

Результаты сканирующей электронной микроскопии (рисунок 2, а) подтверждают наличие ориентированной структуры и поверхности, насыщенной полимерным связующим, у пластинок, сформированных указанным методом. Для сравнения приведена микрофотография структуры материала, сформированного прямым горячим прессованием (рисунок 2, б).

ЛИТЕРАТУРА

Устройство для изготовления погонажных изделий: пат. 2463 Респ. Беларусь, МПК(2006) В 29N 3/00 / А. Н. Екименко, С. Н. Колдаева и др.; заявитель УО «БелГУТ». – № u 20060228; Заявл. 22.04.2005; опубл. 28.02.2006 // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтра інтэлект. уласнасці. – 2006. – №1. – С.176.

УДК 621.793

Мисник И.В., Иванов И.А.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПОТОКОВ ЧАСТИЦ ПРИ НАНЕСЕНИИ ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ

БНТУ, г. Минск

Процесс нанесения вакуумных покрытий предполагает реализацию следующих основных стадий:

- образование газовой фазы осаждаемого вещества;
- перенос атомов, частиц вещества от источника газовой фазы до покрываемой поверхности;
- взаимодействие частиц газовой фазы с поверхностью и образование покрытия.

Все известные методы нанесения покрытий отличаются способами формирования газовой фазы, режимами и условиями массопереноса и пленкообразования.

Цель статьи – проанализировать существующие технологические методы нанесения покрытий из газовой (в том числе

ионизированной) фазы и технологические режимы реализации процессов напыления.

В зависимости от механизма формирования газового потока методы условно разделяют на способы перевода атомов в газовую фазу по механизму *термического испарения* и способы образования газовой фазы в результате *распыления* веществ бомбардировкой ионами или высокоэнергетичными атомами.

Генерируемые данными методами газовые потоки характеризуются различными значениями энергии частиц, степени ионизации, плотности. Поэтому покрытия, формируемые из распыленных или испаренных частиц, отличаются структурой и, соответственно, свойствами.

В зависимости от природы энергетического воздействия на испаряемое вещество различают:

– резистивное испарение – в этом случае перевод в газовую фазу происходит под действием джоулева тепла, выделяющегося при прохождении электрического тока через резистивный элемент или испаряемое вещество. Резистивные испарители в зависимости от их конструкции разделяют на проволочные, ленточные и тигельные.

Проволочные испарители изготавливаются из проволоки (\varnothing 0,5...1,5 мм) тугоплавких металлов (W, Mo, Ta и др.). Испаряемое вещество удерживается на испарителе силами адгезии, поэтому в жидком состоянии оно должно хорошо смачивать материал испарителя. Испарение может происходить в телесном угле вплоть до 4л.

Ленточный испаритель изготавливается из тонких пластин, лент тугоплавких металлов и имеет на поверхности специальные углубления, в которые помещается испаряемое вещество. Они испаряют атомы металла, порошковые материалы и неорганические соединения в телесном угле 2л.

Тигельный испаритель представляет собой ванну, в которую помещают металл. В качестве материала тигля применяются тугоплавкие металлы (W, Mo, Ta), окислы металлов

(Al_2O_3 , BeO , ZrO_2 , ThO_2 и др.) и графит.

Кинетическая энергия испаренных частиц составляет порядка $0,01 \dots 0,001$ эВ [1].

– электронно-лучевое испарение – нагрев и испарение вещества осуществляются в результате теплового действия электронов, бомбардирующих испаряемый материал.

Конструктивно электронно-лучевые испарители выполняются в модификациях с линейным, кольцевым (аксиальные пушки) или полым (газоразрядные пушки) катодом. Электронный пучок может быть направлен в тигель с испаряемым веществом несколькими способами: без отклонения пучка и с отклонением на 45 , 90 , 180 и 270° . Системы отклонения и фокусировки имеют три основные модификации – электростатические, электромагнитные и на постоянных магнитах.

