

ПОЛУЧЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ С СЕЛЕКТИВНЫМ ПОКРЫТИЕМ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОПЫТА В УСЛОВИЯХ ЛАБОРАТОРНОЙ БАЗЫ АЛТГТУ ИМ. И.И. ПОЛЗУНОВА

В. И. Яковлев, Е. В. Аношкина, В. В. Бузаев
Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

В статье приведен обзор основных методов получения селективных покрытий абсорберов для солнечных коллекторов. Приведено описание лабораторной базы АлтГТУ им. Ползунова, использованной для создания селективных покрытий на основе базальта. Представлена технология получения селективных покрытий методом детонационного напыления и методом магнетронного напыления. Представлены полученные образцы поверхностей с селективным покрытием для абсорбера и для светопрозрачной части солнечных коллекторов.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, солнечный коллектор, селективные покрытия, магнетронное напыление.

1. Особенности технологического процесса нанесения селективных покрытий на абсорберы солнечных коллекторов

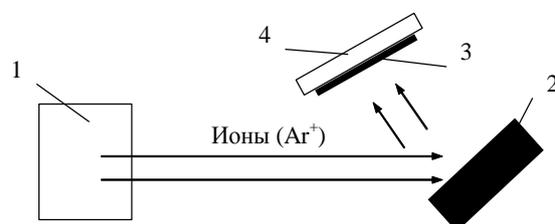
Ионное напыление

При взаимодействии быстрых частиц (ионов) с поверхностью твердого тела (мишени) протекает каскад упругих бинарных столкновений, основным результатом которых является передача атомам мишени энергии и импульса. Если переданная атому энергия превышает энергию связи его с остальными, то атом может покинуть поверхность и перейти в газовую фазу. При этом температура мишени значительно ниже температуры испарения материала, из которого она изготовлена.

Так как столкновения атомов имеют упругий характер, то для такой системы выполняются закон сохранения импульса и кинетической энергии. Поверхностные атомы отдачи, получившие достаточно высокую энергию, уходят с поверхности и образуют поток распыляемых частиц. Ионное напыление является процессом поверхностным. Поток распыленных частиц формируется из атомов, которые находятся в первом, втором и только при больших значениях энергии ионов – в третьем слое [2].

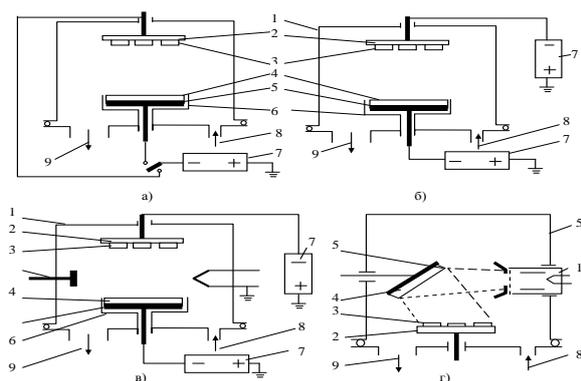
Как правило, наибольшее напыление происходит при углах падения ионов 60...75°.

При наклонном падении на поверхность монокристаллов зависимость S от угла падения ионов имеет более сложный характер. Общая схема ионно-лучевых методов напыления представлена на рисунке 1. Поток ионов, сформированный с помощью отдельного источника, направляется на поверхность мишени и вызывает ее распыление. Характерная особенность ионно-лучевого напыления заключается в том, что процесс образования газовой фазы происходит, если даже на поверхность мишени не подается электрический потенциал (потенциал смещения).



1 – источник ионов; 2 – распыляемая мишень; 3 – покрытие; 4 – подложка

Рисунок 1 – Схема ионно-лучевого напыления



1 – камера; 2 – подложкодержатель; 3 – детали (подложки); 4 – мишень; 5 – катод; 6 – экран; 7 – источник питания (постоянного тока или высокочастотный); 8 – подвод рабочего газа; 9 – откачка

Рисунок 2 – Принципиальные схемы систем катодного напыления: а) диодная; б) диодная со смещением; в) триодная; г) с автономным ионным источником

Катодное распыление

Катодное напыление является одним из наиболее известных способов нанесения покрытий. Еще в 1852 г. было установлено, что при прохождении электрического тока через разреженные газы происходит разрушение катода и на стенках камеры осаждается покрытие.

