

НАНЕСЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЁНОК

Практическое занятие №9
по курсу ФХОМиНЭ

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 ИМЭ, т.е. тонкопленочные слои должны допускать подсоединение внешних выводов к контактными площадкам кристалла ИМЭ пайкой или микросваркой.

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
металлических 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;***
- ионное распыление.***

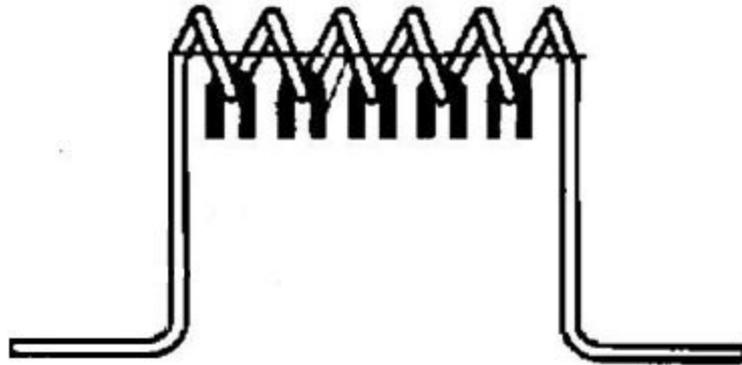
Термическое испарение

Метод заключается в конденсации материала из молекулярных или атомарных пучков, которые создаются в результате испарения нагревом напыляемого материала.

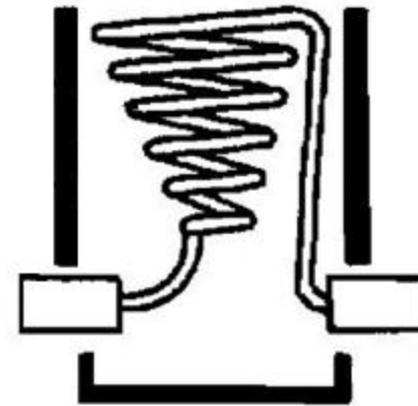
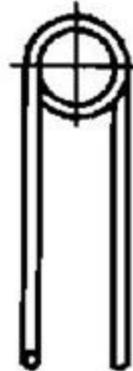
Испаряемые в высоком вакууме атомы разлетаются над разогретой поверхностью испарителя, и часть из них конденсируется на поверхности обрабатываемых подложек, образуя покрытие.

В зависимости от способа нагрева материала различают: резистивное испарение (РИ), электронно – лучевое испарение (ЭЛИ), лазерное испарение (ЛИ) или индукционное испарение (ИИ).

