

***ПРОЕКТИРОВАНИЕ И
ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ
ИНТЕГРАЛЬНОЙ
ЭЛЕКТРОНИКИ***

***НАНЕСЕНИЕ ТОНКИХ
ПЛЁНОК***

Функции тонких проводящих пленок в ИИЭ

1. Формирование электрического контакта требуемого типа к областям различного типа проводимости элементов ИМЭ:

- **выпрямляющий** контакт (контакт Шоттки);

- **невыпрямляющий** (омический) контакт.

2. Формирование электрических соединений элементов ИМЭ в требуемой последовательности, т.е. формирование электрической разводки ИИЭ.

3. Обеспечение микромонтажа кристалла

Стадии процесса нанесения тонких пленок в вакууме

- 1. Генерация** потока частиц;
- 2. Перенос** частиц к подложке;
- 3. Конденсация** частиц с образованием тонкопленочных слоев на обрабатываемой поверхности.

Классификация методов нанесения металлических плёнок

***Все методы нанесения тонких
металличес-
ких пленок в вакууме классифицируются
по
способу генерации потока частиц.***

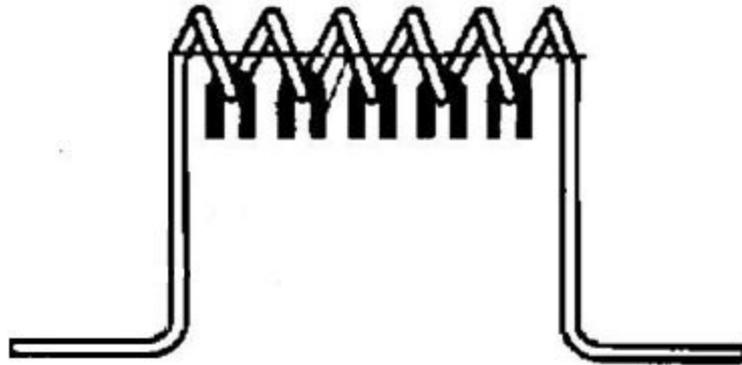
***В технологии ИИЭ используют три
метода
нанесения тонких пленок:***

- термическое испарение;***
- химическое осаждение из газовой
фазы;***

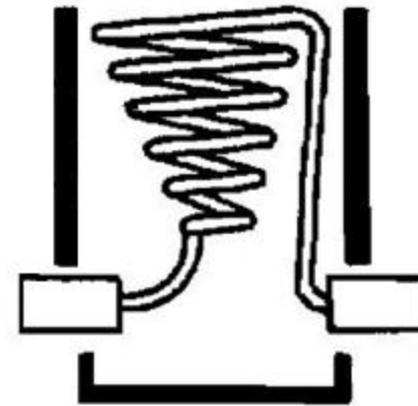
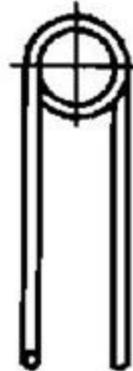
Термическое испарение

Метод заключается в конденсации материала из молекулярных или атомарных пучков, которые создаются в результате испарения нагревом напыляемого материала. Испаряемые в высоком вакууме атомы разлетаются над разогретой поверхностью испарителя, и часть из них конденсируется на поверхности обрабатываемых подложек, образуя

