# **Содержание**

### Задание

### 1 Общие сведения

2 Установки зонной плавки в контейнерах

## 3 Установки бестигельной зонной плавки

4 Установка бестигельной зонной плавки с индукционным нагревом

5 Установка бестигельной зонной плавки с электронно-лучевым нагревом

Заключение 19 Список использованных источников

**Оборудование для зонной плавки**

**1 Общие сведения**

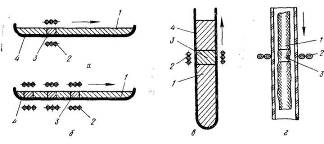
Зонная плавка (очистка полупроводниковых материалов и редких металлов от примесей) основана на физических процессах разделения, преимущество которых состоит в том, что очистка протекает без исполь­зования каких-либо реагентов, вносимых извне. Зонная плавка — кри­сталлизационный метод очистки — заключается в удалении примесей движущимся фронтом кристаллизации. Она применима для любого кри­сталлизующегося вещества, растворимость примесей которого в жидком и твердом состояниях различна.

При очистке слиток может находиться в горизонтальном или верти­кальном положении в соответствующем контейнере.

Простейшее устройство представляет собой горизонтальный кон­тейнер, в котором расположена лодочка с очищаемым веществом. Лодоч­ка проходит через нагреватель, создающий расплавленную зону. Пере­мещаться может либо лодочка относительно неподвижного нагревателя, либо нагреватель относительно неподвижной лодочки.

Бестигельную зонную плавку применяют для того, чтобы избежать взаимодействия очищаемого слитка с материалом контейнера и загряз­нения материала, которое может при этом происходить. Подлежащий очистке слиток вертикально помещают в камере, в которой создают ва­куум или необходимую атмосферу. Нагреватель создает расплавленную зону, которая удерживается в слитке под действием сил поверхностного натяжения.

Рис. 1. Схема аппаратов для зонной очистки:



а – однозонный аппарат; б — многозонный; в — вертикальный; г — бестигельный; 1 — кристал­лический материал; 2 — нагреватель; 3 — рас натяжения (иногда для поддержания зоны используется сжимающий эффект магнитного поля.)

В результате относительного движения нагре­вателя и слитка вдоль оси последнего расплавленная зона перемеща­ется.

На рис. 1 .показаны принципиальные схемы аппаратов для зон­ной очистки. Эффективность очистки процесса зонной плавки определя­ется величиной коэффициента распределения (коэффициентом сегрега­ции). Коэффициент распределения представляет собой определяющий фактор эффективности процесса зонной плавки



где *К* — коэффициент распределения;

Ств И Сж —концентрации примесей в твердой и жидкой фазах.

Процесс заключается в медленном движении расплавленной зоны вдоль твердого загрязненного (очищаемого) слитка. В результате этого большая часть примесей перераспределяется по длине слитка, переме­щаясь к одному из его концов.

Метод зонной плавки широко применяют для глубокой очистки ме­таллов, полупроводниковых материалов и других веществ.

В практических целях для достижения максимальной эффективно­сти процесса, кроме основного фактора — величины коэффициента рас­пределения, необходимо учитывать следующие важные факторы: длину зоны и скорость ее перемещения, степень перемешивания расплава в зоне, количество зон, одновременно расплавляемых в слитке, массоперенос, точное регулирование температуры, степень чистоты материалов аппаратуры и .реакционное взаимодействие материала контейнера и рас­плавленного материала.

Длина зоны обычно зависит от физических свойств очищаемого ма­териала: точки плавления, теплоемкости, скрытой теплоты плавления, лучеиспускания и теплопроводности. Узкую расплавленную зону легче создать в материале, имеющем более высокую температуру плавления и низкую теплопроводность по сравнению с материалом, имеющим низкую температуру плавления и высокую теплопроводность. Обычно длина зо­ны составляет около одной десятой длины очищаемого слитка.