Основные параметры электронно-лучевых испарителей: удельная скорость испарения $2 \cdot 10^3 \dots 2 \cdot 10^2$ г/см²·с; удельная испаряемость $3 \cdot 10^{-6}$ г/Дж; энергия генерируемых частиц – $0,1 \dots 0,3$ эВ; скорость роста покрытий – $10 \dots 60$ нм/с [1].

– лазерное испарение – источником энергии в данном способе является когерентное электромагнитное излучение.

Для испарения материалов используют обычно CO_2 -лазеры с длиной волны излучения $\lambda=10,6$ мкм, а также твердотельные (рубиновые) лазеры с $\lambda=0,6943$ мкм и неодимовые лазеры с $\lambda=1,06$ мкм.

Для испарения металлов и сплавов применяются импульсные лазерные системы с частотой импульсов $f=50$ Гц и длительностью импульса 10^{-8} с. Мощность излучения составляет $5 \cdot 10^8 \dots 5 \cdot 10^9$ Вт/см², удельная испаряемость $0,1$ мг/Дж. Эффективное испарение полупроводников имеет место при следующих параметрах лазерного излучения: частота $f=10$ кГц, длительность импульса ~ 200 нс, мощность в импульсе $10^7 \dots 10^8$ Вт/см²; удельная испаряемость $0,01$ мг/Дж. Скорость напыления составляет $10^3 \dots 10^5$ нм/с [1].

– электродуговое испарение – испарение металла происходит в зоне горения дуги вследствие эрозии электрода.

Наиболее широкое применение находит дуговое испарение с холодного расходуемого катода.

Генерация газовой фазы осуществляется в локальных участках поверхности катода – катодных пятнах, имеющих размер $\sim 10^{-4} \dots 10^{-2}$ мм. При работе электродугового испарителя катодные пятна вследствие взаимного отталкивания стремятся уйти на боковую поверхность катода. Для фиксации катодных пятен в центре катода используют внешнее магнитное поле (испаритель с магнитным удержанием катодных пятен) или экранирование боковых поверхностей катода (испарители с электростатическим удержанием пятен).

Основные параметры электродуговых испарителей: удельная скорость испарения – $2 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-3}$ г/(см²·с); удельная испаряемость – $2 \cdot 10^{-6} - 10^{-5}$ г/Дж; энергия генерируемых частиц – 10...100 эВ; скорость осаждения ~ 5 нм/с [2, 3].

– индукционное испарение – образование паров осуществляется в результате нагрева при прохождении через резистивный элемент или испаряемый металл индукционных токов, создаваемых внешним высокочастотным магнитным полем.

Методы нанесения покрытий, реализующие генерацию газовой фазы по механизму распыления, классифицируют на две большие группы:

– ионно-лучевые – выбивание атомов мишени происходит под действием бомбардировки ее поверхности ионными пучками определенной энергии. Характерной особенностью данных методов является отсутствие необходимости подачи на распыляемую мишень электрического потенциала.

– ионно-плазменные – мишень находится в сильно ионизированной плазме под отрицательным потенциалом относительно плазмы. Под действием электрического поля положительные ионы вытягиваются из плазмы и бомбардируют мишень, вызывая ее распыление.

В зависимости от способа создания плазмы различают следующие разновидности ионно-плазменного распыления:

– катодное – в рабочей камере между анодом с подложками и катодом-мишенью за счет разности потенциалов (0,5...10 кВ) возбуждается тлеющий разряд постоянного тока. В катодном пространстве заряженные частицы разгоняются до энергии, достаточной, чтобы ионы, бомбардируя катод-мишень, освобождали поверхностные атомы и электроны, а электроны ионизировали молекулы инертного газа (аргон). При ионизации образуется ион аргона, стремящийся к мишени, и электрон, который дрейфует к аноду. Освобожденный с поверхности мишени атом вещества, преодолевая столкновения с молекулами и ионами аргона, достигает поверхности подложки. Скорость роста покрытия – до 1 нм/с [2, 3].