Схемы устройств для нанесения покрытий методом катодного напыления представлены на рисунке 2.

В наиболее простом варианте устройство состоит из распыляемого катода 5, на который подают потенциал от 1 до 10 кВ, и анода с расположенными на его поверхности изделиями 3. Между катодом и анодом размещают, как правило, заслонку. На начальной стадии процесса производят откачку вакуумной камеры до максимально возможной степени разряжения ($\sim 10^{-1} \dots 10^{-2}$ Па), затем осуществляют напуск в рабочую камеру инертного газа (аргона). При этом давление в камере составляет 1...10 Па.

Следующей операцией является создание между анодом и катодом разности потенциалов (0,5...10 кВ). В результате в рабочей камере возникает газовый разряд. При воздействии ионов на поверхность катода идет разрушение оксидных слоев, практи-

чески всегда присутствующих на поверхности. Распыленные атомы металла взаимодействуют с активными газами (кислородом, азотом), и в результате осаждаются слои, загрязненные неконтролируемыми примесями. При этом, однако, наблюдается снижение парциального давления химически активных газов в камере, поэтому, как правило, всегда на начальной стадии осаждение покрытия производится на технологическую заслонку.

По истечению некоторого времени заслонка открывается, и идет осаждение покрытия на поверхность изделия. Распыленные атомы при своем движении к подложке претерпевают многочисленные столкновения. В результате атомы распыляемой мишени теряют свою энергию, что вызывает, как правило, снижение адгезионной прочности осаждаемого покрытия. С целью уменьшения потерь энергии распыленных атомов в процессе их движения в газовой фазе расстояние между анодом и катодом делают минимальным [1].

Таким образом, катодное напыление характеризуется следующими преимуществами:

- процесс напыления газовой фазы безынерционен, при прекращении подачи потенциала на катод генерация газовой фазы также практически мгновенно прекращается;
- низкое тепловое воздействие на изделие (нагревается только поверхность катода);
- возможность напыления тугоплавких металлов;
- возможность получения покрытий различного химического состава (например, методом реактивного катодного напыления);
- обеспечение высокой равномерности осаждения покрытий;
- сохраняется стехиометрический состав покрытий при их получении распылением мишени из сплава.

Основные недостатки катодного напыления:

- низкие скорости роста покрытия (до 1 нм/с);
- низкие энергия частиц, степень ионизации и, как следствие этого, невысокая адгезия покрытий;

ПОЛУЧЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ С СЕЛЕКТИВНЫМ ПОКРЫТИЕМ
ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННОГО
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОПЫТА В УСЛОВИЯХ ЛАБОРАТОРНОЙ БАЗЫ
АЛТГТУ ИМ. И.И. ПОЛЗУНОВА

- высокая степень загрязнения покрытий атомами газовой фазы;

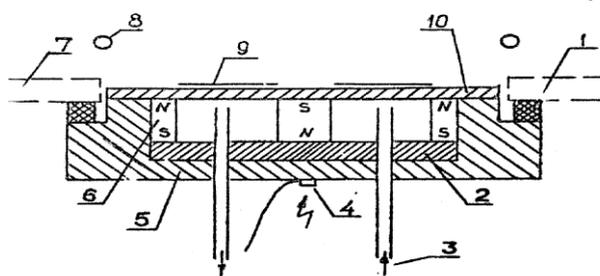
- наличие в покрытии высокой плотности радиационных дефектов, причиной появления которых является воздействие на поверхность высокоэнергетичных электронов, отрицательных ионов.

Магнетронное напыление

Магнетронное напыление – разновидность диодного катодного напыления. Образование паров распыляемого вещества происходит в результате бомбардировки мишени ионами рабочего газа, которые образуются в плазме аномального тлеющего разряда. Наиболее простая схема магнетронного напыления приведена на рисунке 3. Непосредственно под мишенью размещены постоянные магниты, создающие практически параллельные поверхности катода магнитное поле. Между анодом и катодом зажигается аномальный газовый разряд. В результате с катода выбиваются электроны, которые захватываются магнитным полем, и совершают в этом поле под действием силы Лоренца спиралевидное движение. Электроны, захваченные магнитным полем, проводят дополнительную ионизацию атомов инертного газа, что увеличивает, таким образом, интенсивность ионной бомбардировки поверхности катода и, соответственно, вызывает повышение скорости напыления.