Скорость перемещения зоны зависит от коэффициента диффузии примеси, условий (перемешивания зоны и т. д. Она колеблется в широких пределах от сотых долей до нескольких миллиметров в минуту. При перемешивании расплава, в зоне увеличивается эффективность процесса, в результате этого можно увеличить скорость перемещения зоны. В тех случаях, когда имеется возможность перемещать вдоль по слитку после­довательно несколько расплавленных зон, выгодно иметь минимальные промежутки между зонами. Величина их не влияет на последующее рас­пределение примесей и определяется из практических условий.

При применении метода зонной очистки в результате изменения плотности (объема) вещества при расплавлении зоны происходит пере­нос вещества из одного конца лодочки в другой. При одном проходе зо­ны это явление малозаметно, но при большом числе проходов материал перемещается настолько значительно, что даже может вылиться через край лодочки. Для предотвращения этого необходимо наклонять лодоч­ку на некоторый угол, величину которого можно определить практически и расчетом.

Точное регулирование температуры достигается применением соот­ветствующей злектрорегулирующей аппаратуры, которой оснащены со­временные установки зонной плавки.

**2 Установки зонной плавки в контейнерах.**

Установки горизонтальной зонной плавки по типу нагрева зон могут быть с индукционным нагревом, нагревом сопротивлением и световым нагревом. Электроннолучевой нагрев не получил достаточного распро­странения в установках зонной плавки горизонтального типа, но его применяют в установках бестигельной зонной плавки. Внешний вид уста­новки горизонтальной зонной плавки с индукционным нагревом пред­ставлен на рис. 2.

Для увеличения производительности созданы и работают установки полунепрерывного процесса зонной плавки, при котором в длинной ка­мере (трубе) контейнеры-лодочки перемещаются непрерывной цепочкой относительно неподвижно расположенных нескольких нагревателей. Для загрузки в камеру очередного контейнера с неочищенным материалом процесс не прерывают.

Другой способ увеличения производительности установок горизон­тальной зонной плавки заключается в параллельном расположении большого числа камер-труб, в каждой из которых размещено по одной -две лодочки. Нагреватели, число которых равно числу камер-труб, смон­тированы в один блок, перемещающийся вдоль оси трубы. Камеры-тру­бы располагают или рядами (каждый по 6—7 труб), или в один-два ря­да (рис.3). Много трубные печи, в каждой трубе которых находятся 1—2 лодочки, более перспективны, чем многозонные непрерывного дей­ствия, так как обеспечивают получение более чистого материала.

Для создания стерильности процесса внутри камер поддерживают глубокий постоянный вакуум или создают атмосферу некоторого избы­точного давления или протока чистых инертных газов, что обычно спо­собствует удалению летучих примесей из расплавленной зоны.

Зонную плавку соединений с высокой упругостью паров их летучих компонентов, например фосфида или арсенида галлия, проводят в запа­янной кварцевой ампуле, в которую помещают лодочку с очищаемым соединением. Для уравновешивания давления паров летучего компонен­та, находящегося внутри ампулы, необходимо создать противодавление на её наружные стенки.

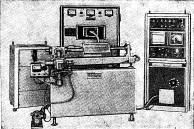


Рис. 2. Внешний вид установки горизонтальной зонной плавки

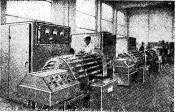
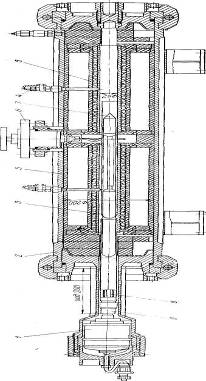


Рис.3. Камеры-трубы установки горизонтальной зонной плавки

Кроме создания расплавлен­ной зоны очищаемого мате­риала, требуется, создано температурный фон, позво­ляющий получить в ампуле над расплавленной зоной ат­мосферу паров летучего ком­понента и поддерживающий необходимое давление этих паров. Конструкция камер таких установок значитель­но усложняется, что связано с необходимостью создания противодавления. На рис. -4 приведен разрез камеры установки (раз­работана «Гиредметом»), предназначенной для зон­ной плавки фосфида галлия. Камера представляет собой стальную толстостенную водоохлажда- емую трубу, тор­цы которой закрыты и уп­лотнены массивными водо-охлаждаемыми крышками с двумя полукольцами, вос­принимающими усилие внут­реннего давления.