Резистивное испарение

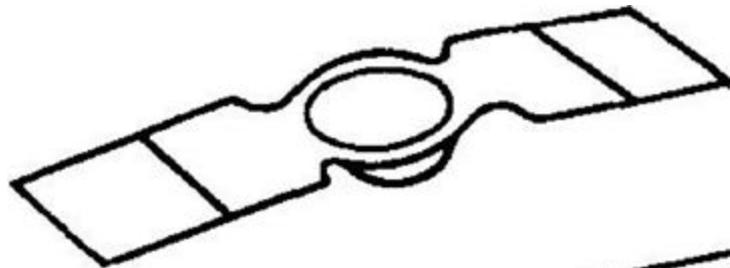


ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ
СПИРАЛЬ



КОНИЧЕСКАЯ
СПИРАЛЬ

**Спиральн
ые
испарите
ли**



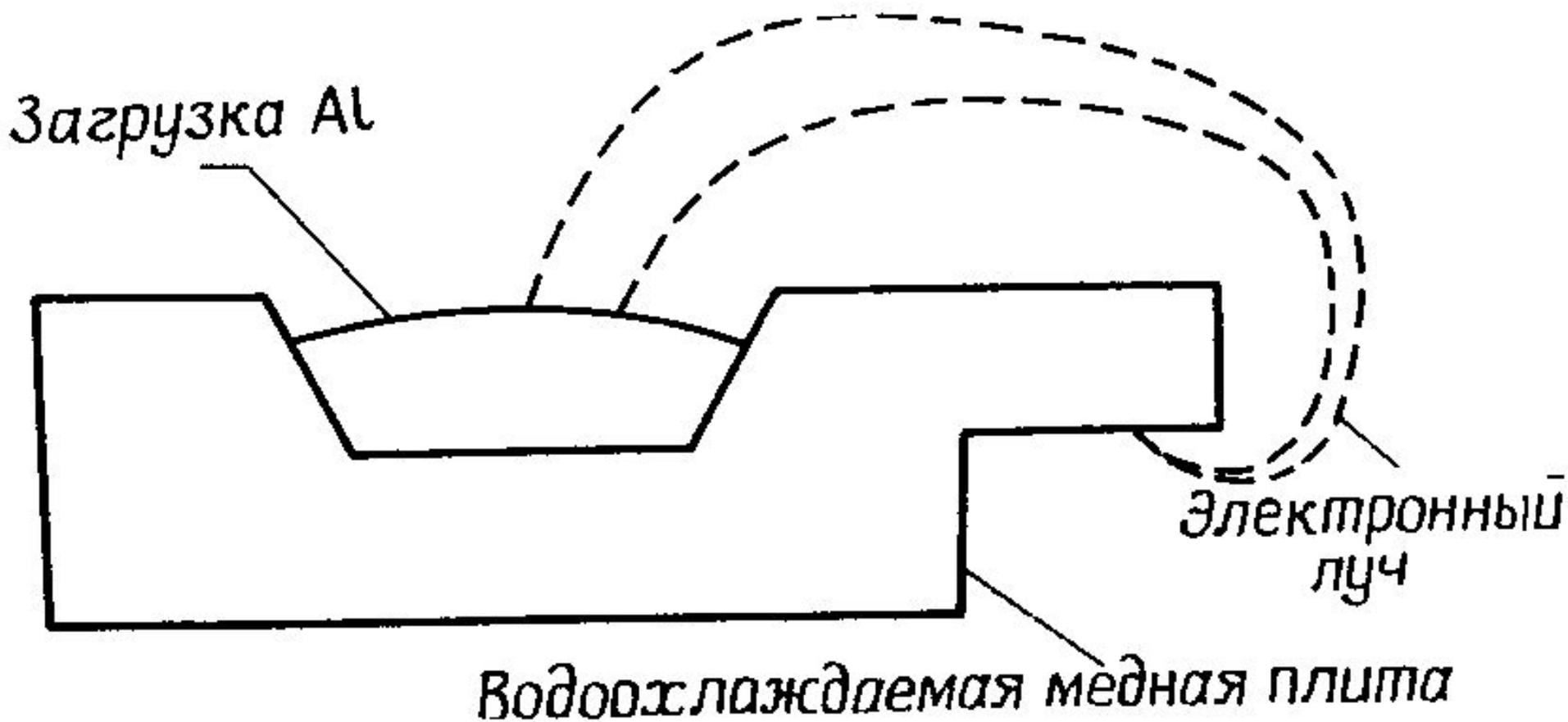
С углублением в виде
полусферы



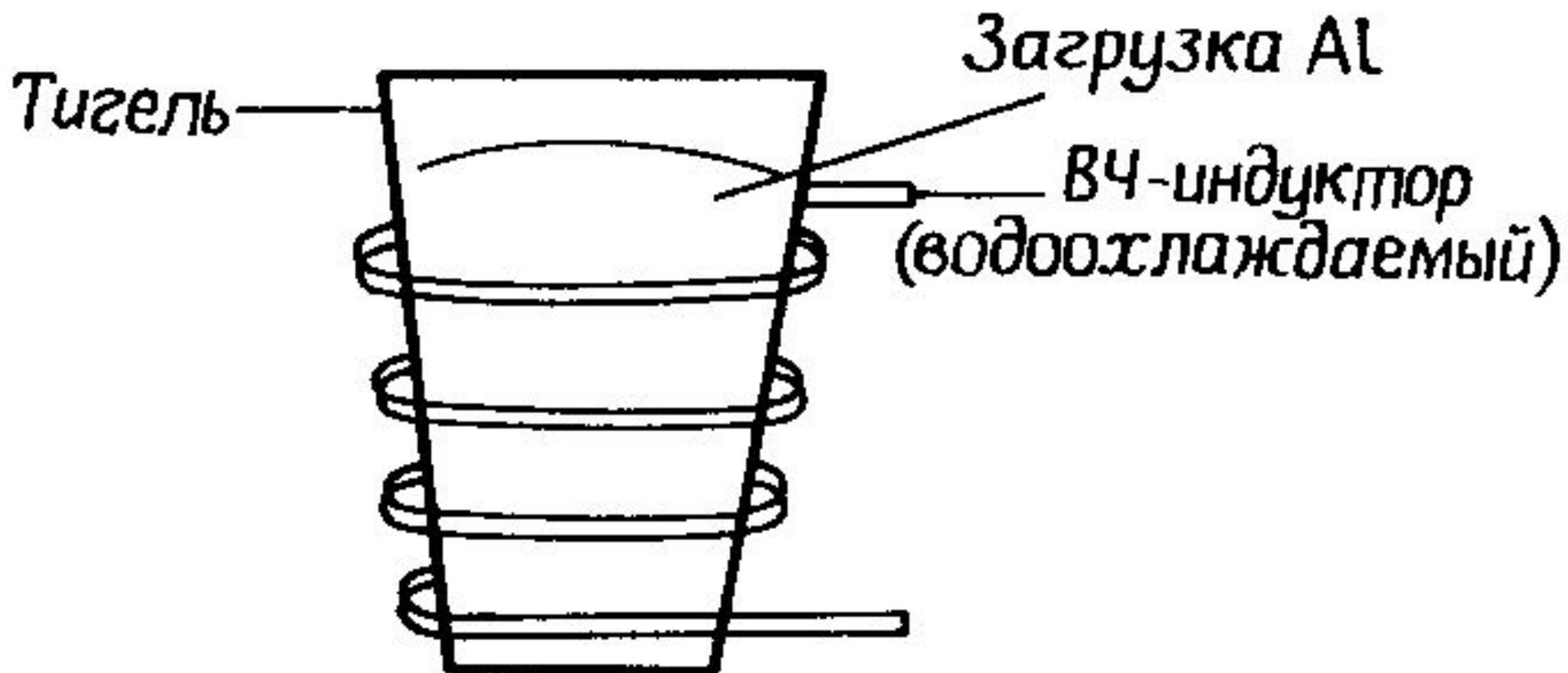
Лодочного типа

**Ленточны
е
испарите
ли**

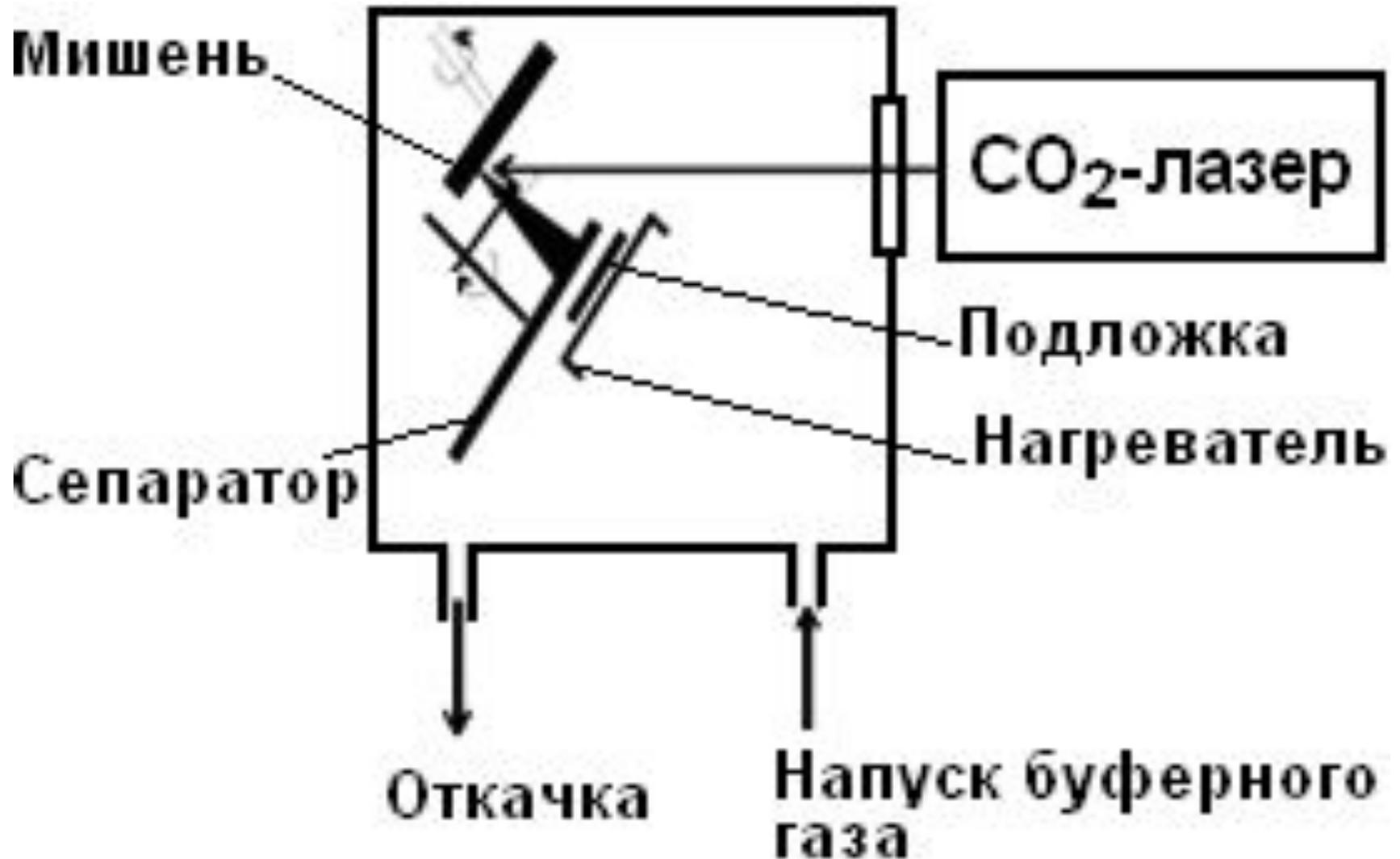
Электронно-лучевое испарение



Индукционное испарение



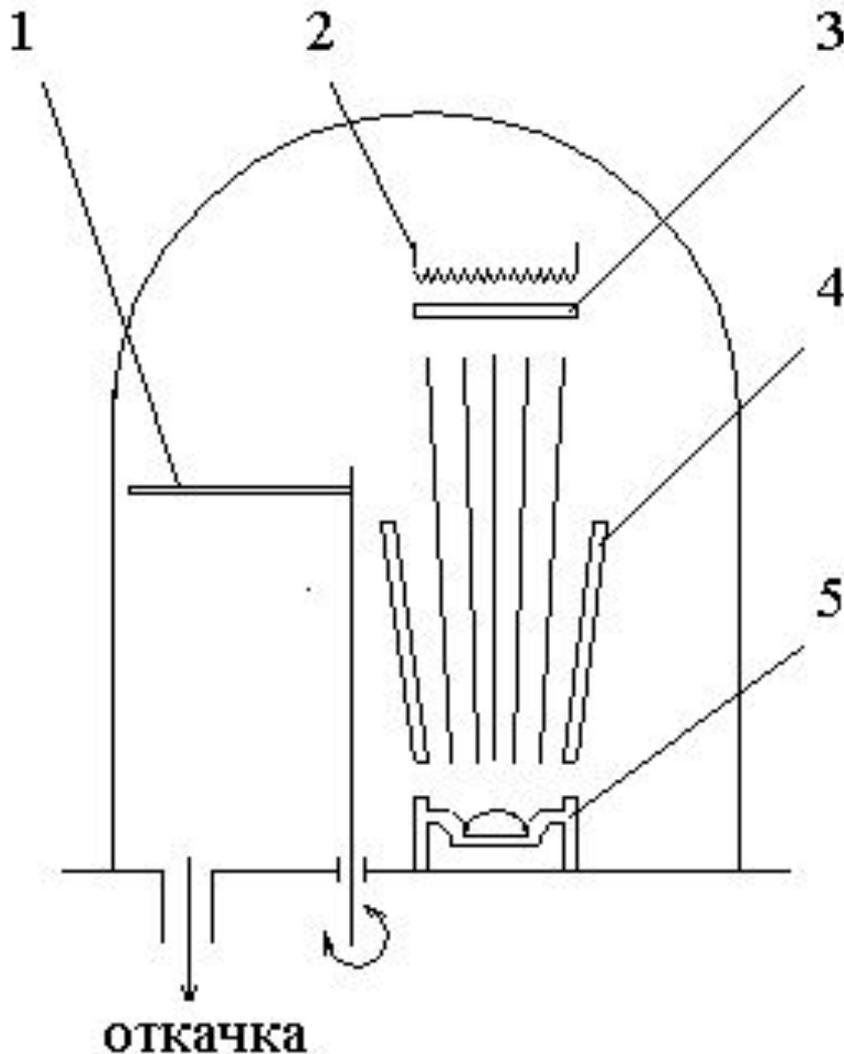
Лазерное испарение



Кинетика конденсации

- 1. Сначала атом напыляемого вещества адсорбируется под действием сил Ван-дер-Ваальса и начинает мигрировать по поверхности в поисках потенциальной ямы.**
- 2. Множество мигрирующих по подложке атомов сливается друг с другом, образуя островковую структуру.**
- 3. По мере дальнейшего поступления атомов отдельные островки начинают**

Схема термического испарения



- 1 — заслонка;**
- 2 — нагреватель;**