Резистивное испарение

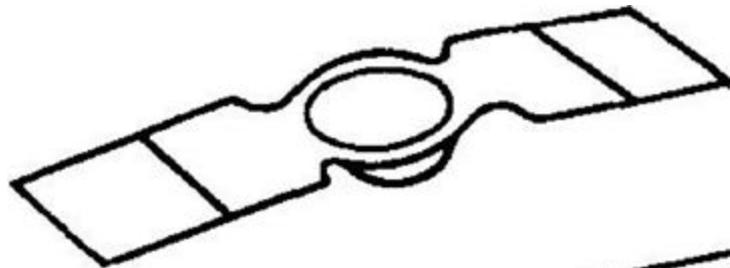


ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ
СПИРАЛЬ



КОНИЧЕСКАЯ
СПИРАЛЬ

**Спиральн
ые
испарите
ли**



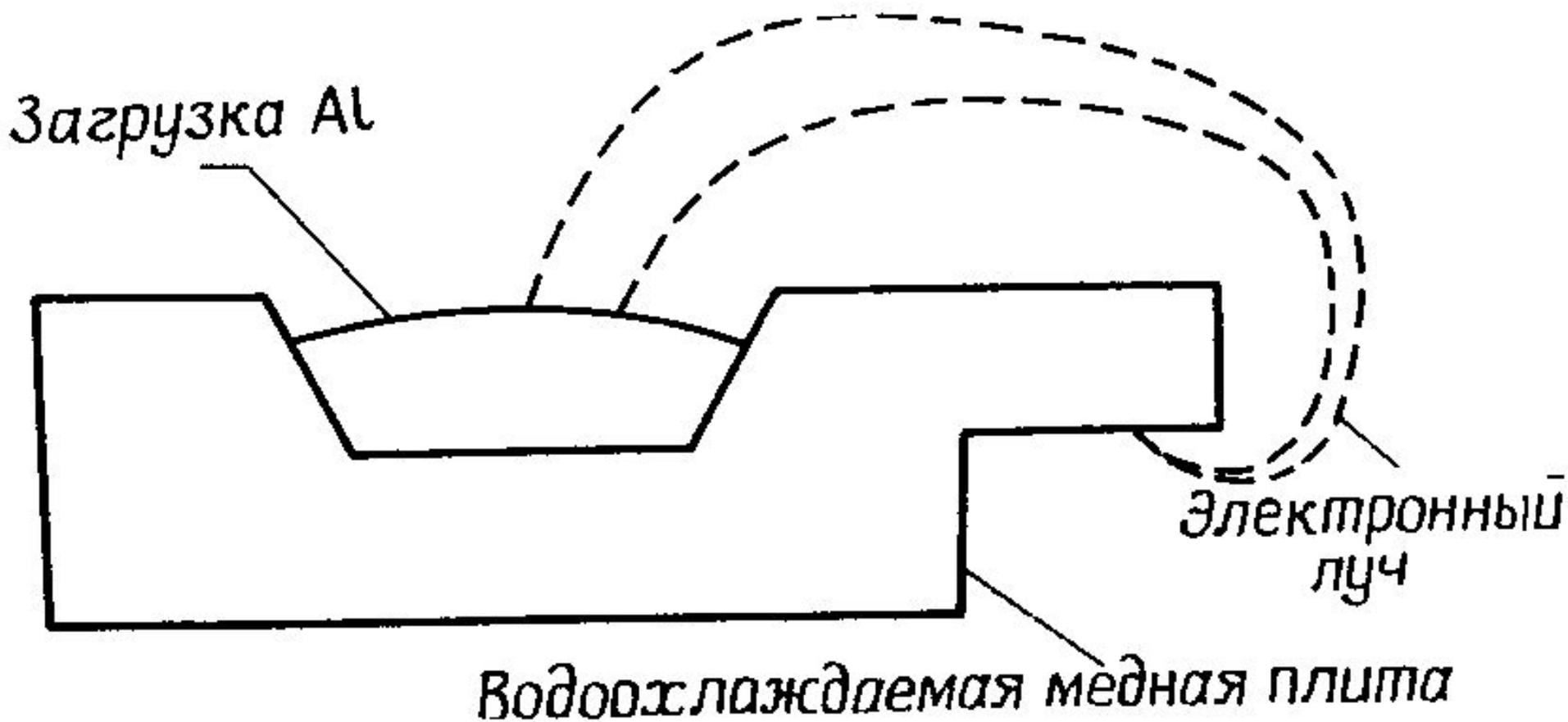
С углублением в виде
полусферы



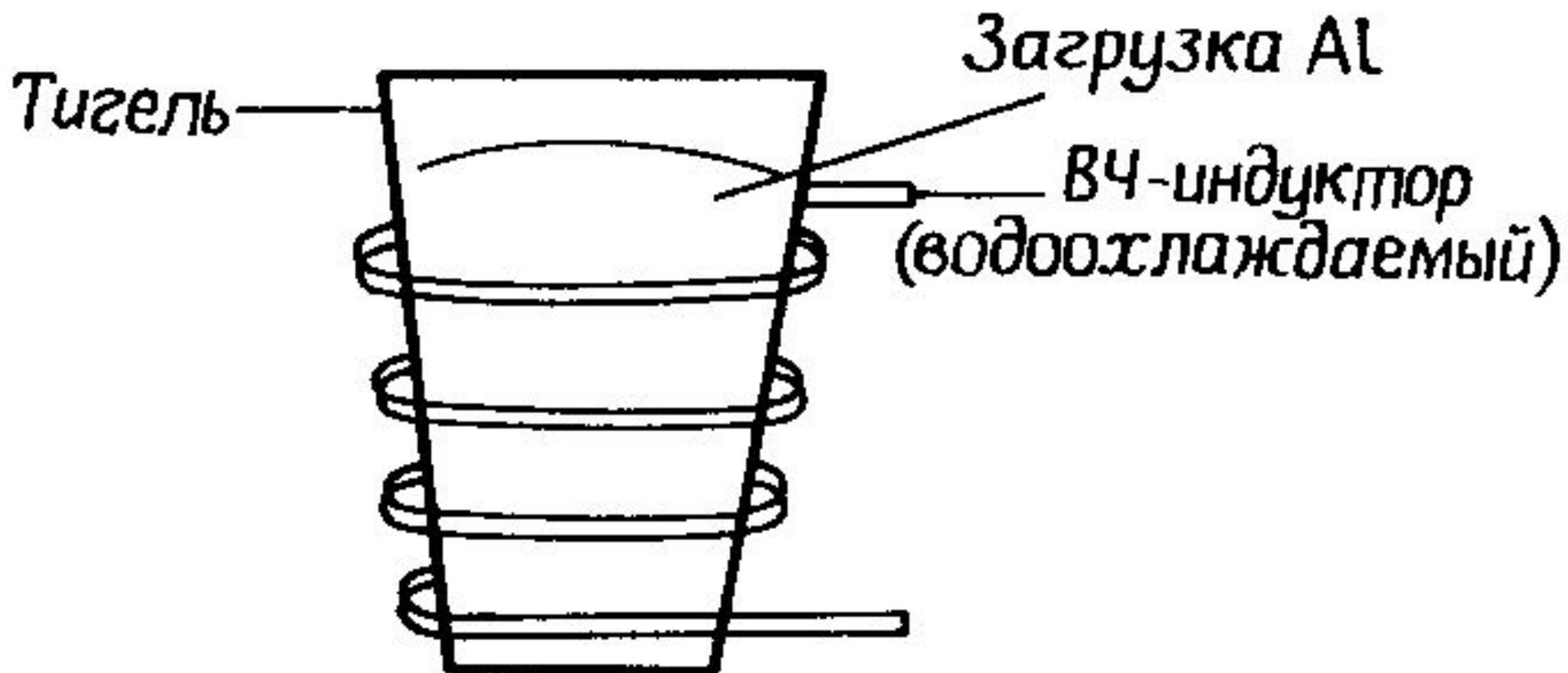
Лодочного типа

**Ленточны
е
испарите
ли**

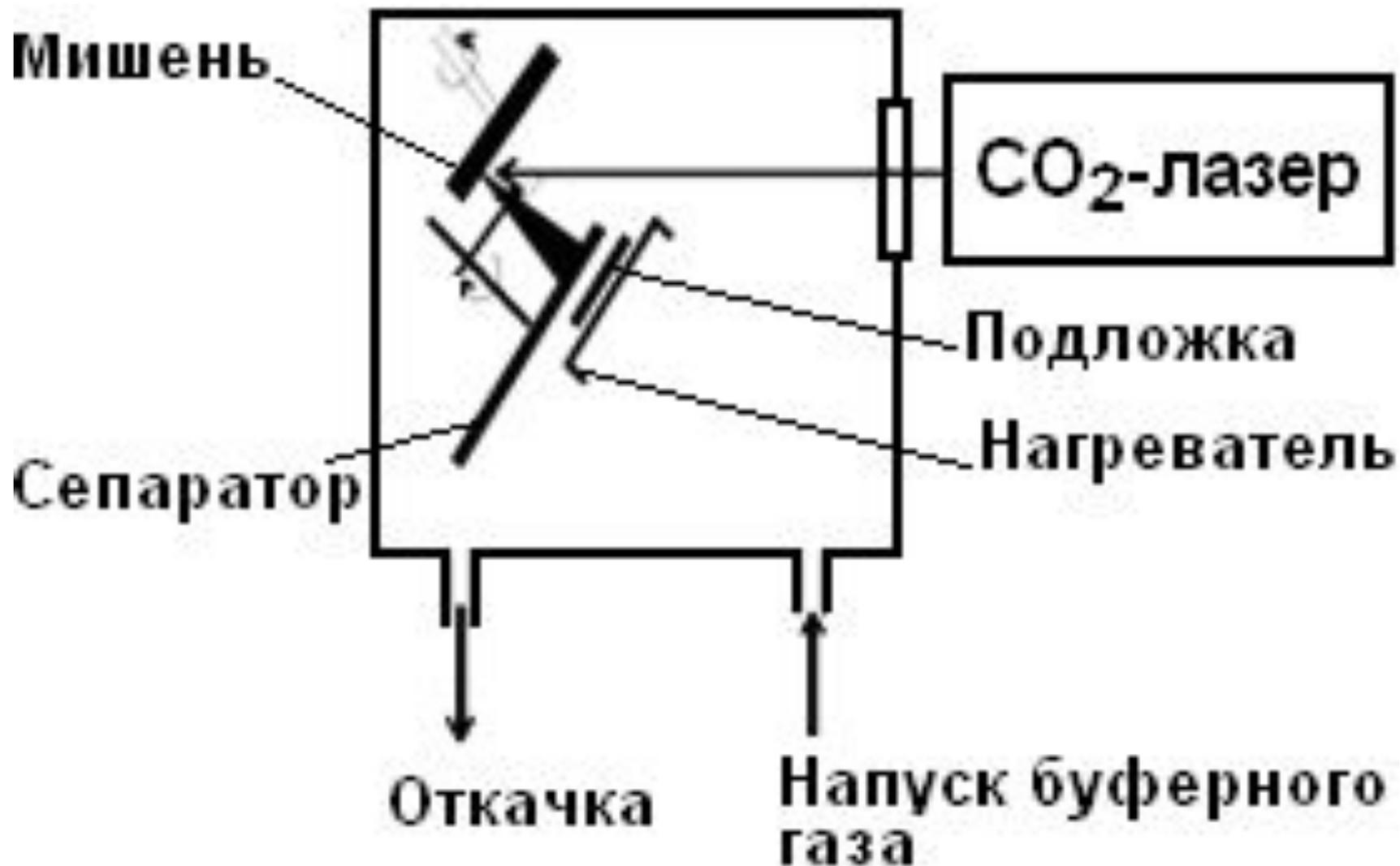
Электронно-лучевое испарение



Индукционное испарение



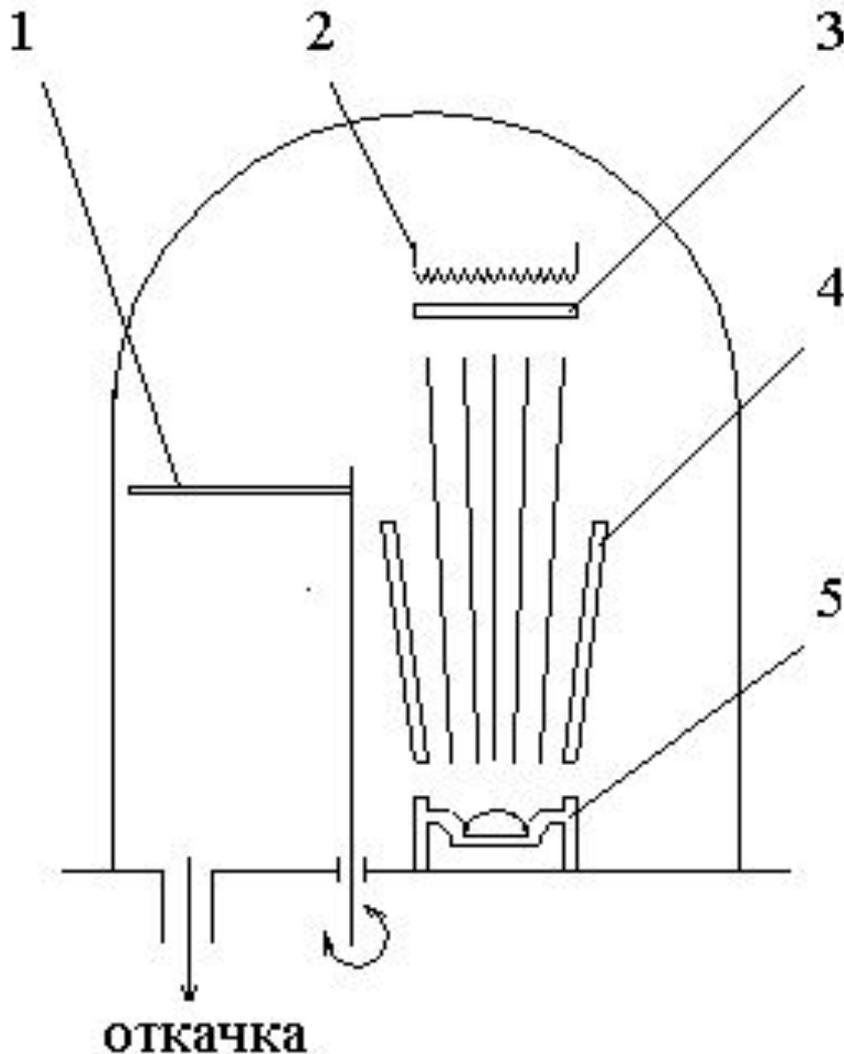
Лазерное испарение



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 соединяться, и приобретает сетчатую структуру.***
- 4. Затем структура превращается в сплошную, после чего пленка начинает расти по толщине.***

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.**
- 5. По достижении заданной толщины плёнки (либо заданного времени процесса) заслонка закрывается, испаритель отключается.**
- 6. Подложки охлаждаются до заданной температуры.**
- 7. Производится напуск азота в камеру. Затем подложки выгружаются.**

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 газов в камере.