1. двигатель; 2- корпус камеры; 3- ампула; 4- термопара; 5- электропечь;

6- фидер; 7- кварцевая труба; 8- винт; 9- гайка.

Рис.-4. Разрез камеры установки зонной плавки фосфида галлия.

Уплотни­тели выполнены в виде ко­лец круглого сечения. На­дежная герметичность дости­гается в результате самоуп­лотнения под действием внутреннего давления. Внут­ри камеры помещены две электропечи для нагрева ам­пулы. Между печами распо­ложен высокочастотный ин­дуктор, создающий расплав­ленную зону. В левой крыш­ке, имеющей вытянутую форму, размещен двигатель (сельсин, приемник) с ме­ханизмом перемещения ам­пулы, который вставляется и извлекается через торец крышки, имеющей дополни­тельный уплотняющий разъ­ем.

Гайка-ползун механизма перемещения соединена сво­бодно с транспортирующей кварцевой трубой и пере­двигает ее вместе с ампу­лой.

Ампулу вставляют и извлекают через уплотняемое отверстие в пра­вой крышке. На боковой поверхности корпуса камеры расположены люк для ввода индуктора и отверстия для токовводов фоновых электропе­чей, термопар, штуцеров для подачи и стравливания газа, предохрани­тельного клапана. На торце левой крышки имеется уплотняемый ввод для проводов электропитания сельсина-приемника (и штепсельный разъем от проводов сельсина-датчика).

Все вводы в рабочую камеру так же, как и уплотнение крышек камеры, выполнены на принципе са­моуплотнения под действием внутреннего давления.

Чтобы уменьшить влияние электромагнитных полей, термопары эк­ранируют, а опирали электропечей снабжают бифилярной намоткой. Для наблюдения за процессом предусмотрены смотровое окно и устрой­ство для подсветки, облегчающее установку ампулы в начале процесса. Конструкции электропечей выполнены таким образом, чтобы можно было заменять нагреватели, не извлекая печей из камеры. Теплоизоля­ционные блоки, выполненные из асбестоцемента, помещенные у торцов печей, компенсируют падение температуры. Полезная емкость камеры сведена к минимуму для уменьшения в ней конвективных токов сжато­го газа.

Рама установки выполнена в виде стола, закрытого листами. Стол установлен на четырех регулируемых по высоте опорах, придающих не­обходимый угол наклона рабочей камере, смонтированной на столе. На столе размещены вентили для подачи и стравливания газа, осушитель газа, а внутри стола смонтированы коллектор водяного охлаждения ка­меры, подогреватель для линии подачи воды в индуктор. Внутри стола установлен также электропривод с сельсином-датчиком.

Вход и уплотнение вала привода перемещения ампулы в камеру вы­сокого давления представляют конструктивные трудности, требуется значительное увеличение мощности двигателя привода, чтобы преодо­леть трение в уплотнении камеры. Это в свою очередь создает вредные вибрации камеры и ампулы с лодочкой. В тоже (время для перемеще­ния легкой ампулы с лодочкой практически необходим маломощный, ки­нематический привод. Поэтому в описываемой конструкции применен сельсинный электропривод.

Сельсин-приемник вместе с механизмом перемещения помещен в рабочую камеру высокого давления, а сельсин-датчик и электродвига­тель для его вращения смонтированы на отдельной плите. Сельсин-дат­чик передает синхронное вращение сельсин - приемнику и соединяется с ним через штекерный разъем.