– магнетронное – образование паров распыляемого вещества происходит в результате бомбардировки мишени ионами рабочего газа, образующимися в плазме аномального тлеющего разряда. Непосредственно под мишенью размещены постоянные магниты, создающие параллельное поверхности катода магнитное поле. В результате зажигания между анодом и катодом разряда 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, увеличивающую интенсивность ионной бомбардировки поверхности катода и вызывающую повышение скорости распыления. Вторичные электроны захватываются магнитной ловушкой и не бомбардируют подложку, обеспечивая ей сравнительно низкую температуру.

Основные параметры магнетронных систем ионного распыления: – удельная скорость распыления – $(4-40) \cdot 10^{-5}$ г/(см²·с); удельная испаряемость – $3 \cdot 10^{-6}$ г/Дж; энергия генерируемых частиц – 10-20 эВ; скорость осаждения 10-60 нм/с [4].

– высокочастотное – на электроды, один из которых расположен под распыляемым диэлектриком, подается высокочастотный потенциал (частота 1...20 МГц). При подаче отрицательного потенциала на мишень протекают процессы ее распыления ионами аргона и одновременно их адсорбция на поверхности, в результате чего ионная бомбардировка мишени прекращается. При замене знака потенциала на положительный поверхность мишень обрабатывается электронами, что приводит к нейтрализации адсорбированного заряда.

Основные параметры процесса: удельная скорость распыления – $(2-20) \cdot 10^{-7}$ г/(см²·с); удельная испаряемость – $6 \cdot 10^{-7}$ г/Дж; энергия генерируемых частиц – 10-200 эВ; скорость осаждения – 0,3-3,0 нм/с [4].

– распыление в несамостоятельном газовом разряде – горение разряда поддерживается дополнительным источником (магнитное поле, ВЧ-поле, термокатод). Термокатод испускает в сторону анода электроны, ионизирующие остаточный газ, поддерживая горение разряда. На распыленную мишень подается высокий отрицательный потенциал, в результате чего положительные ионы плазмы вытягиваются на мишень и бомбардируют ее поверхность, вызывая распыление материала мишени. На полочки расположенные напротив мишени осаждается распыленный материал.

Основные параметры процесса: удельная испаряемость – 10^{-7} г/Дж; скорость осаждения – до 0,1 мкм/мин [4].

На основании проведенного анализа следует:

1. Энергетическое состояние частиц газовой фазы зависит от метода формирования потока частиц.

2. Большинство методов требуют создания специальной технологической среды – вакуум или контролируемая атмосфера.

3. Выбор технологии нанесения определяется от материалом покрытия а также требованиями, предъявляемыми к покрытию с учетом экономической эффективности, производительности, простоты управления и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобров, Г.В. Нанесение неорганических покрытий / Г.В. Бобров. – М.: «Интернет Инжиниринг», 2004. – 624 с.
2. Мрочек, Ж.А. Плазменно-вакуумные покрытия: монография / Ж.А. Мрочек [и др.]. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 369 с.
3. Иващенко, С.А. Газотермические и вакуумно-плазменные покрытия со специальными физико-механическими свойствами / С.А. Иващенко, И.С. Фролов, Ж.А. Мрочек. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – 236 с.
4. Табаков, В.П. Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий режущего инструмента / В.П. Табаков. – М.: Машиностроение, 2008. – 311 с.

УДК 535.37

Попечиц В.И.

ВИЗУАЛИЗАТОРЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РАСТВОРОВ КРАСИТЕЛЕЙ

*Институт прикладных физических проблем
им. А.Н. Севченко БГУ, г. Минск*

Influence of gamma irradiation of cobalt-60 on spectral properties of a number of multicomponent solutions of organic dyes is investigated. It is shown that some of the studied solutions of dyes have a low feeding, high color contrast and can be used as ionizing radiation visual analyzers.

Жидкие и твердые растворы органических красителей в органических и неорганических растворителях имеют интенсивные полосы поглощения в видимой области спектра и поэтому являются удобными объектами для исследования воздействия ионизирующего излучения на вещество [1–3].

При воздействии ионизирующего излучения на раствор органического красителя происходит необратимое обесцвечивание