К основным взаимосвязанным характеристикам, определяющим скорость напыления мишени, относят напряжение разряда, ток разряда, давление рабочего газа и индукцию магнитного поля вблизи поверхности катода.

В качестве рабочего газа в магнетронных распылительных системах обычно используется аргон.



1 – прокладки; 2 – основание; 3 – водяной канал; 4, 5 – корпус; 6 – постоянные магниты; 7 – вакуумная камера; 8 – анод; 9 – зона эрозии; 10 – катод-мишень

Рисунок 3 – Схема пленарной магнетронной системы

Магнетронные системы помимо высокой скорости напыления обладают рядом специфических особенностей, основной из которых является отсутствие бомбардировки подложки высокоэнергетическими вторичными электронами, являющимися основным источником радиационных дефектов в покрытии и нагрева подложек.

В магнетронной распылительной системе вторичные электроны захватываются магнитной ловушкой и не бомбардируют подложку, что обеспечивает ей сравнительно низкую температуру. Это позволяет использовать эти системы для нанесения покрытий на подложки из материалов с относительно низкой термостойкостью (пластмассы, полимеров, бумаги).

Преимущества данного метода по сравнению с другими методами нанесения покрытий:

- высокая скорость осаждения;
- практически полное отсутствие перегрева поверхности детали, при этом электроны захватываются магнитным полем и поэтому не вызывают образование радиационных эффектов;

- высокая равномерность покрытий;
- низкая степень загрязнения пленок, т. е. процесс нанесения покрытия протекает при достаточно низком давлении $p = 10^{-2}$ Па.

2. Получение селективного покрытия на основе базальта в условиях лабораторной базы АлтГТУ им. И.И. Ползунова

Базальт – натуральный камень, физические свойства которого весьма привлекательны. Он имеет высокую прочность на растяжение и не менее высокий модуль упругости. Изменения температуры не влияют на базальт. Он устойчив к кислотам и щелочам, и не впитывает влагу.

Базальт отличается еще несколькими преимуществами: он устойчив к коррозии, у него низкая стоимость и полное отсутствие проводимости и индуктивности поля при воздействии радиочастотной энергии. Этот материал экологичен, ведь он чистый продукт земли.

Получение базальтового порошка

Для получения базальтового порошка была использована планетарная шаровая мельница АГО-2С с водяным охлаждением при интенсивности размола 400 м/с^2 . В состав конструкции мельницы входят цилиндрический корпус, барабаны для размола с помещенными в них стальными шарами, центрифуга и емкость для размола со стальными шарами. Центрифуга приводится во враще-

ние электрическим двигателем. Изменение частоты ее вращения обеспечивает частотный преобразователь.

Для предотвращения окисления во время механической активации барабаны с помещенными в них материалами вакуумировались и затем заполнялись аргоном до давления 0,3 МПа. Время первичной механоактивации смеси варьировалось и составляло 30 с, 60 с, 90 с, 120 с, 150 с, 180 с. Приведенные значения времени обработки определялись на основании предварительного анализа. Эти значения соответствуют наиболее важным качественным этапам формирования структуры порошковых смесей.

В результате был получен базальтовый порошок гранулометрического состава 63-100 мкм.

Технология нанесения базальтового порошка на металлическую подложку детонационно-газовым методом

В АлтГТУ в лаборатории ПНИЛ СВС-материаловедения были получены образцы с базальтовым покрытием на металлической подложке.

Для получения покрытия использовалась установка детонационно-газового напыления «Катунь-М».

Напыление проводилось базальтовым порошком гранулометрического состава 63-100 мкм на плоские образцы, представляющие собой стальную пластину (60×40×4 мм) стали марки Ст3, рисунок 4.

Для достижения наивысшего качества сцепления с базальтовым покрытием образцы были обработаны на пескоструйной установке.