Вращение сельсин - датчика осуществляется от электродвигателя по­стоянного тока, обороты которого плавно регулируются. Переключение ступеней редуктора обеспечивает рабочее и возвратное (ускоренное) пе­ремещение ампулы. Для наблюдения за перемещением и положением ампулы относительно нагревателя зоны внутри закрытой камеры на сельсин - датчике смонтирован дублирующий механизм, аналогичный ме­ханизму перемещения ампулы. Ползун дублирующего механизма, имею­щий ту же скорость, что и ползун механизма перемещения ампулы, сое­динен нитью с указателем перемещения ампулы, расположенным на пе­редней стороне стола.

В камере создается давление инертного газа, необходимое для пре­дотвращения разрушения запаянной кварцевой ампулы под давлением паров летучего компонента. Газ поступает из баллона через редуктор, осушитель и игольчатый вентиль. При помощи другого такого же венти­ля сбрасывают газ из камеры-

Осушка газа из баллона в осушителе необходима для предотвраще­ния конденсации влаги на витках индуктора и на смотровом стекле. Пос­ле пуска газа в камеру и создания рабочего давления вентиль баллона и вентиль впуска газа в камеру перекрывают. При установившемся про­цессе, когда температурный режим стабилизирован, давление в камере остается постоянным. Размещенный внутри камеры индуктор можно подключить в случае необходимости питания его теплой водой к водоподогревателю, что уменьшает конденсацию на индукторе паров влаги.

Для питания индуктора установку комплектуют высокочастотным генератором. В шкафах управления генератором и установкой содер­жится вся необходимая электроаппаратура и приборы для управления установкой. Поддержание и запись температур фоновых электропечей осуществляют автоматически.

Система управления генератором основана на схеме, позволяющей осуществлять автоматическое поддержание заданной температуры в зо­не высокочастотного нагрева и запись ее при помощи электронного по­тенциометра.

Техническая характеристика установки для получения стехиометрических слитков фосфида галлия методом синтеза и зонной плавки в лодочках "приведена ниже:

*Размеры ампулы, мм:*

*диаметр 31*

*длина 450*

*Длина лодочки, мм 200*

*Напрев зоны Индукционный*

*Параметры нагрева:*

*частота, МГц 5,28*

*мощность, кВА:*

*колебательного контура .... 16*

*потребляемая из сети 40*

*Температура 'расплавленной зоны, °С . 1550  
 Напрев температурного фона .... Печи сопротивления*

*Число фоновых печей 2*

*Максимальная мощность каждой печи.*

*КВт 3*

*Температура печей, °С 550; 900*

*Избыточное противодавление инертного*

*газа в камере, ат ......... До 35*

*Объем камеры высокого давления, л . 32  
 Скорость перемещения ампулы, мм/мин:*

*рабочего хода 0,12—0,85*

*холостого 29*

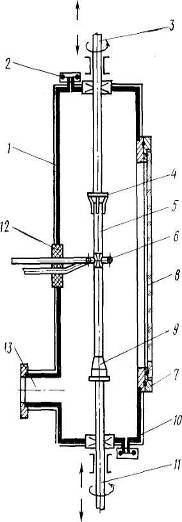
*Ход ампулы с лодочкой, мм ..... 200*

*Масса агрегата, кг 475*

**3 Установки бестигельной зонной плавки**

Преимущества бестигельной зонной плавки, позволяющие предот­вратить взаимодействие очищаемого слитка с материалом контейнера, привели к созданию многочисленных конструкций аппаратов и их широ­кому применению для исследований и промышленных условий, в пер­вую очередь в производстве полупроводникового кремния.

