

Технология вакуумного напыления.

Описание и возможности применения.

Напыление вакуумное - нанесение пленок или слоев на поверхность деталей или изделий в условиях вакуума ($1,0-1 \cdot 10^{-7}$ Па).

Напыление вакуумное используют в планарной технологии полупроводниковых микросхем, в производстве тонкопленочных гибридных схем, изделий пьезотехники, акустоэлектроники и др. (нанесение проводящих, диэлектрических, защитных слоев, масок и др.), в оптике (нанесение просветляющих, отражающих и др. покрытий), ограниченно - при металлизации поверхности пластмассовых и стеклянных изделий, тонировании стекол автомобилей.

Методом напыления вакуумного наносят металлы (Al, Au, Cu, Cr, Ni, V, Ti и др.), сплавы (например, NiCr, CrNiSi), химические соединения (силициды, оксиды, бориды, карбиды и др.), стекла сложного состава (например, $I_2O_3 \cdot B_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot CaO$, $Ta_2O \cdot B_2O_3 \cdot I_2O_3 \cdot GeO_2$), керметы.

Напыление вакуумное основано на создании направленного потока частиц (атомов, молекул или кластеров) наносимого материала на поверхность изделий и их конденсации.

Процесс включает несколько стадий:

- переход напыляемого вещества или материала из конденсированной фазы в газовую,
- перенос молекул газовой фазы к поверхности изделия,
- конденсацию их на поверхность,
- образование и рост зародышей, формирование пленки.

По способу перевода вещества из конденсированной в газовую фазу различают вакуумное испарение и ионное распыление.

При ионном распылении частицы наносимого вещества выбиваются с поверхности конденсируемой фазы путем ее бомбардировки ионами низкотемпературной плазмы. Вариантами ионного распыления являются катодное, магнетронное, ионно-плазменное и высокочастотное распыление, которые отличаются друг от друга условиями формирования и локализацией в пространстве низкотемпературной плазмы.

Если распыление проводится в присутствии химических реагентов (в газовой фазе), то на поверхности изделия образуются продукты их взаимодействия с распыляемым веществом (например, оксиды, нитриды). Такое распыление называют реактивным.

Перенос частиц напыляемого вещества от источника (места его перевода в газовую фазу) к поверхности детали осуществляется по прямолинейным траекториям при вакууме 10^{-2} Па и ниже (вакуумное испарение) и путем диффузионного и конвективного переноса в плазме при давлениях 1 Па (катодное распыление) и $10^{-1}-10^{-2}$ Па (магнетронное и ионно-плазменное распыление). Судьба каждой из частиц напыляемого вещества при соударении с поверхностью детали зависит от ее энергии, температуры поверхности и хим. сродства материалов пленки и детали. Атомы или молекулы, достигшие поверхности, могут либо отразиться от нее, либо адсорбироваться и через некоторое время покинуть ее (десорбция), либо адсорбироваться и образовывать на поверхности конденсат (конденсация).

При высоких энергиях частиц, большой температуре поверхности и малом химическом сродстве частица отражается поверхностью. Температура поверхности детали, выше которой все частицы отражаются от нее и пленка не образуется, называется критической температурой вакуумного напыления; ее значение зависит от природы материалов пленки и поверхности детали и от состояния поверхности. При очень малых потоках испаряемых частиц, даже если эти частицы на поверхности адсорбируются, но редко встречаются с другими такими же частицами, они десорбируются и не могут образовывать зародышей, т.е. пленка не растет.

Критической плотностью потока испаряемых частиц для данной температуры поверхности называется наименьшая плотность, при которой частицы конденсируются и формируют пленку. Структура напыленных пленок зависит от свойств материала, состояния и температуры поверхности, скорости напыления. Пленки могут быть аморфными (стеклообразными, например оксиды, Si), поликристаллическими (металлы, сплавы, Si) или монокристаллическими (например, полупроводниковые пленки, полученные молекулярно-лучевой эпитаксией). Для упорядочения структуры и уменьшения внутренних механических напряжений пленок, повышения стабильности их свойств и улучшения адгезии к поверхности изделий сразу же после напыления без нарушения вакуума производят отжиг пленок при температурах, несколько превышающих температуру поверхности при напылении. Часто посредством вакуумного напыления создают многослойные пленочные структуры из различных материалов.

Вакуумно-напылительные установки.

Для вакуумного напыления используют технологическое оборудование периодического, полунепрерывного и непрерывного действия.

Установки периодического действия осуществляют один цикл нанесения пленок при заданном числе загружаемых изделий.

Установки непрерывного действия используют при серийном и массовом производстве. Они бывают двух видов-многокамерные и многопозиционные однокамерные.

Первые состоят из последовательно расположенных напылительных модулей, в каждом из которых осуществляется напыление пленок определенных материалов или их термическая обработка и контроль.

Модули объединены между собой шлюзовыми камерами и транспортирующим конвейерным устройством. Многопозиционные однокамерные установки содержат несколько напылительных постов (расположенных в одной вакуумной камере), соединяемых транспортным устройством конвейерного или роторного типа.

Основные узлы и системы установок для вакуумного напыления представляют собой самостоятельные устройства, выполняющие заданные функции:

- создание вакуума,
- испарение или распыление материала пленок,
- транспортировку деталей,
- контроль режимов вакуумного напыления и свойств пленок,
- электропитание,
- др.

Обычно установка для вакуумного напыления включает следующие узлы:

- рабочую камеру, в которой осуществляется напыление пленок;
- источники испаряемых или распыляемых материалов с системами их энергопитания и устройствами управления;
- откачную и газораспределительную системы, обеспечивающие получение необходимого вакуума и организацию газовых потоков (состоят из насосов, натекателей, клапанов, ловушек, фланцев и крышек, средств измерения вакуума и скоростей газовых потоков);
- систему электропитания и блокировки всех устройств и рабочих узлов установки;
- систему контроля и управления установкой вакуумного напыления, обеспечивающую заданные скорость напыления, толщину пленок, температуру поверхности деталей, температуру отжига, физические свойства пленок (содержит набор датчиков, связанных через управляющую микропроцессорную ЭВМ с исполнит. механизмами и устройствами вывода информации);
- транспортирующие устройства, обеспечивающие ввод и вывод деталей в рабочую камеру, точное размещение их на постах напыления и перевод из одной позиции напыления на другую при создании многослойной системы пленок;

- систему вспомогательных устройств и технологическую оснастку (состоят из внутрикамерных экранов, заслонок, манипуляторов, гидро-и пневмоприводов, устройств очистки газов).

Литература:

- Технология тонких пленок. Справочник, под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга, пер. с англ., т. 1-2, М., 1977;
- Плазменная металлизация в вакууме, Минск, 1983;
- Черняев В.Н., Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров, 2 изд., М., 1987;
- Волков С. С., Гирш В. И., Склеивание и напыление пластмасс, М., 1988;
- Коледов Л. А., Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок, М., 1989. Л. А. Коледов.