материалов для полупроводниковой микроэлектроники [1]. В данной работе на примере тонких пленок сплава Al-1.0 ат. % Cr, характеризующегося высокой термической стабильностью, обсуждаются экспериментальные результаты исследования изменения микроструктуры тонких металлических пленок, полученных методом ионно-ассистированного осаждения (ОПАСИ), в зависимости от условий формирования покрытий.

Методика эксперимента

Эксперименты по ионно-ассистированному осаждению металлических пленок на стекло проводились с использованием вакуумного резонансного плазменно-дугового источника (вакуум 10^{-2} Па) [2] в двух режимах: при отсутствии ускоряющего потенциала и при $U=3$ кВ. В качестве электродов установки использовался сплав Al-1.0 ат. % Cr. Время осаждения покрытий составляло 3, 6, 9 ч ($U=0$) и 10 ч ($U=3$ кВ, сила тока $I=100$ мА, плотность тока 5.1 мА/см²) при скорости осаждения покрытия ~ 0.1 нм/мин. В соответствии с методикой, предложенной Р. Sigmund [3], скорость «кристаллизации» (охлаждения каскадов) составляла 10^{12} - 10^{13} К/с.

Изучение топографии поверхности образцов и определение ее шероховатости было выполнено на атомно-силовом микроскопе (АСМ) NT-206 с использованием зондов CSC-38. В качестве параметров, характеризующих шероховатость поверхности образца, были выбраны три величины, определяемые с помощью программы Surface Explorer: два «высотных» – R_a (среднеарифметическая шероховатость) и R_z (высота неровностей профиля) – и один «шаговый» параметр S (среднее значение шага между выступами). Для унифицированной оценки неоднородности поверхности пленок был рассчитан коэффициент $k = R_z/S$. Дополнительно микроструктура поверхности образцов была изучена с применением растрового электронного микроскопа (РЭМ) марки LEO-1455 VP. Для количественного анализа структурных элементов рельефа использовался стандартный метод стереометрической металлографии – метод случайных секущих. По результатам статистической обработки РЭМ изображений были измерены средний диаметр D_{cp} , удельная поверхность S и объемная доля V микрокапельной фракции.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1, *a* и *б* представлены типичные АСМ изображения поверхности исследуемых тонких пленок при отсутствии ускоряющего потенциала (*a*) и при $U=3$ кВ (*б*) с

соответствующими гистограммами распределения средних измеренных высот и впадин рельефа поверхности. Все построенные гистограммы унимодальны: имеют ярко выраженный максимум, обладают положительной асимметрией, объясняемой островковым механизмом роста покрытия [4], и по форме удовлетворительно описываются распределением Гаусса.

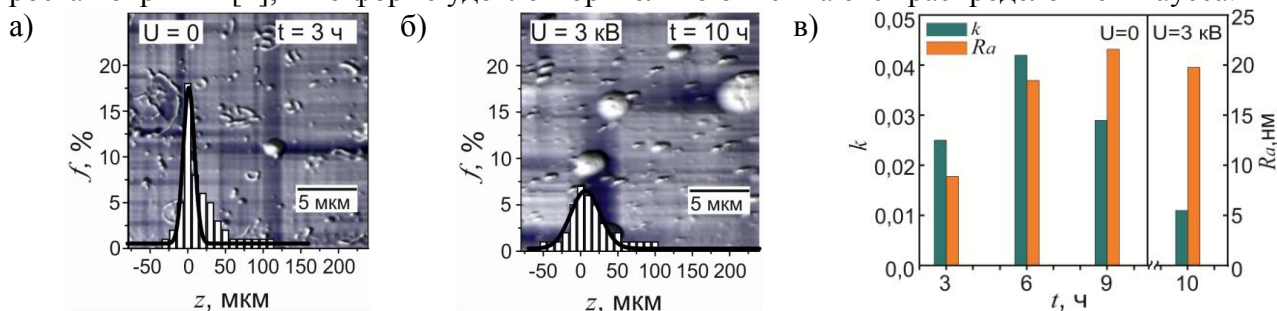


Рисунок 1. АСМ изображения топографии поверхности тонких пленок сплава Al-1.0 ат. % Cr в зависимости от условий осаждения и соответствующие гистограммы распределения высот и впадин рельефа поверхности (а, б); зависимость значений коэффициента k и параметра R_a от времени и режима осаждения покрытия (в)

Согласно данным АСМ при $U=0$ увеличение времени нанесения покрытия с 3 до 9 ч приводит к росту шероховатости пленки от 8.9 до 21.6 нм при том, что величина максимума гистограммы снижается при более равномерном распределении высот и впадин. Это объясняется тем, что на этапе $t=3$ ч поверхность пленки характеризуется наличием мелких «островков» – участков с большой высотой, но маленькой площадью, между которыми находятся участки с низкой высотой, рис. 1, а. С увеличением времени нанесения покрытия (6 и 9 ч) островки уменьшаются за счет заполнения пленкой участков между ними с ростом высоты последних. Анализируя данные, полученные при $U=3$ кВ, на этапе $t=10$ ч ($R_a=19.8$ нм) установлено, что при подаче U степень неоднородности поверхности значительно уменьшается при практически неизменном R_a , рис. 1, в. Указанному режиму получения пленки соответствует минимальное значение параметра $k=0.011$.