- 3 — подложка;**
- 4 —**
ограничивающая
труба;
- 5 — испаритель**

Технологический процесс напыления плёнок термическим испарением

- 1. Загружаются подложки. Вакуумная камера герметизируется и откачивается до давления не хуже 5×10^{-4} Па.**
- 2. Подложки 3 нагреваются с помощью нагревателя 2 до температуры ~ 300 °С.**
- 3. Вещество в испарителе 5 нагревается до высокой температуры, при которой происходит его интенсивное испарение. Поток пара на подложки перекрыт заслонкой 1 и ограничивающей трубой 4.**
- 4. Открывается заслонка 1, частицы в виде атомов или молекул свободно распространяются в вакуумной камере от испарителя и, достигнув подложки 3, конденсируются на ней.**

Параметры процесса напыления вакуумным испарением

Скорость напыления определяется

- температурой испарителя:

РИ – током испарителя,

ЭЛИ – ускоряющим напряжением и
током

электронного луча,

ЛИ – мощностью энергии лазерного
излучения

ИИ – мощностью ВЧ-индуктора,

- **взаимным расположением** испарителя
и подложки,

Адгезия пленки - температурой
подложки, **Чистота плёнки** - давлением
остаточных

Особенности метода термического испарения

Достоинства:

- простота реализации;**
- чистота процесса (проведение процессов в высоком вакууме).**

Недостатки:

- слабая адгезия пленки к подложке;**
- трудность получения пленок тугоплавких металлов и сплавов.**
- ограниченный ресурс непрерывной работы испарителя.**

Ионное распыление

Распыление – физический процесс, включающий ускорение ионов (обычно Ar^+) посредством градиента потенциала и бомбардировку этими ионами мишени или катода. За счёт передачи ионами импульса поверхностные атомы материала мишени распыляются и переносятся на подложки, где

Системы ионного распыления

- диодная система;***
- триодная система;***
- ионно-лучевая система;***
- магнетронная распылительная система.***

