

РОЛЬ ПЛАЗМЕННОГО АССИСТИРОВАНИЯ ПРИ МАГНЕТРОННОМ РАСПЫЛЕНИИ В ФОРМИРОВАНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ.

К.А. Алкенова, студент гр. 0А95

В.А. Грудинин, инж.-исс. НОЦ Б. П. Вейнберга

Д.В. Сиделёв, к.т.н., доцент НОЦ Б. П. Вейнберга

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

тел. (3822)-701-777

E-mail: kaa18@tpu.ru

Хромовые покрытия выполняют функцию защиты материалов от коррозии, окисления и водородного охрупчивания в различных агрессивных средах [1]. Химическое хромирование - это известная технология получения хромовых покрытий, которая отличается высокой производительностью и низкой стоимостью процесса осаждения. Однако этот метод, из-за чрезвычайно высокой токсичности соединений, участвующих в химическом хромировании является не безопасным [2].

Альтернативным методом осаждения хромовых покрытий является магнетронное распыление. Данный метод уже применяется для нанесения покрытий из Cr, обеспечивая соответствующие функциональные свойства, высокую чистоту и регулировку структурных параметров покрытий. Однако, в сравнении с химическим методом, магнетронное распыление имеет недостатки. Первый из них - это относительно низкая скорость осаждения. Одним из решений данной проблемы является, использование сублимирующей («горячей») хромовой мишени, что позволяет значительно увеличить скорость осаждения (практически до одного порядка), при этом будут происходить одновременно два процесса: распыление мишени и сублимация её поверхности [3-5]. Применение сублимирующей хромовой мишени может привести к ухудшению функциональных свойств покрытий, в том числе и к уменьшению твёрдости покрытия. Основная причина снижения параметров свойств покрытий состоит в том, что дополнительный поток атомов за счёт сублимации имеет кинетическую энергию менее 0,3 эВ, что значительно меньше в сравнении с распылёнными атомами. Предполагаемое решение может заключаться в применении высокочастотного источника индуктивно-связанной плазмы в процессе магнетронного распыления, которое позволяет увеличить плотность ионного тока, поступающего на подложку [6-8].

Цель настоящей работы состоит в исследовании влияния плазменного ассистирования на функциональные свойства хромовых покрытий, полученных при помощи магнетронного распыления.

В качестве подложек для исследования функциональных свойств покрытий использовалась сталь марки 12х18н10т. Схема осаждения покрытий подробно рассматривается в работе [9]. В эксперименте использовались две конструкции магнетронной распылительной системы (МРС): с «горячей» и охлаждаемой мишенью. В качестве дополнительного внешнего плазменного источника использовался радиочастотный плазменный генератор РПГ-128 (ООО «Лаборатория плазменных технологий плюс», г. Зеленоград, Россия), подключенный к источнику питания COMDEL CX1250 с частотой 13,56 МГц. Мощность РПГ-128 во всех экспериментах - 500 Вт.

Результаты. В результате проведения коррозионных испытаний для хромовых покрытий, покрытия, полученные в условиях РПГ-128, показали наилучшее сопротивление коррозии, в случае распыления «горячей» и охлаждаемой мишени. Без РПГ-128 наблюдается значительная разница в сопротивлении поляризации для хромовых покрытий (в 2,6 раз), что указывает на значимую роль применения РПГ-128 для модификации коррозионных свойств осаждаемых покрытий.

По результатам измерения твёрдости Сг покрытий, выявлено, что РПГ-128 также позволяет увеличить твердость покрытия в 1,4-2 раза. В результате, наиболее высокую твёрдость имеют покрытия, полученные с горячей мишенью и РПГ-128 ассистированием ($12,3 \pm 1,0$ ГПа).

Заключение. Выявлено, что плазменное ассистирование приводит к увеличению сопротивления поляризации в 2-5 раз в зависимости от типа применяемой мишени. Более значимый эффект наблюдается в случае «горячей» мишени, когда скорость осаждения выше. Также плазменное ассистирование позволяет увеличить твердость покрытия в 1,4-2 раза. В результате, наиболее высокую твёрдость имеют покрытия с «горячей» мишенью и плазменным ассистированием ($12,3 \pm 1,0$ ГПа).

Исследование выполнено в рамках выполнения гранта Президента РФ (проект № МК-3570.2022.4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Miretzky P. et al. Cr(VI) and Cr(III) removal from aqueous solution by raw and modified lignocellulosic materials: a review // *Journal of Hazardous Materials*. – 2010. – Vol. 180, iss 1-5. – pp. 1-19.
2. Bräuer, G.; Szyszka, B.; Vergöhl, M.; Bendorf, R. Magnetron sputtering – Milestones of 30 years. *Vacuum* 2010, 84, 1354-1359.
3. Sidelev D.V., Bleykher G.A., Krivobokov V.P., Koishybayeva Zh., High-rate magnetron sputtering with hot target, *Surface and Coatings Technology*, Volume 308, 2016, Pages 168-173.
4. D. Merces, F. Perry, A. Billard, Hot target sputtering: A new way for high-rate deposition of stoichiometric ceramic films, *Surface and Coatings Technology*, Volume 201, Issue 6, 2006, Pages 2276-2281.
5. Billard A. et al. Influence of the target temperature on a reactive sputtering process // *Surface and Coatings Technology*. – 1999. – Vol. 116-119. – pp. 721-726.
6. Voevodin A.A. et al. Wear resistant composite coatings deposited by electron enhanced closed field unbalanced magnetron sputtering // *Surface and Coatings Technology*. – 1995. – Vol. 73. – pp. 185-197.
7. Zhen He et al. Effect of bias on structure mechanical properties and corrosion resistance of TiN_x films prepared by ion source assisted magnetron sputtering // *Thin Solid Films*. – 2019. – Vol. 676. – pp. 60-67.
8. Grudin V.A., Bleykher G.A., Sidelev D.V., Krivobokov V.P., Bestetti M., Vincenzo A., Franz S., Chromium films deposition by hot target high power pulsed magnetron sputtering: deposition conditions and film properties, *Surf. Coat. Technol.* 375 (2019) 352–362.
9. Grudin V.A. et al. Hot target magnetron sputtering enhanced by RF-ICP source for CrN_x coatings deposition // *Vacuum*. – 2021. – Vol. 191. – article number 110400.