Методом РЭМ определено, что тонкие пленки сплава Al - 1.0 ат. % Cr, нанесенные на стекло, содержат микрокапельную фракцию осаждаемого покрытия, размер и плотность которой зависит от режима и времени нанесения. Как видно на рис. 2, распределение средних измеренных диаметров микрокапельной фракции по размерным группам имеет преимущественно бимодальный характер и может быть описано суперпозицией двух гауссовых распределений. Найдено, что средний измеренный диаметр микрокапельной фракции для пленок, полученных при $U=0$, возрастает в диапазоне от 0.35 мкм до 0.57 мкм при увеличении времени осаждения покрытия с 3 до 9 часов, рис. 2, д, и составляет 0.55 мкм для пленок, осажденных за 10 ч при $U=3$ кВ.

Рисунки 1, в и 2, д и е наглядно демонстрируют эволюцию микроструктуры пленки. Первоначально при увеличении времени осаждения покрытия мы наблюдаем рост параметра R_a , но при дальнейшем росте времени t (для $U=0$) и при приложении $U=3$ кВ происходит его снижение параметра при практически неизменном значении D_{cp} . Обнаруженные закономерности позволяют сделать вывод, что наличие микрокапельной фракции не является основным фактором, определяющим величину шероховатости пленок. Обнаруженное уменьшение S при росте среднего диаметра микрокапельной фракции свидетельствует о снижении плотности выделений при увеличении t : действительно, мы также наблюдаем и уменьшение параметра V , рис. 2, е.

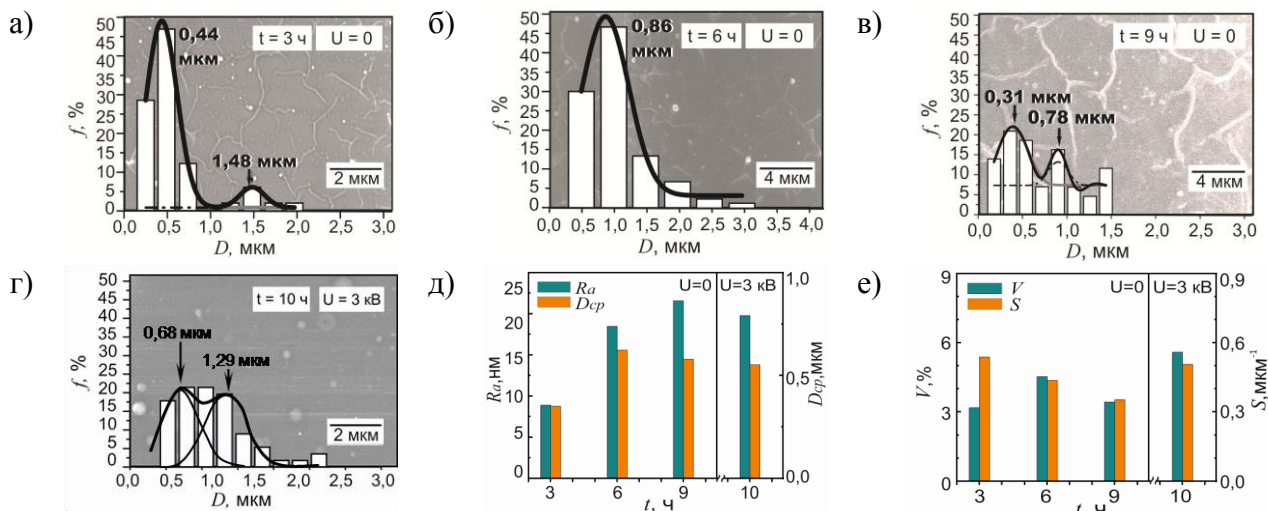


Рисунок 2. РЭМ изображения поверхности тонких пленок сплава Al-1.0 ат. % Cr и соответствующие гистограммы распределения частиц микрокапельной фракции в зависимости от условий осаждения по размерным группам (а-г); зависимость значений параметров D_{cp} , R_a (д) и V , S (е) от времени и режима осаждения покрытия

Заключение

Исследована эволюция микроструктуры тонких пленок сплава Al - 1.0 ат. % Cr, нанесенных на стеклянную подложку методом ОПАСИ, в зависимости от условий их формирования. Установлено, что с увеличением времени нанесения покрытия с 3 до 9 ч шероховатость поверхности увеличивается от 8.9 до 21.6 нм при $U=0$ и составляет 19.8 нм при $U=3$ кВ ($t=10$ ч). Для поверхности пленок характерно гауссово распределение высот и впадин. Для всех режимов получения пленки характерно наличие микрокапельной фракции из материала осаждаемого покрытия, геометрические размеры которой определяются величиной приложенного потенциала и временем осаждения. Полученное распределение средних измеренных диаметров микрокапельной фракции по размерным группам имеет преимущественно бимодальный характер и удовлетворительно описывается суперпозицией двух гауссовых распределений. Рассчитанный коэффициент k позволяет дать количественную оценку изменения высотных и продольных характеристик микрорельефа поверхности осажденной пленки в зависимости от условий формирования покрытия.

Работа финансировалась в рамках ГПНИ на 2016-2020 г. „Физическое материаловедение, новые материалы и технологии“ (подпрограмма „Материаловедение и технологии материалов“, задание 1.40, № ГР 20161123)). Авторы благодарны Бобровичу О.Г. (БГТУ) за помощь при проведении экспериментов по ионно- асситированному осаждению покрытий.

Литература

- [1] Н.В. Холодкова, И.В. Холодков. Электронная обработка материалов, 52(5), 75 (2016).
- [2] И.С. Ташлыков, И.М. Белый. Патент РБ №2324. 1С1 ВУ, С23 С4/12. С4/18, С14/16. Официальный бюл. гос. пат. ведом. 1, 30 (1999).
- [3] Р. Sigmund. Appl. Phys. Lett. 25, 169 (1974).
- [4] Л. Фельдман, Д. Майер. Основы анализа поверхности тонких пленок, Мир, М. (1989). 344 с.