Наибольшее распространение получили установки бестигельной зон­ной плавки высокочастотным нагревом. Установки с электроннолучевым нагревом применяют для производства особо чистых тугоплавких метал­лов и выращивания их монокристаллов. Эти способы нагрева позволяют достигать наибольшей напряженности теплового поля и создать узкую расплавленную зону. При нагреве токами высокой частоты происходит интенсивное перемешивание на расплавленном участке, способствующее ускорению диффузии примесей, в расплавленную зону. Имеются установ­ки бестигельной зонной плавки и с графитовым нагревателем сопротив­ления, а также со световым нагревом зоны.



Перемещение расплавленной зоны можно осуществлять двумя спо­собами, создавая поступательное движение нагревателя относительно неподвижного слитка или слитка относительно неподвижного нагрева­теля. Это отражается на конструктивном оформлении функциональных узлов и механизмов печного блока установок.

В зависимости от технологических требований процесс бестигельной зонной плавки можно проводить в 'восстановительной атмосфере, в ат­мосфере инертного газа и в вакууме.

Принципиальная схема камеры установки бестигельной зонной плавки с неподвижным индуктором представлена на рис.5. Очи­щаемый стержень *5* с постоянным сечением, .полученный отливкой в форму, прессованием, выращиванием в процессе восстановления или другими способами, помещают внутрь рабочей камеры *1* так, чтобы он был охвачен индуктором *6,* и укрепляют в строго вертикальном положе­нии.

Рис. 5. Установка бестигель­ной зонной плавки с неподвижным индуктором

Верхний (Конец стержня укрепляют в зажиме *4*

верхнего штока *3,* а нижний конец — в зажиме *9* нижнего штока *11.* Зажимы, пружинящие цанги или патроны изготовляют из жаро­прочного материала, например молибде­на. Стержень центрируют внутри индук­тора.

Камера герметично закрывается дверцей 7, в которой имеется смотровое окно *8* для наблюдения за процессом. Смотровое окно выполняют, как правило, из прозрачного кварцевого стекла в виде вертикальной щели. Иногда делают не­сколько круглых смотровых окон, распо­ложенных на дверце напротив стержня. Верхний шток *3* и нижний *11* соосны, этим штокам соответствующими приводами со­общается вращение и синхронное посту­пательное перемещение. Ввод штоков в камеру обеспечивается конструкцией гер­метичных, вакуумных уплотнений. Верх­ний шток, кроме того, имеет возможность регулировочного осевого перемещения, осуществляемого вручную или автомати­чески для регулировки диаметра очищае­мого стержня растяжением или поджатием расплавленной зоны в процессе плавки.

Электропитание индуктора осуществ­ляется через уплотненный ввод *12.* Рабо­чая камера подсоединяется к вакуумной системе через патрубок *13,* размер кото­рого определяется условиями поддержа­ния в камере необходимого уровня оста­точного давления, типом и размером ап­паратуры вакуумной системы. Для со­здания в рабочей камере атмосферы инертного или другого технологически необходимого газа предусмотре­ны вентиль и натекатели *10* и *2.*

Процесс очистки стержня бестигельной зонной плавки осуществля­ется следующим образом. Стержень *5* перемещается в начальное поло­жение разогрева зоны, выключается привод перемещения штоков, двер­ца камеры закрывается, в камере создается предварительный вакуум. После подачи воды в систему охлаждения (к камере, штокам, дверце со смотровыми окнами, вакуумной системе) и регулировки расхода охлаж­дающей воды для обеспечения нужного слива с каждого места охлаж­дения вакуум в камере доводят до нужного уровня и устанавливают не­обходимую мощность на нагревателе для разогрева слитка. Когда соз­дается расплавленная зона, включают привод перемещения и привод вращения верхнего и нижнего штоков и осуществляют рабочий проход расплавленной зоны вдоль очищаемого стержня. По окончании прохода зоны, по всей длине стержня и «замораживания» зоны в конечном поло­жении возвращают стержень в исходное положение, снова создают зону; процесс повторяют необходимое число раз.