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 происходит рост плёнки.

Системы ионного распыления

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

Диодная система

Параметры процесса

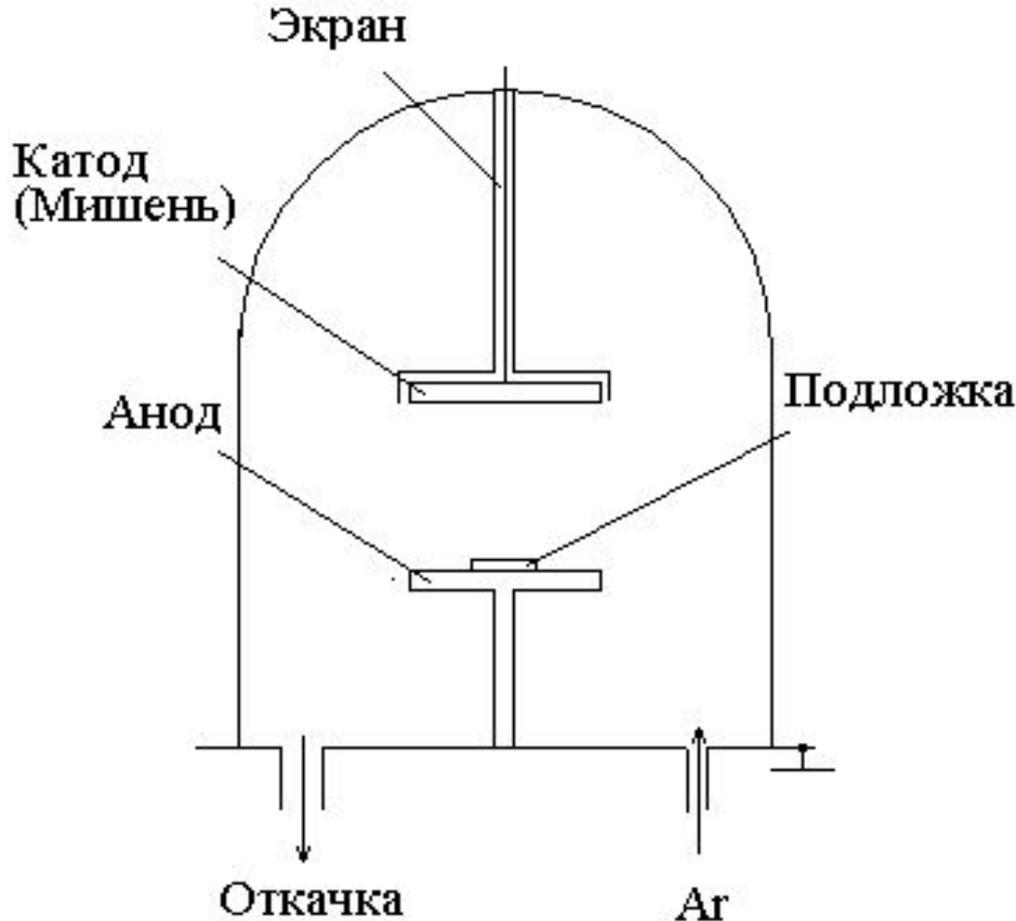
Давление Ar: 1 – 10 Па;

Напряжение
разряда: 3 – 5 кВ;

Расстояние мишень-
подложка 3 – 5 см;

Скорость нанесения
плёнок $\sim 0,5$ нм/с.

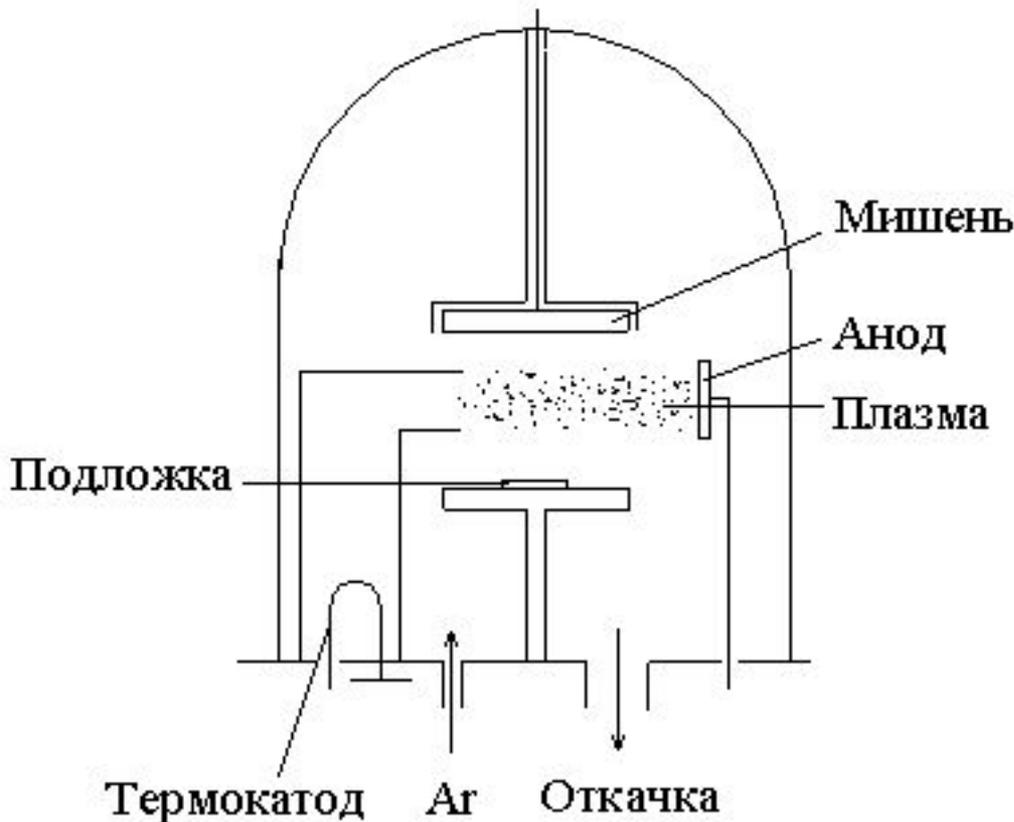
Между катодом и анодом поддерживается **тлеющий разряд**. Ионы генерируются **ударной ионизацией** электронами, эмиттированными катодом в результате **термоэлектронной эмиссии**. Ионы ускоряются электрическим полем и бомбардируют подложку



