

## ВАКУУМНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ НАПЫЛЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК

А. А. ХЕРУМЕНКО

(Представлена научным семинаром научно-исследовательского института  
высоких напряжений)

Одним из наиболее распространенных в настоящее время способов нанесения тонких пленок твердых веществ является способ вакуумного испарения. Существует большое число различных типов вакуумных установок для нанесения тонких пленок на различные подложки [1]. Однако многие из вакуумных установок обладают рядом существенных недостатков. Так, например, в установках, где для откачки системы используются форвакуумные и паромасляные диффузионные насосы, не исключается возможность попадания вакуумного масла в структуру напыляемой пленки даже при использовании различных видов маслосывораживающих и маслоулавливающих устройств; что существенно влияет на результаты физических исследований пленок. Холлэнд [2] исследовал загрязненные установки сверхвысокого вакуума и нашел, что при двух последовательно включенных азотных ловушках и вакууме в системе  $10^{-9}$  торр на холодную стеклянную подложку конденсировались пары масла со скоростью  $5 \text{ \AA}/\text{час}$ . При одной азотной ловушке в вакууме в системе  $10^{-9}$  торр скорость образования пленки менялась от 38 до  $160 \text{ \AA}/\text{час}$ .

Исключение попадания паров масла в структуру напыляемой пленки за счет вымораживания всей системы, путем помещения ее в жидкий азот или водород представляет достаточно сложную техническую задачу.

С точки зрения простоты и удобства в эксплуатации известный интерес представляют безмасляные откачные системы, использующие титановые геттероионные насосы и активные поглотители газов, например цеолит, охлаждаемый жидким азотом.

Вакуумная установка представляет собой стеклянный колпак диаметром и высотой 200 мм с металлическим ободом, приклеенным к колпаку эпоксидной смолой. Обод через вакуумное уплотнение установлен на металлическую тарелку из нержавеющей стали, к которой снизу через вентили подключены титановый насос и баллоны с цеолитом. Для обезгаживания титанового насоса при первом запуске и для удобства в эксплуатации установлен форвакуумный насос РВН-20, подключаемый к системе через вентиль, и паромасляный откачкой агрегат ВА-05-4. Эти насосы использовались для откачки системы, чтобы исследовать влияние паров масла, попадающего в структуру пленки, на ее электрофизические свойства. Использование цилиндрической глубокой тарелки в качестве основания для стеклянного колпака вместо плоской плиты имеет основ-

ным преимуществом то, что радиационное излучение тепла от испарителей не разогревает стеклянные стенки колпака и материал уплотнения, так как тарелка охлаждается проточной водой. Многоамперные вакуумплотные электроды с цанговым зажимом, охлаждаемые водой, введены через боковую цилиндрическую поверхность тарелки. В качестве уплотняющего материала использован фторопласт-4, так как вакуумная резина выделяет большое количество загрязнений в систему [3]. Все вакуумные уплотнения конструктивно выполнены в виде кольцевого прямоугольного шипа, входящего в паз. Кроме того, предусмотрена возможность замены всех фторопластовых уплотнений металлическими с зажимом металлического кольца между двумя кольцевыми выступами трапециевидального профиля. Для вертикального перемещения подложки и для установки ее над различными испарителями использован наиболее простой и эффективный способ перемещения, осуществляемый с помощью электромагнита за колпаком. Подогрев подложки осуществлялся с помощью спирального змеевидного подогревателя. Для измерения температуры подложки использована термопара.

В исследованиях Вергера, Гринхауза, и Николаса [4] показано, что при использовании обычных испарителей в виде спиралей и лодочек для испарения монооксида кремния и никрома визуально наблюдались выбросы макроскопических частиц из испарителя, которые, достигая подложки, имели достаточную кинетическую энергию, чтобы пробить уже напыленный слой насквозь.

Однако их конструкцию испарителя, исключающую бомбардировку поверхности подложки макрочастицами испаряемого вещества, нельзя признать технологичной, хотя сам испаритель представляется оригинальным.

Для испарения монооксида кремния Йорк [5] предложил другую систему сепарации потока частиц испаряемого вещества. На верхнюю часть цилиндрического тигля из листового тантала, разогреваемого цилиндрической спиралью, одевалась круглая крышка с отверстием в центре. Внутри тигля несколько ниже крышки коаксиально укреплялся танталовый диск, диаметр которого был больше диаметра отверстия в крышке. Таким образом, исключался прямой выход макрочастиц испаряемого вещества, которые могли попадать на подложку.

В рассматриваемой установке использовались два типа испарителей. Металлы испарялись из цилиндрических кварцевых, алундовых и графитовых тиглей, разогреваемых цилиндрической спиралью, намотанной поверх тигля молибденовой проволокой диаметром 1 мм. Для уменьшения теплового излучения на молибденовую спираль сверху одевалась кварцевая трубка.

Для удаления макрочастиц из испаряемого потока в верхнюю часть тигля вставлялась диафрагма в виде усеченного конуса без дна, основание которого плотно прилегало к внутренней поверхности тигля, а опущенная в тигль меньшая по диаметру часть отстояла от этой поверхности на некотором расстоянии. Ниже диафрагмы укреплялся диск, диаметр которого был несколько больше меньшего отверстия конусной диафрагмы, но имелся достаточный зазор между этим диском и внутренней цилиндрической поверхностью тигля. Поскольку все сепарирующее устройство находилось внутри тигля, то диафрагма и диск разогревались до температуры, исключающей конденсацию испаряемого металла на них.

Для испарения диэлектриков использовались алундовые и кварцевые тигли, которые помещались внутрь танталового цилиндра, выполненного контактной сваркой из листа и по которому пропускался ток. Для снижения теплового излучения поверх нагревательного цилиндра

одевался второй цилиндр большего диаметра. Верхние концы цилиндров сваривались контактной сваркой, а нижние подсоединялись к токоведущим электродам. Таким образом, ток протекал по внутреннему цилиндру и далее — по наружному. Кроме того, весь нагревательный элемент закрывался двумя цилиндрическими коаксиальными цилиндрами больших диаметров.

Такая конструкция испарителя давала достаточно равномерный прогрев тигля, что весьма важно, так как диэлектрик должен испаряться без химического разложения, чего труднее добиться при использовании обычных испарителей. Конструкция сепаратора была такой же, как и для испарителей металла.

В зависимости от поставленных задач установка позволяла получать как отдельные пленки различных веществ, так и емкости в виде системы пленок металл-диэлектрик без нарушения вакуума. Без прогрева всей вакуумной системы и без использования специальных ловушек титановый насос откачивал систему до вакуума  $10^{-7}$  торр при отключении всех прочих насосов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Холлэнд. Нанесение тонких пленок в вакууме. ГЭИ. М.-Л., 1963.
2. Holland «Rev. Scient. Instrum», 33, № 4, p.p. 377 ÷ 382, 1963.
3. Holland «Vacuum» 13, № 3, p. 173 ÷ 180, 1963.
4. Vergara, Greenhouse and Nicholas «Rev. Scient. Instrum» 34, № 5, p. 520 ÷ 522, 1963.
5. York «J. Electrochem Soc», 110, № 4, p. 271 ÷ 275, 1963.