Для получения в условиях бестигельной зонной очистки стержней в виде монокристаллов требуется применять ориентированную монокри-сталлическую затравку. В этом случае в последовательность действий оператора вносятся некоторые изменения. Стержень-заготовку укрепля­ют в зажиме верхнего штока и центрируют его относительно нагревате­ля, а ориентированную монокристаллическую затравку укрепляют в зажиме нижнего штока. При этом возникает необходимость сращивания в один стержень монокристаллической затравки и стержня. Поэтому выполняют все описанные выше операции до операции первичного рас­плавления зоны, стержень-заготовку перемещают относительно нагрева­теля в такое положение, при котором создается капля расплава на его нижнем конце; разогревают и подводят к капле затравку. Далее про­цесс проводят так, как это описано выше, если размер затравки равен размеру очищаемого стержня. Если же сечение монокристаллической затравки меньше сечения стержня, то необходимо осуществить разращивание переходного конуса под заданным углом до требуемого диа­метра монокристалла. Далее процесс плавки проводят в обычном порядке.

**4 Установка бестигельной зонной плавки с индукционным нагревом**

Из ранее применяемых таких установок предпочтение отдавалось аппаратам, в которых очищаемый стержень находился внутри кварце­вой трубы, а расплавленная зона создавалась перемещающимся вверх и вниз индуктором, охватывающим кварцевую трубу снаружи. В случае применения высоких температур, при которых кварц размягчается и деформируется, наруж­ная поверхность кварцевой трубы охлаждалась непрерывной струей сжатого воздуха, поступавшего из кольцевой трубы, перемещавшейся синхронно с индуктором, или омывалась стекающей по наружной стен­ке водой.

На рис. 6 показана одна из отечественных конструкций — «Зона-1». Эта установка предназначена для получения калиброванных монокристаллических слитков кремния методом бестигельной зонной плавки. Установка автоматизирована.

*Техническая характеристика установки для очистки и выращивания монокристаллов кремния приведена ниже:*

Размеры слитка, мм:

диаметр 32

длина 600

Напрев зоны Индукционный

Частота, МГц 5,28

Мощность колебательного контура, кВА 16

Мощность, потребляемая из сети, кВЛ 40  
 Статическая точность регулирования

мощности, %' ±0,2

Скорость перемещения зоны, мм/мин:

рабочая 0,5—10

холостого хода 72—360

Скорость вращения слитка, об/мнн . . До 50  
 Рабочая среда в камере:

вакуум, мм рт. ст. ....... (1-—5) • 10 6

избыточное давление инертного газа,

ат 0,2

Расход охлаждающей воды, м3/ч ... 0,6

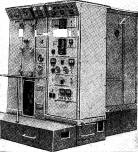


Рис. -6. Установка «Зона-1»

Установка состоит из печного агрегата, пульта управления и высо­кочастотного генератора. Печной агрегат (рис. -7) состоит из станины *1,* на которой крепятся все основные узлы печного блока, ниж­няя и верхняя каретки *2, 3,* привод перемещения штоков *4,* привод регу­лирования зоны *5,* камера *6,* вакуумная система 7, регуляторы диаметра слитка *8, 9* и система охлаждения.

Массивная литая станина состоит из трех частей: основания, нижне­го и верхнего корпусов. Нижний и верхний корпусы имеют направляю­щие типа «ласточкин хвост», по которым перемещаются верхняя и нижняя каретки, несущие соответственно верхний и нижний штоки. В станине расположены механизмы перемещения нижней каретки, механизм перемещения верхней и нижней кареток, а также ряд предаточных механизмов.

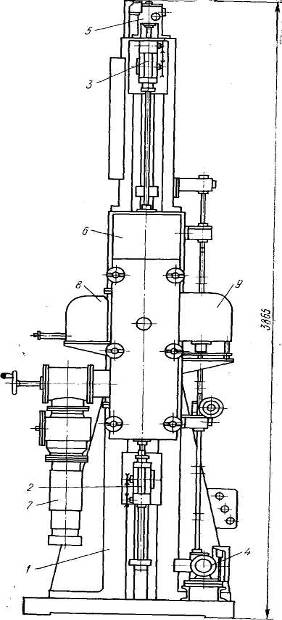
Механизм перемещения нижней каретки состоит из ходового винта, установленного в двух подшипниках, и гайки плавающего типа. Корпус гайки соединен с подушкой, к которой крепится нижняя каретка.