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

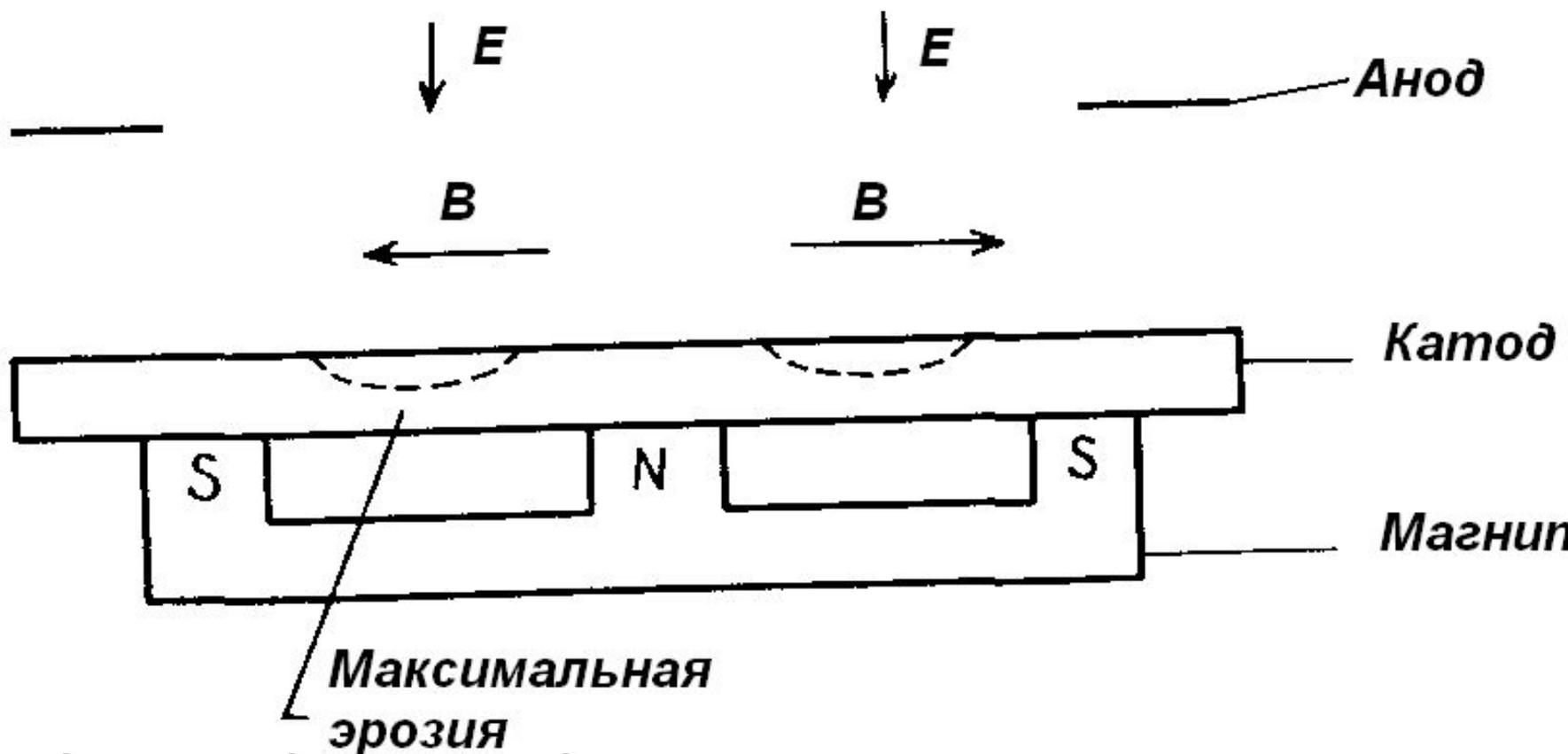
Давление Ar: 0,1 – 1,0 Па;

Потенциал катода - мишени: - (1,5–3) кВ;

Потенциал анода: 50 – 150 В;

Скорость нанесения плёнок: 1 - 2 нм/с.