Диодная система

Параметры процесса

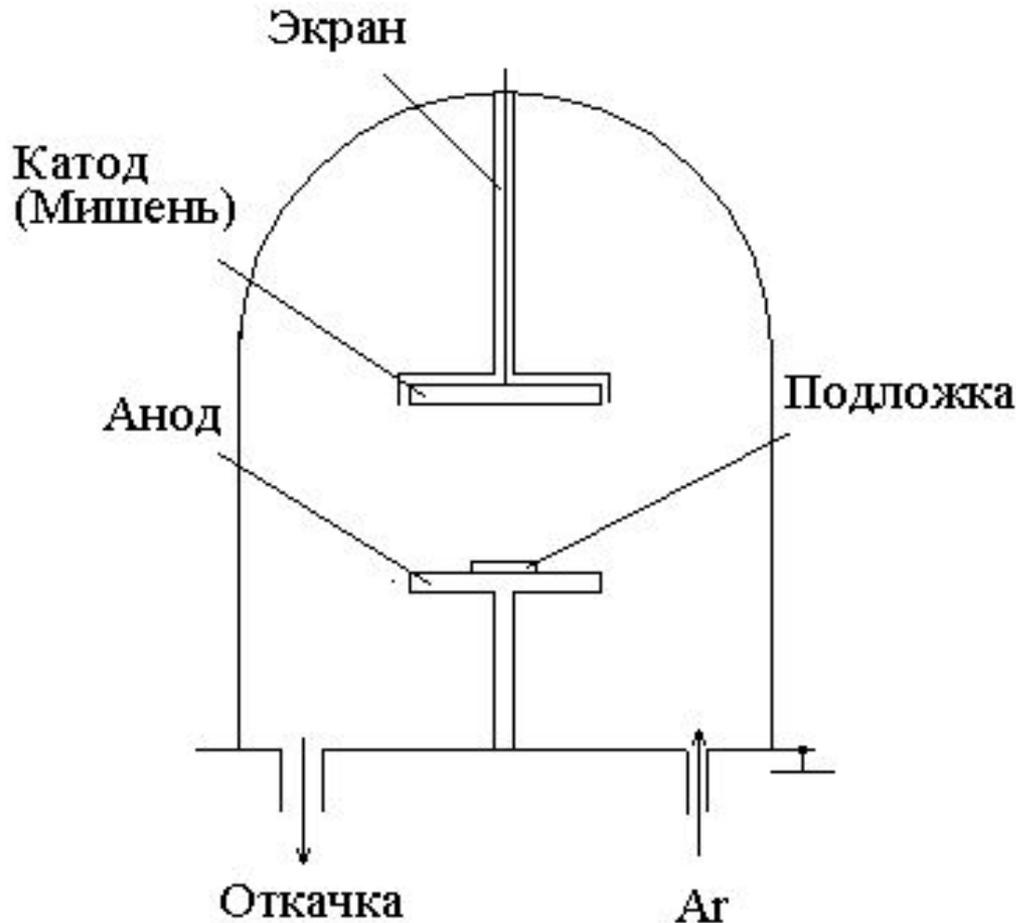
Давление Ar: 1 – 10 Па;

Напряжение
разряда: 3 – 5 кВ;

Расстояние мишень-
подложка 3 – 5 см;

Скорость нанесения
плёнок ~ 0,5
нм/с.

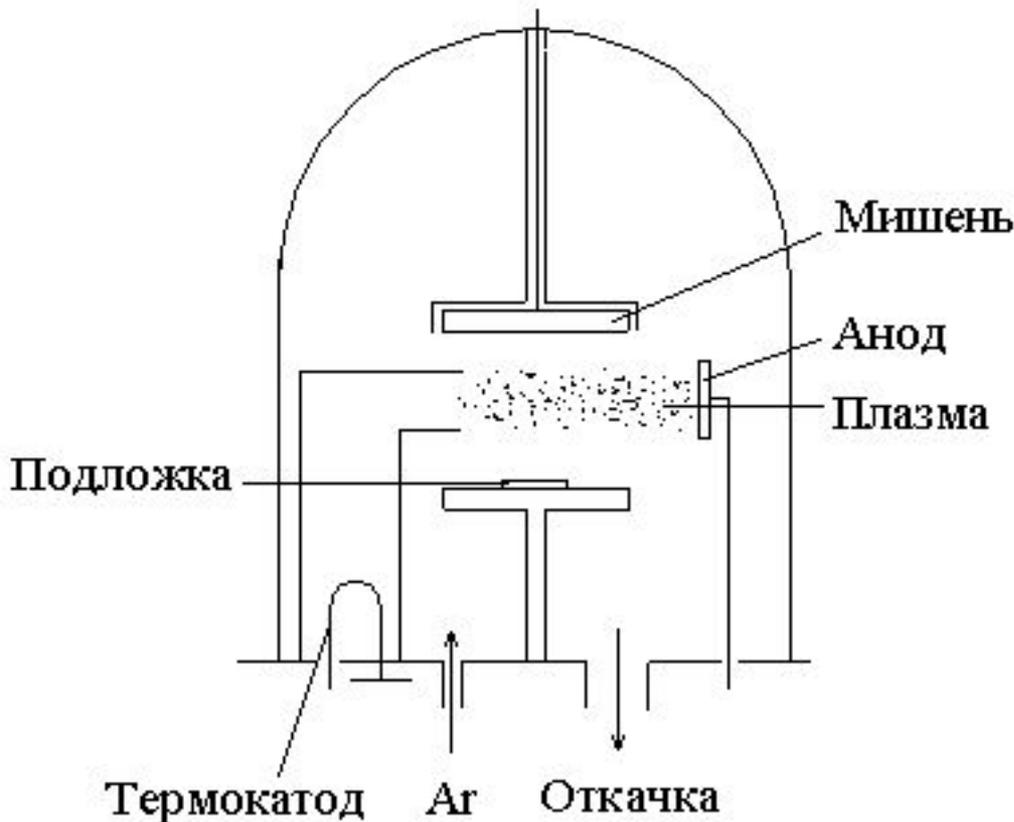
Между катодом и
анодом
поддерживается
**тлеющий
разряд. Ионы**
генерируются
ударной ионизацией
элек-
тронами,
эмиттированны-



Недостатки диодной системы

- Высокое давление процесса приводит к загрязнению плёнки;***
- Разогрев подложки электронами (~ 350 °С);***
- Низкая скорость напыления.***

