

УДК 538.951

**ОСАЖДЕНИЕ ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ С ПОМОЩЬЮ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ  
«ГОРЯЧЕЙ» МИШЕНИ С АССИСТИРОВАНИЕМ ВНЕШНИМ ПЛАЗМЕННЫМ  
ИСТОЧНИКОМ**

А.А. Бондарь, В.А. Грудинин, Д.В. Сиделёв

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Д.В. Сиделёв

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [aab195@tpu.ru](mailto:aab195@tpu.ru)

**CHROMIUM COATING DEPOSITION USING HOT TARGET MAGNETRON SPUTTERING  
ENHANCED BY ADDITIONAL PLASMA SOURCE**

A.A. Bondar, V.A. Grudinin, D.V. Sidelev

Scientific Supervisor: Assistant Professor, PhD D.V. Sidelev

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [aab195@tpu.ru](mailto:aab195@tpu.ru)

***Abstract.** This work shows the possibility to tailor a hardness of 1  $\mu\text{m}$ -thick Cr coatings obtained by high-rate deposition using magnetron sputtering with a "hot" target. For this purpose, an external plasma source was additionally applied to control the hardness of the Cr coatings in the range of 4 to 18 GPa.*

**Введение.** Активно развиваются технологии осаждения плёнок методом магнетронного распыления. Благодаря разнообразию параметров процесса можно получать плёнки различного элементного состава и структуры, с различным набором свойств. Процесс магнетронного распыления представляет собой выбивание (распыление) частиц с поверхности мишени посредством бомбардировки газовыми ионами плазмы. Существующие распылительные системы имеют ограниченную производительность, обычно не более 10-20 нм/с. Скорость осаждения покрытий может быть значительно увеличена, т.е. примерно на порядок, за счет использования испарения или сублимации поверхности мишени в дополнение к распылению [1]. Однако при значительном повышении скорости осаждения было обнаружено, что управление свойствами таких покрытий стало гораздо сложнее. Основная причина такого эффекта заключается в том, что увеличение скорости осаждения покрытий происходит за счёт включения сублимированных частиц в эрозионный поток. Поэтому требуется использовать дополнительный инструмент для управления свойствами покрытий при высоких скоростях осаждения. Настоящая работа посвящена определению роли внешнего источника плазмы на свойства хромовых покрытий, полученных с помощью магнетронного распыления «горячей» Cr мишени.

**Экспериментальная часть.** Исследования выполнялись на вакуумной ионно-плазменной установке, разработанной в научно-образовательном центре Б.П. Вейнберга. Детальное описание установки приведено в работе [2]. Режимы осаждения хромовых покрытий, толщиной 1 мкм, представлены в таблице 1, поток аргона в камеру - составлял 30 см<sup>3</sup>/мин. Магнетронная распылительная система подключалась к сильноточному источнику питания APEL-5-DOMS-1200. В качестве подложки

выбрана сталь марки 12Х18Н10Т (25×25×2 мм<sup>3</sup>). В експерименті в якості зовнішнього джерела плазми використовувався радіочастотний плазмовий генератор (РПГ-128, ООО "Лабораторія вакуумних технологій плюс") з потужністю 1000 Вт. В процесі осадження покриттів к образцям прикладався потенціал зміщення, рівний -100 В. Підложки кріпились на підложкодержателі, який забезпечував їх планетарне вращення.

Таблиця 1

Режими осадження хромових покриттів.

№	1	2	3	4	5	6	7
$Q$ , Вт/см <sup>2</sup>	18,9	25,2	28,3	31,5	34,6	39,3	44,0
$t$ , мин	120	60	30	20	13	6	3
$Q_p$ , кВт/см <sup>2</sup>	5,6	7,2	7,9	8,6	9,9	12,8	14,4

**Примечание:**  $Q$  – середня густина потужності розряду (т.е. в течение періода імпульса);  $t$  – час осадження;  $Q_p$  – максимальна імпульсна густина потужності розряду.

**Результати досліджень.** Дані по режимам осадження покриттів (рис. 1) показують, що залежність швидкості осадження  $S_f$  покриттів від густини потужності розряду – нелінійна, як результат збільшення ерозійного потоку з поверхні мішені ввиду її сублимації додатково к розпилюванню при густині потужності, рівній  $\sim 30$  Вт/см<sup>2</sup>. Максимальна імпульсна густина потужності розряду майже на 1 порядок більше середньої густини потужності.