Механизм перемещения верхнего штока состоит из ходового винта, гайки, колонки и двух подшипниковых узлов. Гайка своим шпоночным выступом входит в паз колон­ки, соединенной в верхней час­ти с приводом регулирования ширины зоны. Внутри колонки размещен ходовой винт. Ко­лонка и ходовой винт установ­лены в подшипниковых узлах. При вращении колонки вместе с ней вращается гайка ходово­го винта; этим создается диф­ференциальное движение верх­ней каретки, т.е. ускоренное или замедленное перемещение верхнего штока, необходимое для регулирования ширины расплавленной зоны.

Колонка соединена с кони­ческой шестерней, находящей­ся в зацеплении с шестерней коробки передач ручного меха­низма регулирования ширины расплавленной зоны.

Верхняя и нижняя каретки штоков конструктивно выпол­нены одинаково. Каждая из них состоит из литого корпуса, в котором крепится электро­двигатель, червячный редуктор и переходной вал со штоком. Шток вставляется в цилиндри­ческую расточку шпинделя и закрепляется зажимной цан­гой. Вращение штоку сообща­ется электродвигателем через ременную и червячную переда­чи. Шток — водоохлаждаемый. Привод перемещения каре­ток штоков служит для верхне­го и нижнего штоков; этим обеспечивается синхронность их движения. Привод состоит из электродвигателя, редукто­ра и электромагнита, закреп­ленных на общей плите. Рабо­чее и ускоренное перемещение кареток штоков осуществляет­ся от электродвигателя через электромагнит зубчатой полу­муфты, расположенной внутри редуктора.

Привод регулирования ширины зоны состоит из электродвигателя, редуктора и электромагнита, закрепленных на общей плите. В нижней части редуктора имеется муфта, переключаемая электромагнитом, что позволяет работать в автоматическом цикле. При отключении привода редуктор может работать от ручного механизма.



# Рис. –7 Печной агрегат установки «Зона-1»

При отключении привода редуктор может работать от ручного механизма. Привод крепится к верхней части станины так, что выходной вал редуктора через муфту может быть соединен с колонкой механизма каретки перемещения верх­него штока.

Рабочая камера состоит из корпуса и прямоугольной двери, корпус и дверь камеры снабжены рубашками для водяного охлаждения. Герме­тичность двери обеспечивается прокладкой из вакуумной резины и ше­стью зажимами. Сверху и снизу камеры сносно крепятся стаканы с ва­куумными уплотнениями штоков. Вакуумные уплотнения снабжены при­нудительной системой смазки. К задней части камеры крепится высоко­частотный ввод со съемным индуктором. На камере укреплены устрой­ства датчика, предназначенного для работы в схеме контроля и автома­тического регулирования диаметра кристалла.

Сбоку камеры имеется фланец для присоединения к вакуумной си­стеме. Дверь камеры снабжена смотровым окном со светофильтром. В камере имеются устройства для подвода газа и лигатуры, при легиро­вании ее компонентами из газовой фазы и устройства для крепления датчиков вакуума. На корпусе камеры крепится блокировочное устрой­ство, фиксирующее закрытое положение двери.

Вакуумная система состоит из вакуумного затвора, отсекающего паромасляный диффузионный насос от камеры; сорбционной ловушки, предназначенной для получения «чистого» вакуума; диффузионного на­соса и системы вентилей. Ловушка представляет собой металлический корпус, внутри которого расположены сменные поглотительные элемен­ты. По мере необходимости поглотительные элементы ловушки могут быть подвергнуты регенерации без демонтажа. Вакуумную систему мож­но присоединить к централизованной форвакуумной системе. Кроме то­го, она может работать от отдельного форвакуумного насоса.