Триодная система



Между катодом и анодом поддерживается **дуговой разряд**, поддерживаемый эмиссией электронов с термокатода. Ионы вытягиваются электрическим полем анод – катод и ускоряются потенциалом мишени

Параметры процесса

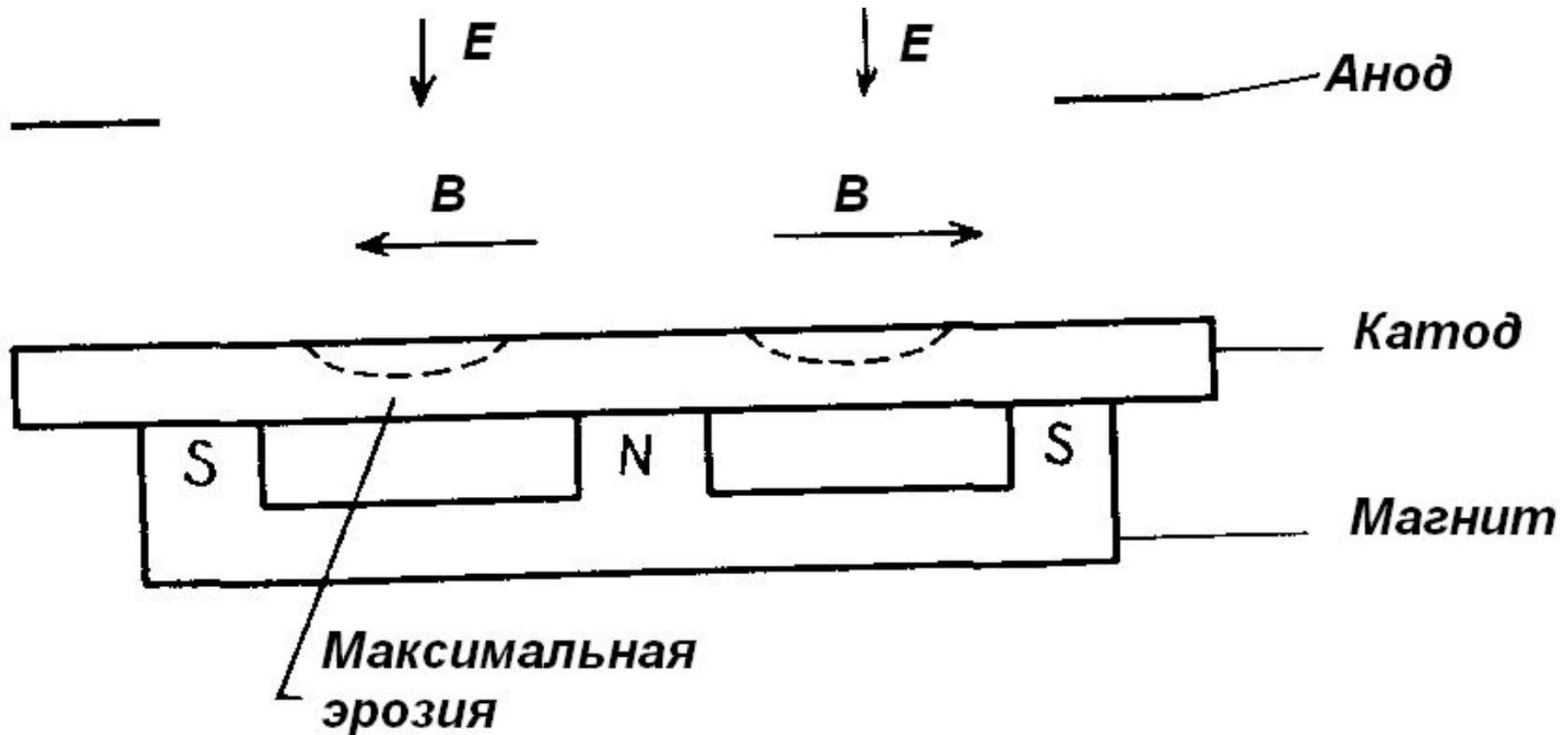
Давление Ar: 0,1 – 1,0

Па;

