

ство алюминия в протекающей плазмо-химической реакции уменьшается. В результате чего образуются в основном соединения нитрид титана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иващенко, С.А. Влияние режимов нанесения вакуумно-плазменных покрытий на изменение микротвердости покрытия / С. А. Иващенко, С. Г. Койда // Проблемы инженерно-педагогического образования в Республике Беларусь : материалы VII Международной научно-практической конференции (28–29 ноября 2013 года). В 2 ч. Ч. 2 / ред. кол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск : БНТУ, 2013. – С. 41–45.

УДК 621.9.048

Сяхович П.В.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЕ ИСПАРЕНИЕ

*Белорусский национальный технический университет
г. Минск Республика Беларусь
Научный руководитель: канд. техн. наук,
доцент Комаровская В.М.*

Одной из разновидностей термического осаждения покрытий является метод электронно-лучевого испарения в вакууме. Метод основывается на испарении осаждаемого материала с помощью электронной бомбардировки. Такой способ нагрева обладает рядом преимуществ, позволяет осуществлять качественную подготовку и активацию поверхности. Методом электронно-лучевого испарения в вакууме получают покрытия из сплавов металлов, полупроводников и даже диэлектриков.

Устройства для электронно-лучевого испарения оснащаются электронными пушками (ЭП). Источником электронов обычно служит вольфрамовый катод. Эмитированные электроны ускоряют до потенциала в несколько киловольт [1].

Работа электронно-лучевого испарителя начинается с эмиссии свободных электронов с поверхности катода ЭП и формирования пучка электронов под воздействием фокусирующей системы элек-

тростатических и магнитных полей. Далее по направляющим отверстиям пушки пучок электронов устремляется в рабочую область вакуумной камеры. Для обеспечения необходимых параметров и направления потока электронов применяются фокусирующие магнитные линзы и ряд отклоняющих магнитных систем. Важным условием для успешного протекания процесса электронно-лучевого осаждения является беспрепятственное перемещение пучка электронов в рабочей области что обеспечивается высоким вакуумом при давлении камеры около 10^{-4} Па. При бомбардировке тигля электронным пучком происходит нагрев и испарение осаждаемого материала с образованием парового потока. Подложка располагается в паровом облаке где на нее конденсируется испаряемый материал и на поверхности формируется покрытие. Процесс электронно-лучевого осаждения достаточно чувствителен и требует тонкой настройки поэтому установки помимо прочего оснащаются средствами измерения и контроля. К основным параметрам электронно-лучевых испарителей относятся эффективность испарения (по меди) $3 \cdot 10^{-6}$ г/Дж, удельная мощность $104 \div 105$ Вт/см², удельная скорость испарения $2 \cdot 10^{-3} \div 2 \cdot 10^{-2}$ г/(см²·с), энергия частиц $0,1 \div 0,3$ эВ, скорость осаждения $10 \div 60$ нм/с [2].

Принципиальная схема нанесения покрытий электронно-лучевым испарением изображена на рисунке 1.

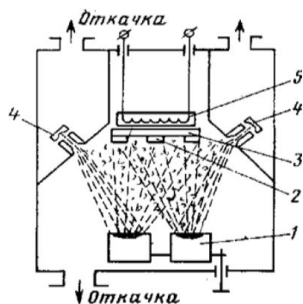


Рис. 1. Схема электронно-лучевого испарения:

- 1 – охлаждаемые тигли; 2 – обрабатываемые изделия;
- 3 – подложка для изделий; 4 – электронно-лучевые пушки;
- 5 – резистивный нагреватель изделий

Для характеристики процесса электронно-лучевого осаждения используют параметр – эффективность процесса испарения или удельная испаряемость β . Это величина, численно равная количеству вещества, испаряемого в данных условиях при энергозатратах, равных 1 Дж. Для электроннолучевого испарителя $\beta = 3 \cdot 10^{-6}$ г/Дж [2].

При столкновении электрона с поверхностью испаряемого материала примерно 70–90 % его кинетической энергии превращается в тепловую, остальная часть расходуется на возбуждение вторичной эмиссии и рентгеновского излучения.

Благодаря протеканию процессов напыления в вакууме метод электронно-лучевого испарения обеспечивает высокую чистоту получаемых покрытий, а возможность концентрации энергии позволяет работать в широком диапазоне термического воздействия и обрабатывать широкий спектр материалов подложек чем заслуживает внимания и на сегодняшний день является перспективным направлением развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шиллер Э. Гайзиг У., Панцер З. Электронно-лучевая технология. -М.: Энергия, 1980. — 109 с.
2. Веретин М.И., Емельянов А.Л., Емельянов В.Л., Жунда А.Н., Ядин Э.В. Электротермическое оборудование для нанесения покрытий в вакууме. Электротехника, 1981. – 40 с.