

В то же время близость атомных радиусов позволяет использовать высокоэнергетические ионы хрома для уменьшения размеров столбчатых кристаллитов.

Как показали исследования, использование ионной бомбардировки подслоя титана привело к прерыванию роста столбчатой структуры, измельчению структуры слоя, прилегающего к подложке (рисунок 1).

Электроннографические исследования подтвердили эффективность ионной бомбардировки для измельчения структуры покрытий (рисунок 2).

Измерения микротвердости показали увеличение микротвердости покрытий после ионной бомбардировки в 1,3-1,6 раза.

УДК 539.23

Лесниковский П.В.

## **ИОННО-ПЛАЗМЕННАЯ ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТИ**

*БНТУ, Минск*

*Научный руководитель: Иванов И.А.*

Перед нанесением покрытий поверхность материала проходит фазу предварительной обработки, так называемой ионной очистки. В процессе ионной очистки поверхность очищается от окисной пленки и других загрязнений. Кроме того, посредством ионной бомбардировки с помощью ионного перемешивания создается переходной слой между наносимой пленкой и подложкой.

Ионная очистка поверхности необходима для обеспечения хорошей адгезии покрытий с поверхностью обрабатываемого материала. Эту операцию осуществляют с помощью бомбардировки ионами инертных газов или ионами осаждаемого материала. Эффективность очистки определяется типом используемых ионов, их энергией, плотностью тока. Скорость ионной очистки так же зависит от вида обрабатываемого

материала, степени его загрязнения и окисленности, вакуумных условий обработки.

Для ионной очистки применяют как газовые, так и металлические ионы. Для очистки газовыми ионами часто применяют триодные системы ионно-плазменного травления. Традиционные триодные системы позволяют извлекать ионные токи на подложку с плотностью до  $J_i = 10-15 \text{ mA/cm}^2$ . Применение системы скрещенных электрического  $E$  и магнитного  $H$  полей позволило увеличить плотность ионного тока на подложку до  $J_i = 70-310 \text{ mA/cm}^2$ , а также улучшить равномерность обработки поверхности материалов и расширить диапазон рабочих давлений в сторону меньших значений. В качестве рабочих газов в источнике использовали инертные газы (аргон, криптон, ксенон, гелий, неон, водород, азот). При использовании всех газов достигались высокие значения разрядного тока источника, однако диапазон рабочих давлений газа в водороде и азоте, по сравнению с аргоном, смещался в область меньших значений (рисунок 1).

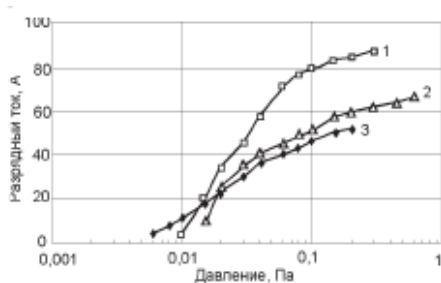


Рисунок 1 – Зависимость разрядного тока источника газовой плазмы ( $I_p$ ) от давления рабочего газа ( $p$ ).  $I_n = 100 \text{ A}$ ,  $H = 60 \text{ Э}$ .

Рабочие газы: 1 – аргон; 2 – азот; 3 – водород

При ионно-плазменном осаждении покрытий ионную очистку покрываемой поверхности зачастую осуществляют путем бомбардировки ионами осаждаемого материала. При

очистке поверхности ионами металлов наблюдается два конкурирующих процесса: распыление поверхности и накопление на ней бомбардирующего материала (рисунок 2). Эффект распыления для используемых ионов становится преобладающим при достижении некоторого критического потенциала, при котором наблюдается нулевой прирост толщины.

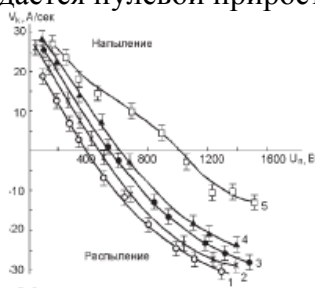


Рисунок 2 – Зависимость скорости конденсации от ускоряющего потенциала на подложке из стали Ст 3,  $P = 10\text{--}3$  Па,  $J_i = 2,1 \pm 0,3 \text{ mA/cm}^2$ : 1 – Mo, 2 – Zr, 3 – Ti, 4 – Al, 5 – Ti

В данном случае величина потенциала составляет 400-620 В. Превышение потенциала над его критическим значением приводит к преобладанию процесса распыления над конденсацией. Эффективность распыления растет с увеличением энергии и массы падающих ионов. Так, например, различие в распыляющей способности ионов Mo и Al составляет примерно 180-190% при ускоряющем напряжении 1000 В. Такое различие обусловлено не только отличием массы, что весьма существенно, но и средним зарядом ионов  $Z$  – для Mo:  $Z = 2,26$ , а для Al:  $Z = 1,58$  [2, 3]. При этом реальная энергия частиц составляет 2,26 кэВ и 1,58 кэВ соответственно.

Не менее важную роль в процессе очистки подложки, по сравнению с энергией и видом ионов, играют вакуумные условия (кривая 5, рисунок 2). Из-за взаимодействия молекул остаточного газа с ионами металлов или атомами подложки

могут образовываться трудно распыляемые соединения. Соответственно полный флюенс облучения, необходимый для распыления таких соединений, может существенно возрасти. Увеличение дозы ионной очистки заметно повышает адгезию покрытия к основе и улучшает защитные свойства покрытия. На практике полный флюенс облучения обеспечивается за время очистки ~ 10 мин.

Плазма вакуумной дуги может содержать ионы металлов с зарядностью +1, +2, +3 и даже +5 (для молибдена). Это означает, что энергия ионов металлов при ускоряющем напряжении на подложке 1ч1,5 кэВ может превышать величину 3ч5 кэВ. Такие энергии лежат далеко за пределами области максимальной энергетической эффективности процесса распыления. Поэтому, ионная очистка ионами металлов сопровождается сильным нагревом подложки с образцами или изделиями. Для того, чтобы избежать перегрева подложки > 500°С, очистку проводят импульсно, с перерывами для остывания подложки, что сильно затягивает общее время очистки. Возможность регулирования тока подложки при бомбардировке ионами металлов сильно ограничена. Процесс очистки сопровождается появлением микродуг, вызывающих повреждения поверхности.

УДК 621.793.18

Лесниковская Т.Н.

## **ЭЛЕКТРОДУГОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ПЛАЗМЫ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ В ВАКУУМЕ**

*БНТУ, Минск*

*Научный руководитель: Иванов И.А.*

Назначение электродуговых источников плазмы для нанесения покрытий в вакууме.