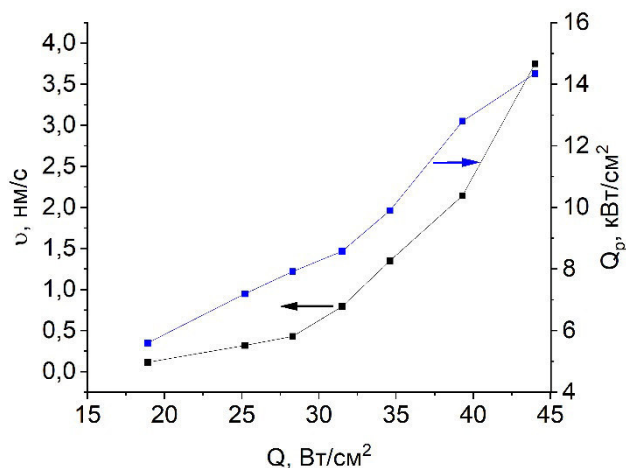


Рис. 1. Залежність швидкості осадження ( $v$ ) хромових покриттів і максимальної імпульсної густини потужності розряду ( $Q_p$ ) від середньої густини потужності розряду ( $Q$ )

На рис. 2 представлена залежність твёрдості хромових покриттів, отриманих з допомогою методу Олівера-Фарра. Глибина проникнення індентора складала 9-13% від товщини плінок, щоб виключити вплив підложки на вимірювання твёрдості покриттів. Из представленної залежності видно, що в початку, при підвищенні середньої густини потужності до 28,3 Вт/см<sup>2</sup>, відбувається підвищення твёрдості покриттів від 11 до 18 ГПа. Далі, при густині потужності від 28,3 і вище (до 44 Вт/см<sup>2</sup>) твёрдість зменшується до 4 ГПа. Подібне поведіння твёрдості покриттів пов'язано з зміною потоку частинок, досягаючих підложки, а також параметрами розряду (максимальної імпульсної густини потужності).

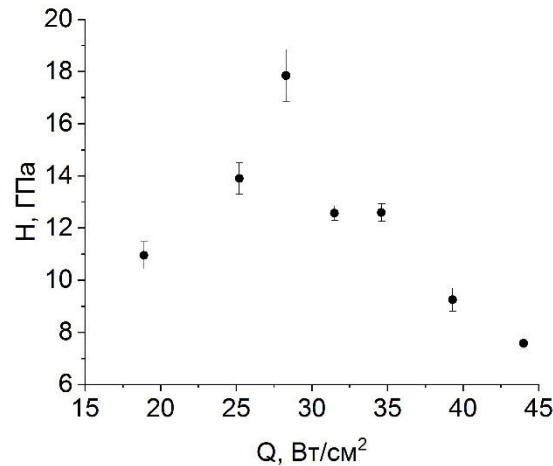


Рис. 2. Зависимость твёрдости Cr покрытий от средней плотности мощности разряда

Ввиду повышения скорости осаждения большая часть эрозионного потока, направленного от мишени к подложке, будет иметь низкую кинетическую энергию ввиду механизма его формирования (сублимации). Тем не менее, применение внешнего источника плазмы (РПГ-128), дополнительно используемого для ионизации атмосферы рабочей камеры, позволяет существенно повысить твёрдость хромовых покрытий (до 18 ГПа). Типичная твёрдость Cr покрытий, полученных магнетронным распылением, составляет 7-11 ГПа [3]. Твёрдость при максимальной плотности мощности (44 Вт/см<sup>2</sup>), когда эрозионный поток преимущественно формируется за счёт сублимации, равна 4 ГПа, что характерно для плёнок хрома, получаемых резистивным испарением [4].

**Заключение.** Исследования хромовых покрытий показали, что при повышении скорости осаждения за счёт сублимации мишени можно управлять их твёрдостью за счёт применения внешнего плазменного источника и приложения потенциала смещения. Получены плёнки хрома, с толщиной 1 мкм, твёрдость которых варьируется от 4 до 18 ГПа.

*Исследование было выполнено за счёт средств фонда Fondazione Cariplo (проект №2020.1156 «Cutting tools regeneration by means of innovative vacuum plasma technologies»).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Grudin V.A., Bleykher G.A., Sidelev D.V., Yuriev Yu.N., Lomygin A.D., Magnetron deposition of chromium nitride coatings using a hot chromium target: Influence of magnetron power on the deposition rate and elemental composition // Surface and Coatings Technology. – 2022. – V. 433. – № 128120.
2. Grudin V.A., Sidelev D.V., Bleykher G.A., Yuriev Y.N., Krivobokov V.P., Berlin E.V., Grigoriev V. Yu, Obrosov A., Weiß S. Hot target magnetron sputtering enhanced by RF-ICP source for CrN<sub>x</sub> coatings deposition // Vacuum. – 2021. – V. 191. – № 110400.
3. Lin J., Moore J.J., Sproul W.D., Mishra B., Wu Z. Modulated pulse power sputtered chromium coatings // Thin Solid Films. – 2009. – V. 518. – Issue 5. – p. 1566–1570.
4. Kataria S., Goyal S., Dash S., Tyagi A.K. Nanomechanical characterization of thermally evaporated Cr thin films — FE analysis of the substrate effect // Thin Solid Films. – 2010. – V. 519. – Issue 1. – p. 312–318.