Система водяного охлаждения установки обеспечивает охлаждение высокочастотного лампового генератора, печного блока и узлов ва­куумной системы.

**5 Установка бестигельной зонной плавки с электронно-лучевым нагревом**

Разновидностью установок такого типа является представленная на рис.-8 японская установка модели IEBZ-3B, в которой расплавле­ние зоны происходит в глубоко вакуумированной камере в результате бомбардировки прутка обрабатываемого материала направленным ста­билизированным пучком электронов, создаваемым электронной пушкой с кольцевым катодом. Эту установку фирма рекомендует использовать для бестигельной зонной плавки полупроводниковых материалов и туго­плавких металлов.

В комплект установки входят: печной агрегат, блок высоковольтно­го питания, шкаф управления и форвакуумный насос. Печной агрегат состоит из рабочей камеры, приводов верхнего и нижнего штоков, при­вода кольцевого катода, вакуумной системы и системы водяного охлаж­дения. Эти узлы смонтированы на столе, закрытом боковыми листами.

Рабочая камера — водо-охлаждаемая из нержавеющей стали, внутрь камеры встроена кольцевая электронная пушка, введены штоки с патро­нами-держателями стержня. На заднем торце камеры имеется патрубок для вакуумирования. На дверце камеры расположено вертикальное щелеобразное смотровое окно для наблюдения за процессом. Подлежащий очистке стержень помещают в центр опоясывающей его кольцевой нити накала — катода, укрепленного на фигурном кольце. Форма и располо­жение анода, по мнению фирмы, предотвращают загрязнение стержня материалом катода.

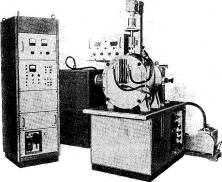


Рис.-8 Установка японской фирмы модели IEBZ-3B

Перемещение расплавленной зоны достигается вертикальным пере­мещением электронной пушки. Скорость перемещения зоны зависит от материала и может регулироваться в пределах 0,2—2 и 2—20 мм/мин. Скорость холостого хода электронной пушки составляет примерно 200мm/mиh.

Когда электронная пушка достигает крайнего верхнего положения, автоматически прекращается поток электронов, далее пушка опускается в исходное нижнее положение со скоростью холостого хода, после чего операция очистки возобновляется. Эти повторяющиеся операции осуще­ствляются автоматически, для этого предусмотрено программное устрой­ство. Перемещение пушки может быть приостановлено и вновь включено оператором на любом участке очищаемого слитка.

#### Заключение

Вращение очищаемого стержня осуществляется соответствующими механизмами вращения верхнего и нижнего штоков. Для достижения более полной гомогенности материала при очистке конструкцией уста­новки в период рабочего хода при образовавшейся расплавленной зоне допускается вращение верхней и нижней частей очищаемого стержня с различным числом оборотов; например, верхней со скоростью 5 об/мин, а нижней 2 об/мин.

Вакуумная система расположена за рабочей камерой. Она состоит из диффузионного пар масляного насоса, форвакуумного насоса, ловушки, вакуумных задвижек и вентилей. Рабочий вакуум, требуемый в процес­се очистки, может быть, достигнут в течение 10 мин, после включения ва­куумной системы. Система водяного охлаждения обеспечивает охлажде­ние анода электронной пушки, верхнего и нижнего штоков, рабочей ка­меры и узлов вакуумной системы. Электрооборудование установки со­стоит из блока питания и контрольного блока, в котором сосредоточены все схемы контроля регулирования и управления установкой.

**Список использованных источников**

1. Основы металлургии, Т. 7. Технологическое оборудование предприятий цветной металлургии. Под редакцией И.А. Стригина, А.И. Басова, Ф.П. Ельцева, А.В. Троцкого. «Металлургия», 1975. с.1008.