Потенциал

катода - мишени: - (1,5–3)¹⁹

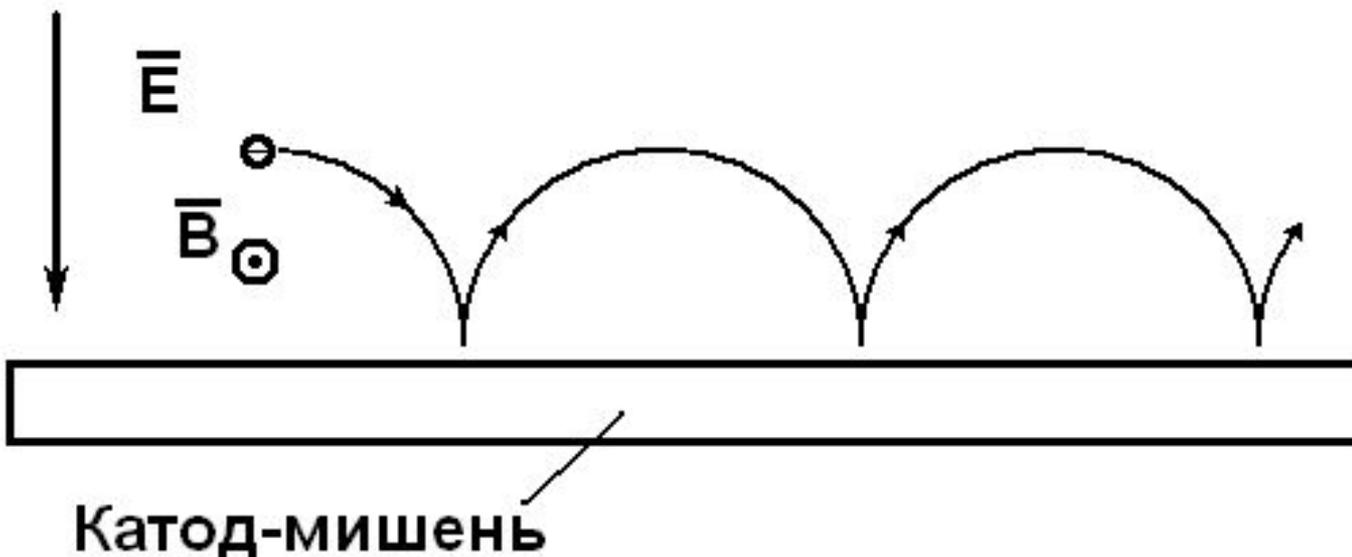
Магнетронная распылительная



Между катодом и анодом зажигается тлеющий разряд, под-держиваемый термоэлектронной эмиссией с катода, нагрева-емого бомбардирующими ионами аргона. В скрещенном элек-трическом и магнитном поле электроны

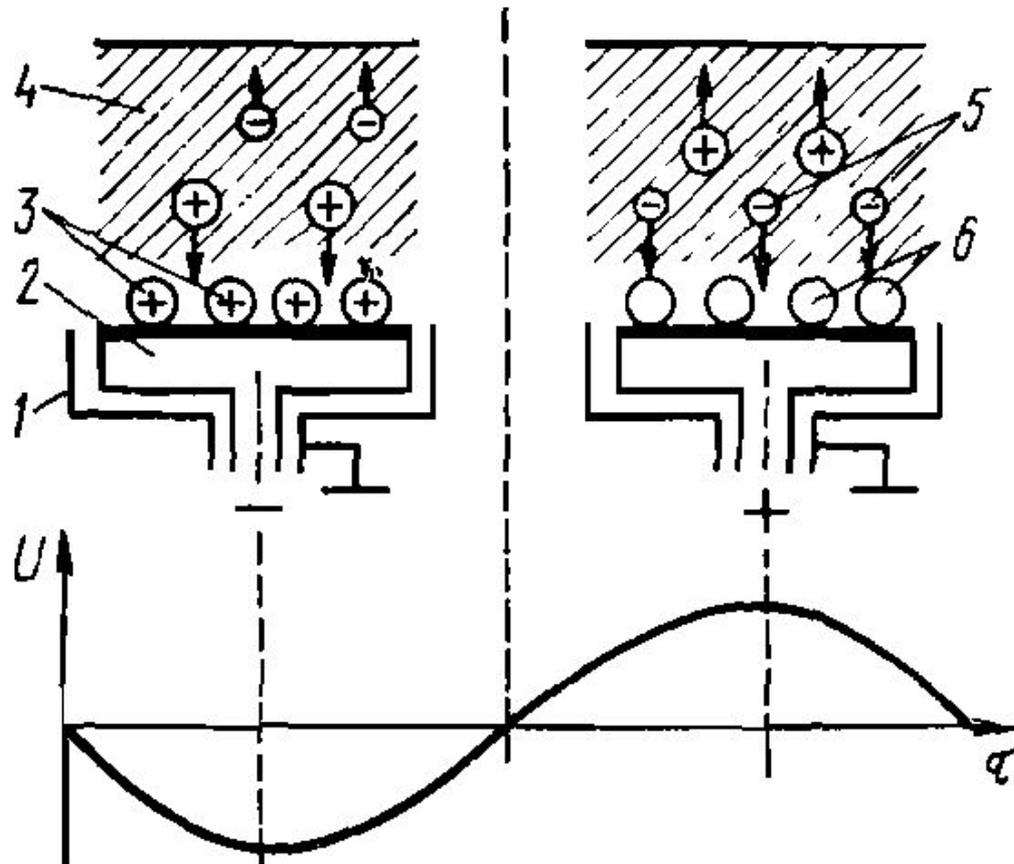
Параметры процесса

Траектория движения электрона:



<i>Давление рабочего газа</i>	<i>0,01 – 1 Па</i>
<i>Напряжённость магнитного поля</i>	<i>0,02 – 0,05 Тл</i>
<i>Напряжение разряда</i>	<i>300 – 700 В</i>
<i>Скорость нанесения плёнок</i>	<i>100 – 200 нм/с</i>

ВЧ – распыление



1 – экран, 2 – катод, 3 – ионы,
4 – плазма, 5 – электроны,
6 – молекулы.

