

ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНЕТРОНОВ**Анисимова Надежда Алексеевна**

студент, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», РФ, г. Москва

TECHNOLOGIES FOR DEPOSITION OF COATINGS USING MAGNETRONS**Nadezhda Anisimova**

Moscow State Technological University "STANKIN", Russia, Moscow

Аннотация. В статье рассматривается технология нанесения покрытий с использованием магнетронов. Метод магнетронного распыления широко применяется для нанесения декоративных, износостойких покрытий толщиной несколько микрон, многослойных оптических конструкций с толщинами слоев в несколько десятков нанометров или электропроводящих покрытий, свойства и структуры которых магнетронные системы распыления позволяют задавать и варьировать в требуемых диапазонах.

Abstract. The article discusses the technology of applying damage using magnetrons. The magnetron sputtering method is widely used for applying decorative, wear-resistant coatings several micrometers thick, multilayer optical structures with layers of several nanometer levels or electrically conductive coatings, the properties and structure of which magnetron sputtering systems allow to specify and approve in the required wires.

Ключевые слова: магнетронное распыление, плазма.

Keywords: magnetron sputtering, plasma.

Цель исследования - систематизация и анализ научно-технической информации о технологии магнетронного распыления, ее физических основах, ключевых параметрах и областях применения для формирования функциональных покрытий.

Введение. Метод магнетронного распыления широко используется для нанесения различных промышленно значимых покрытий, таких как декоративные, износостойкие или защитные покрытия толщиной в несколько микрон, а также для получения сложных многослойных оптических структур со слоями на уровне нескольких нанометров или электропроводящих покрытий [6, с. 2], свойства и структуру которых магнетронные распылительные системы позволяют задавать и использовать в требуемых источниках. Магнетронное распыление характеризуется высокой повторяемостью и стабильностью ожидаемых покрытий как по скорости распыления, так и по характеристикам получаемых пленок [5, с. 52]. Такая конструкция магнетронных систем, в отличие, например, от электронно-лучевого испарения [3, с. 5], при четко подобранных и заданных режимах воздействия отдельных слоев, позволяет

получать достаточно сложные многослойные оптические структуры без систем контроля толщины осаждаемого покрытия [4, с. 477]. Кроме того, получаемые покрытия обеспечивают низкое напряжение, что является существенным препятствием при нанесении покрытий на тканые полимерные подложки или стеклянные изделия, где необходимо поддерживать высокое качество оптической поверхности. Магнетронное распыление благодаря высокой энергетической эффективности и степени ионизации позволяет получать «плотные» слои веществ [5, с. 54], например, оксидов с высокими показателями преломления, на холодной подложке, что актуально для материалов подложки, не допускающих нагрева [1, с. 7].

Использование магнетронного разряда для распыления и нанесения покрытий

Различают несколько основных способов, реализующих магнетронный разряд в качестве технологической среды. С появлением и развитием магнетронных источников способ магнетронного распыления прочно вошел в практику получения защитных покрытий. Магнетронными называются системы, в которых используются неоднородные скрещенные магнитные поля. Параметры разряда в магнетронной системе зависят от рабочего давления, величины и конфигурации магнитного поля, конструктивных особенностей распылительной системы. Магнетронные системы относятся к системам ионного распыления, в которых процесс распыления материала мишени происходит вследствие бомбардировки поверхности ионами инертного или рабочего газа, образующихся в плазме аномального тлеющего разряда [1, с. 8].

Высокая скорость распыления может быть получена увеличением плотности ионного тока вследствие локализации плазмы у распыляемой поверхности мишени использованием сильного поперечного магнитного поля [1, с. 25]. Силовые линии магнитного поля замыкаются между полюсами магнитной системы. Поверхность мишени, замкнутая между входом и выходом силовых линий магнитного поля, интенсивно распыляется, под действием аномального тлеющего разряда. На мишени – отрицательный потенциал. На аноде соответственно положительный (либо нулевой). Наличие замкнутого магнитного поля у распыляемой поверхности мишени позволяет локализовать плазму аномального тлеющего разряда непосредственно у мишени. Ионная бомбардировка поверхности катода выбивает электроны заставляя их совершать движение у поверхности мишени по замкнутой траектории. Находясь как бы в ловушке электроны, эмитированные с катода, со одной стороны запираются магнитным полем, с другой отталкиваются от заряженной поверхности катода. Циклическое движение электронов происходит до тех пор, пока не произойдет ионизация атомами газа и потеря электроном энергии, и он диффундирует на границу плазмы по направлению к аноду [1, с. 109]. Тем самым, эффективность процесса значительно увеличивается и возрастает концентрация положительных ионов у мишени, что является следствием химического стимулирования ионной эмиссии [2, с. 103]. Что увеличивает интенсивность ионной бомбардировки мишени, повышает значительно скорость распыления, ну и как следствие скорости конденсации покрытия.