Процесс формирования базальтового покрытия представляет собой подачу в ствол установки взрывчатой смеси, состоящей из пропан-бутана и кислорода. Одновременно с этим транспортирующим сжатым воздухом в канал ствола подавался базальтовый порошок из игольчатого дозатора. Газопорошковая смесь поджигалась искрой свечи воспламенителя. Возникающие при этом тепловые волны порождают ударные, а затем и детонационную волну. Базальтовый порошок в стволе разгонялся продуктами детонации и наносился на поверхность напыляемой стальной пластины (рисунок 5).

Процесс повторялся до тех пор, пока не формировалось равномерное базальтовое покрытие. В результате были получены образцы с базальтовым покрытием (рисунок 6).



Рисунок 4 – Стальные образцы (60×40×4 мм) стали марки Ст3



Рисунок 5 – Напыляемые образцы и ствол установки ДГН



Рисунок 6 – Образцы с базальтовым покрытием

Технология нанесения базальтового порошка на стеклянную подложку магнетронным методом

В Алтайском государственном техническом университете в лаборатории ПНИЛ СВС-материаловедения были получены образцы с базальтовым покрытием на стеклянной подложке. Для получения покрытия использовалась установка магнетронного напыления (рисунок 7).

ПОЛУЧЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ С СЕЛЕКТИВНЫМ ПОКРЫТИЕМ
ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННОГО
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОПЫТА В УСЛОВИЯХ ЛАБОРАТОРНОЙ БАЗЫ
АЛТГТУ ИМ. И.И. ПОЛЗУНОВА



Рисунок 7 – Установка магнетронного напыления



Рисунок 8 – Образцы с разной толщиной базальтового напыления

Напыление проводилось базальтовым порошком на плоские стеклянные образцы размером 75×25×1 мм.

Принцип магнетронного напыления основан на распылении материала, из которого изготовлена мишень для магнетрона, при его бомбардировке ионами рабочего газа, образующимися в плазме тлеющего разряда. Основные элементы магнетронной распылительной системы – это катод, анод и магнитная система, предназначенная для локализации плазмы у поверхности мишени – катода. Магнитная система, расположенная под катодом, состоит из центрального и периферийных постоянных магнитов, расположенных на основании из магнитомягкого материала. На катод подаётся постоянное напряжение от источника питания. Основные преимущества

магнетронного способа напыления, при использовании мишени для магнетрона – высокая скорость напыления и точность воспроизведения состава распыляемого материала.

Установка магнетронного напыления позволяет получать покрытия практически из любых металлов, сплавов и полупроводниковых материалов без нарушения стехиометрического состава.

Процесс магнетронного напыления позволяет осаждать пленки с вариацией толщины от десятков микрометров до нескольких микрометров.

Для оценки пропускной способности были получены образцы с различной толщиной базальтового покрытия, рисунок 8. Толщина напыления составила 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1 мкм (рисунок 8).

Вывод

Оборудование лабораторной базы АлтГТУ позволяет получать опытные образцы селективных покрытий для изготовления солнечных коллекторов. Полученные образцы будут использованы в дальнейшей работе для определения поглощающей способности солнечного излучения, определения излучательной способности длинноволнового излучения, определения зависимости светопропускной способности от толщины базальтового покрытия, сравнения светопропускной способности различных покрытий и определения коэффициента селективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Липин, Ю. В. Технология вакуумной металлизации полимерных материалов / Ю. В. Липин, А. В. Рогачев, С. С. Сидорский, В. В. Харитонов. – Гомель : БИТА, 1994.

2. Ткачук, Б. В., Получение тонких полимерных пленок из газовой фазы / Б. В. Ткачук, В. М. Колотыркин. – М. : Химия, 1977. – 216 с.

Яковлев В.В. – к.т.н., доцент, заведующий лабораторией ПНИЛ-СВС им. В.В. Евстигнеева ФГОС ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: anicpt@rambler.ru.

Аношкина Е.В. – магистрант ФГОС ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: eva_123@mail.ru.

Бузаев В.В. – магистрант ФГОС ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: Viktor.buzaev@mail.ru.