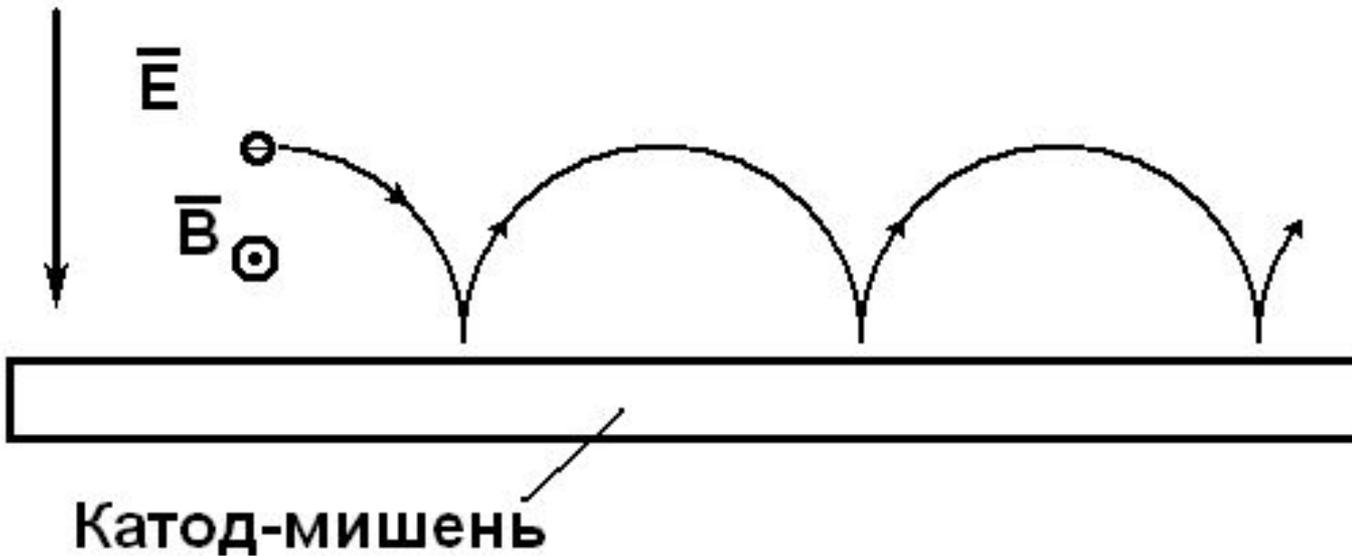
Магнетронная распылительная система



Между катодом и анодом зажигается тлеющий разряд, поддерживаемый термоэлектронной эмиссией с катода, нагреваемого бомбардирующими ионами аргона. В скрещенном электрическом и магнитном поле электроны прижимаются к поверхности мишени, многократно ионизируя атомы аргона.

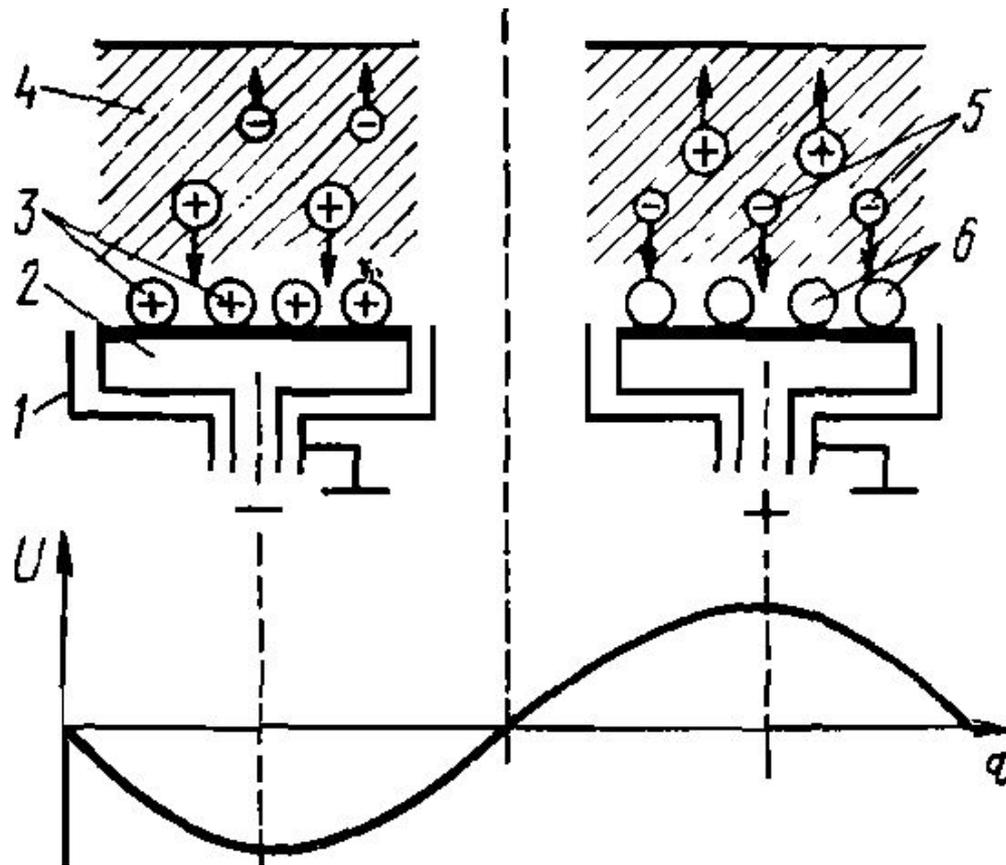
Параметры процесса

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 распыление. Во время положительного полупериода мишень притягивает электроны, которые нейтрализуют положительный заряд ионов.

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 отсутствие аргона реакции протекают на мишени. Для протекания реакции на подложке количество реактивного газа не должно превышать 10 %.

Подача реактивного газа может осуществляться отдельно либо в смеси с аргоном.