Скорость осаждения различных материалов с помощью магнетронных распылительных систем примерно достигает от 10 до 70 нм/с. Существование плазмы магнетронного разряда в основном существует в непосредственной близости от мишени, ее форма определяется геометрией и величиной магнитного поля. При этом высокоэнергетические вторичные электроны с мишени являются основным источником нагрева обрабатываемой поверхности. В магнетронной распылительной системе вторичные электроны захватываются магнитной ловушкой и не бомбардируют подложку, что обеспечивает ее сравнительно низкую температуру [1, с. 109].

Источниками нагрева обрабатываемой поверхности в магнетронной распылительной системе служат кинетическая энергия (от 5 (Al) до 20 эВ/атом (W) и энергия конденсации осаждаемых атомов (3-9 эВ/атом), энергия отраженных от мишени нейтрализованных ионов и энергия ионов вторичной плазмы, а также излучение плазмы (2-10 эВ/атом) [7, с. 45]. В свою очередь, плотность ионного тока на подложке зависит от концентрации вторичной плазмы, а она, непосредственно определяется мощностью магнетронного разряда и его конфигурацией, а также напряженностью магнитного поля.

Магнетроны можно условно разделить на «сбалансированные» и «разбалансированные» с

разной степенью разбалансированности (отношение плотности тока вторичных ионов к плотности потока распыленных атомов) [1, с. 145]. От разбалансированности зависит и крутизна ВАХ разряда, термическая нагрузка на подложки, и как следствие, качество и структура формируемого покрытия.

Основными рабочими параметрами магнетронных распылительных систем являются напряжение на электродах, ток разряда, плотность тока на мишени и удельная мощность, величина индукции магнитного поля и рабочее давление. От величины и стабильности перечисленных параметров, которые взаимно связаны между собой, зависят стабильность разряда и воспроизводимость процесса нанесения пленок. Магнетронная распылительная система может работать в диапазоне давлений $P = 10^{-2}$ до 1 Па и выше. Важнейшими параметрами, во многом определяющими характер разряда в ней, являются геометрия и величина магнитного поля, индукция которого у поверхности мишени 0,03 - 0,1 Т [1, с. 92].

Заключение

В настоящее время существует много методов нанесения ионно-плазменных покрытий, одним из перспективных является формирование тонкопленочных покрытий магнетронным распылением. Этот метод широко используется, в частности, для нанесения износостойких покрытий на металлообрабатывающий инструмент. Несомненными достоинствами метода осаждения тонких пленок магнетронным распылением являются универсальность (в качестве материала для осаждения могут использоваться металлы, сплавы, диэлектрики, магнитные композиции), регулируемая скорость конденсации и относительно простая конструкция. К недостаткам можно отнести невысокую чистоту формируемого покрытия, вследствие присутствия рабочего газа и низкая и нерегулируемая энергия осаждаемых частиц.

Список литературы:

1. Данилин Б.С., Сырчин В.К. Магнетронные распылительные системы. М.: Радио и связь, 1982. 72 с.
2. Попов В.Ф. Ионно-лучевые установки. Л.: Энергоиздат, 1981. 136 с.
3. Плешивцев Н.В. Катодное распыление. М.: Атомиздат, 1968. 344 с.
4. Сухова Н.А. Разработка механизма управления технологичностью конструкций авиационных двигателей // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2019. – № 10. – С. 476–480.
5. Сухова Н.А., Исмагилова Н.А. Особенности оценки качества технологических процессов. Уфа: УГАТУ, 2017. С. 52–55.
6. Shekhtman S.R., Sukhova N.A. Producing multilayer composites based on metal-carbon by vacuum ion-plasma method // Journal of Physics: Conference Series. 2016. Vol. 729, № 1. P. 012010.
7. Шехтман С.Р., Сухова Н.А. Свойства вакуумных ионно-плазменных покрытий с СМК структурой на основе карбосилицидов титана // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2016. – Т. 20, № 3. – С. 44–48.