

и титана TiN. В результате твердость поверхности возрастает более чем в 2,5 раза после обработки компрессионным плазменным потоком с плотностью энергии 22 Дж/см<sup>2</sup>.

УДК 621.3

Валлиулин Н.Ю.

## **РЕЗИСТИВНОЕ НАПЫЛЕНИЕ**

*БНТУ, Минск*

*Научный руководитель Комаровская В.М.*

Отличительными особенностями метода резистивного напыления в вакууме являются техническая простота, удобство контроля и регулирования режимов работы испарителя и возможность получения покрытий различного химического состава.

В резистивных испарителях тепловая энергия для нагрева испаряемого вещества образуется за счет выделения джоулева тепла при прохождении электрического тока через нагреватель.

К материалам, используемым для изготовления нагревателей резистивных испарителей, предъявляются следующие требования:

1. Давление пара материала нагревателя при температуре испарения осаждаемого вещества должно быть пренебрежительно малым.

2. Материал нагревателя должен хорошо смачиваться расплавленным испаряемым веществом, так как это необходимо для обеспечения хорошего теплового контакта между ними.

3. Между материалом нагревателя и испаряемым веществом не должны возникать никакие химические реакции и образовываться легколетучие сплавы этих веществ, так как в противном случае происходит загрязнение наносимых пленок и разрушение нагревателей.

Для нанесения покрытий резистивным методом применяются различные конструкции и способы испарения металлов и сплавов. Наиболее широко используются проволочные, ленточные и тигельные испарители.

Проволочные испарители, основное достоинство которых заключается в простоте устройства и высокой экономичности, изготавливаются из проволоки тугоплавких металлов (W, Mo, Ta) и выпускаются самых разнообразных форм (в виде петли, цилиндрической спирали, конической спирали, V-образной формы и др.). Применяются для испарения веществ, которые смачивают материал нагревателя. При этом расплавленное вещество силами поверхностного натяжения удерживается в виде капли на проволочном нагревателе. Применяемая проволока (обычно диаметром от 0,5 до 1,5 мм) должна иметь по всей длине одинаковое сечение, иначе из-за местных перегревов будет нарушена равномерность получаемого слоя и, кроме того, проволока быстро перегорит.

Ленточные испарители изготавливаются из тонких листов тугоплавких металлов и имеют специальные углубления (в виде желобков, лодочек, чашек или коробочек), в которых размещается испаряемый материал. Они применяются для испарения порошковых материалов и неорганических соединений. Эти испарители, так же как и проволочные просты по конструкции, но по сравнению с последними потребляют большую мощность вследствие значительных потерь на тепловое излучение. Ленточные испарители имеют большую направленность испарения.

Тигельные испарители могут применяться для испарения материалов, не вступающих в реакцию с материалом тигля и не образующих с ним сплавов. Они изготавливаются из тугоплавких металлов (W, Mo, Ta) из окислов металлов ( $Al_2O_3$ , BeO,  $ZrO_2$ ,  $ThO_2$  и др.) и графита. Для осаждения

материалов с низкой температурой испарения можно также использовать тигли из тугоплавкого стекла и кварца.

Тигли из окиси алюминия используются для металлов, температура испарения которых ниже  $1600^{\circ}\text{C}$  (Cu, Mn, Fe, Sn); тигли из окиси бериллия могут быть использованы до температуры  $1750^{\circ}\text{C}$ , окиси тория – до  $2200^{\circ}\text{C}$ . При испарении материалов при температурах порядка  $2500^{\circ}\text{C}$  применяются тигли из графита.

Основное достоинство тигельных испарителей состоит в том, что с их помощью можно осуществлять испарение большого количества веществ. По сравнению с проволочными и ленточными испарителями они являются более инерционными, так как малая теплопроводность материалов не позволяет обеспечить быстрый нагрев испаряемого материала. Кроме того, тигли из окислов не допускают быстрого нагрева ввиду опасности их разрушения тепловым ударом. К недостаткам тигельных испарителей следует также отнести и то, что с их помощью может быть получен только узкий пучок испаряемого вещества.

Для получения покрытий, характеризующихся высокой однородностью структуры и химического состава, испарением порошковых материалов предварительно необходимо провести процессы сепарации и отсева порошка по фракциям, тщательное механическое перемешивание при использовании порошков различного химического состава, дегазацию порошка и отвод выделившихся газов из объема вакуумной камеры. Методу резистивного испарения присущи недостатки, значительно снижающие область его использования. К числу основных недостатков метода следует отнести отсутствие заметной ионизации паров испаряемого материала, трудности управления основными параметрами потока, высокую инерционность испарителей.