При распылении диэлектрических материалов положительные ионы создают на поверхности мишени положительный заряд. Для нейтрализации данного заряда на мишень подают ВЧ переменный потенциал. Во время отрицательного полупериода мишень притягивает ионы, осуществляющие ее

Реактивное распыление

Применяется для нанесения пленок химических соединений. Требуемое химическое соединение получают подбирая материал распыляемой мишени и рабочий газ. Для получения оксидов и нитридов в рабочий газ добавляют дозированное количество кислорода и азота соответственно. Химическая реакция может протекать как на подложке, так и на поверхности мишени. В от-

Химическое осаждение металлов из газовой фазы

Метод основан на подаче в тепловой реактор летучих соединений металлов (в основном галогенидов) в смеси с водородом. При протекании соответствующих химических реакций на поверхности подложки образуется пленка чистого металла:

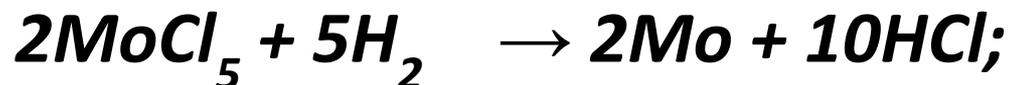
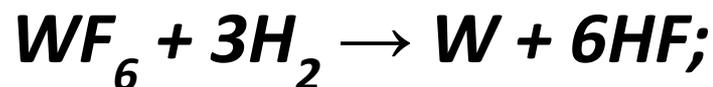
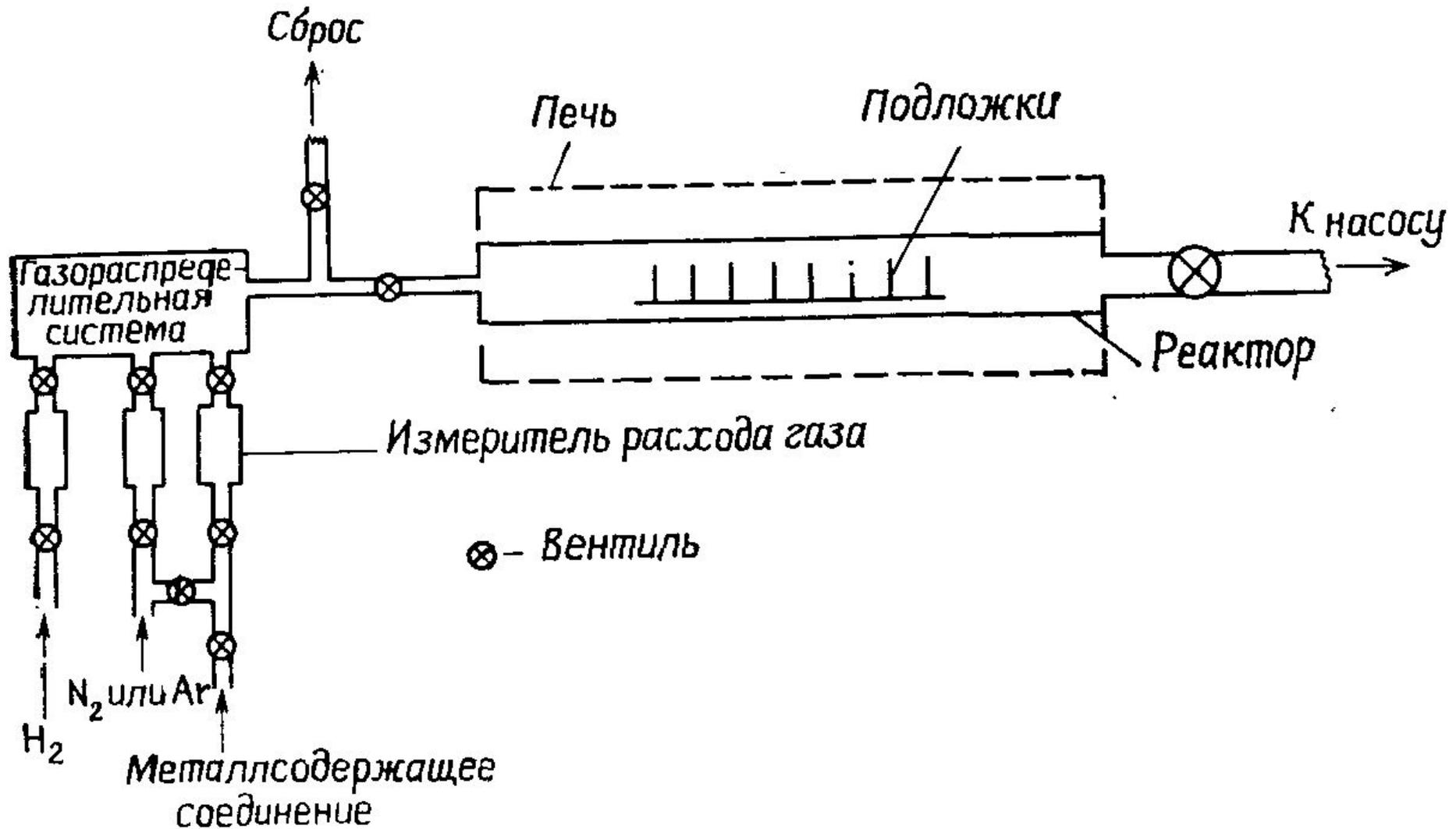


Схема реактора для нанесения металлов ХОГФ



Параметры процесса осаждения металлов ХОГФ

Температура процесса (600 – 800 °С);

Давление в реакторе (10 – 100 Па);

Время процесса осаждения;

Расход реагентов.

Особенности нанесения металлических пленок ХОГФ

Достоинства:

- Конформность покрытия
(воспроизводимость рельефа
поверхности подложки);**
- простота оборудования;**
- возможность одновременного нанесения
на большое количество подложек.**

Недостатки:

- высокая температура процесса;**
- загрязнение пленки атмосферой
реактора.**