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:

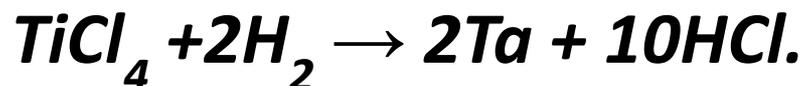
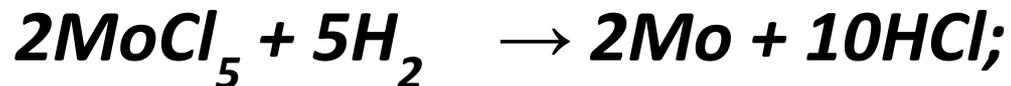
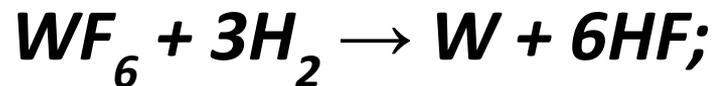
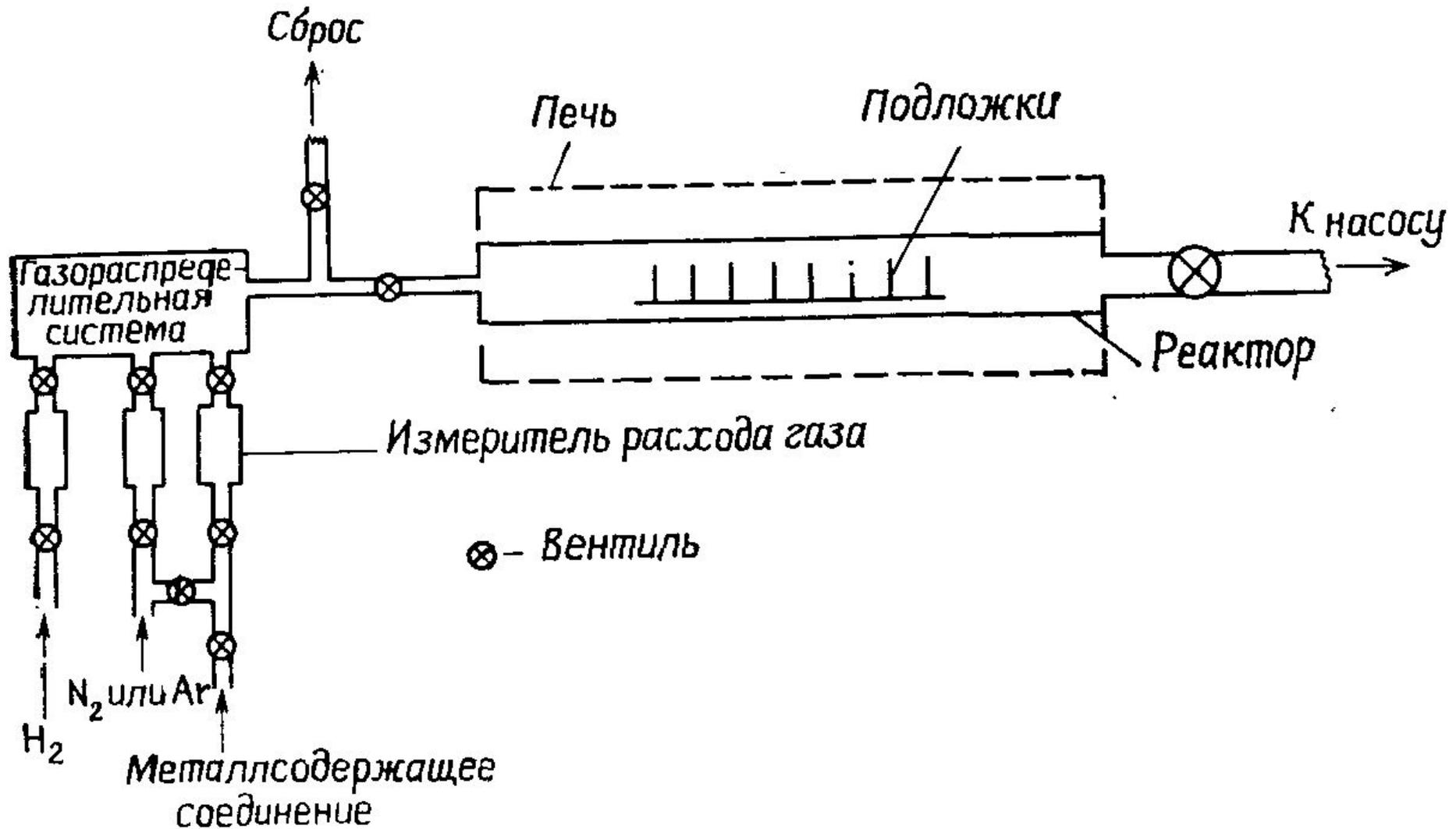


Схема реактора для нанесения металлов ХОГФ



Параметры процесса осаждения металлов ХОГФ

Температура процесса (60 – 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.**

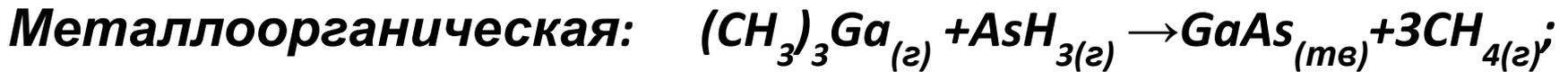
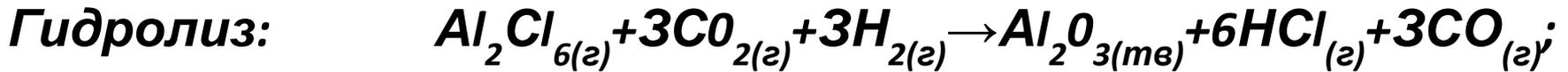
Недостатки:

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

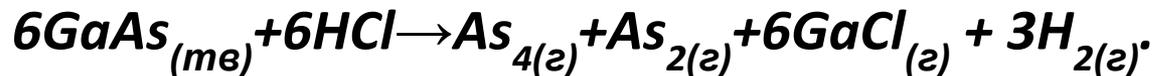
Функциональные слои в технологии ИИЭ, получаемых ХОГФ

Подзатворный диэлектрик	Изоляция	Пассивация	Конденсаторный диэлектрик	Маскирующий слой	Затвор и межсоединения
SiO_2 Si_3N_4	SiO_2 ФСС БФСС АСС БСС	SiO_2 Si_xN_y ПКЛК Al_2O_3 $Si_xN_yH_z$	SiO_2 Si_3N_4 Al_2O_3 TiO_2 Ta_2O_5	SiO_2 Si_3N_4	ПК, ПКЛФ, силициды ТПМ, ТПМ

Типы химических реакций при ХОГФ



Химический перенос:



Основные реакции, используемые при ХОГФ

Материал пленки	Реагенты	Температура осаждения, °С
SiO_2	$SiH_4 + CO_2 + H_2$	850 – 950
	$SiCl_2H_2 + N_2O$	850 – 950
	$SiH_4 + N_2O$	750 – 850
	$SiH_4 + NO$	650 – 750
	$Si(OC_2H_5)_4$	650 – 750
	$SiH_4 + O_2$	400 – 450
Si_3N_4	$SiH_4 + NH_3$	700 – 900
	$SiCl_2H_2 + NH_3$	650 – 750
ПХ нитрид	$SiH_4 + NH_3$	200 – 350
	$SiH_4 + N_2$	200 – 350
ПХ оксид	$SiH_4 + NO$	200 – 350
Поликремний	SiH_4	600 – 650

Схема реактора с горячими стенками для ХОГФ при пониженном давлении

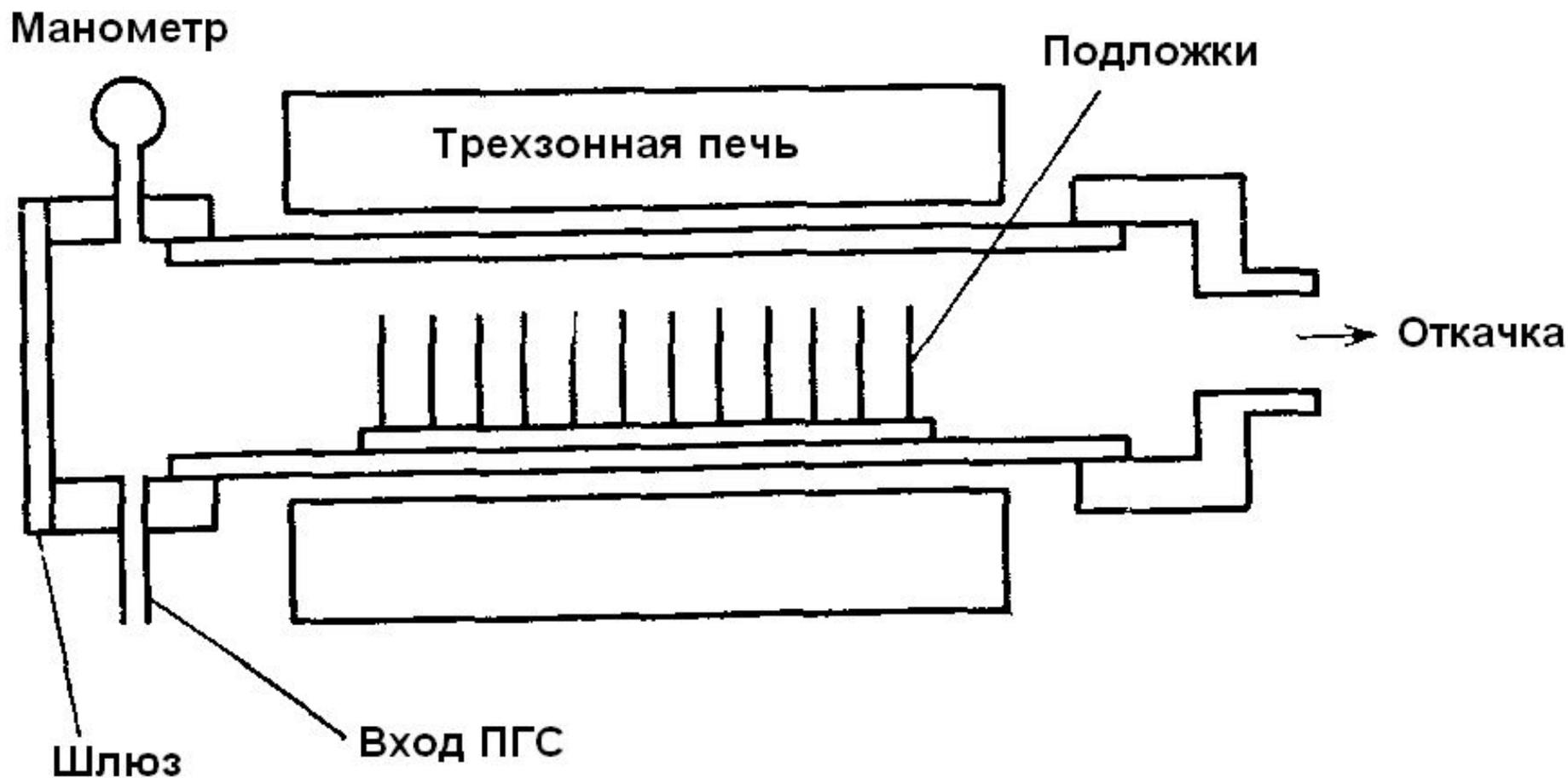
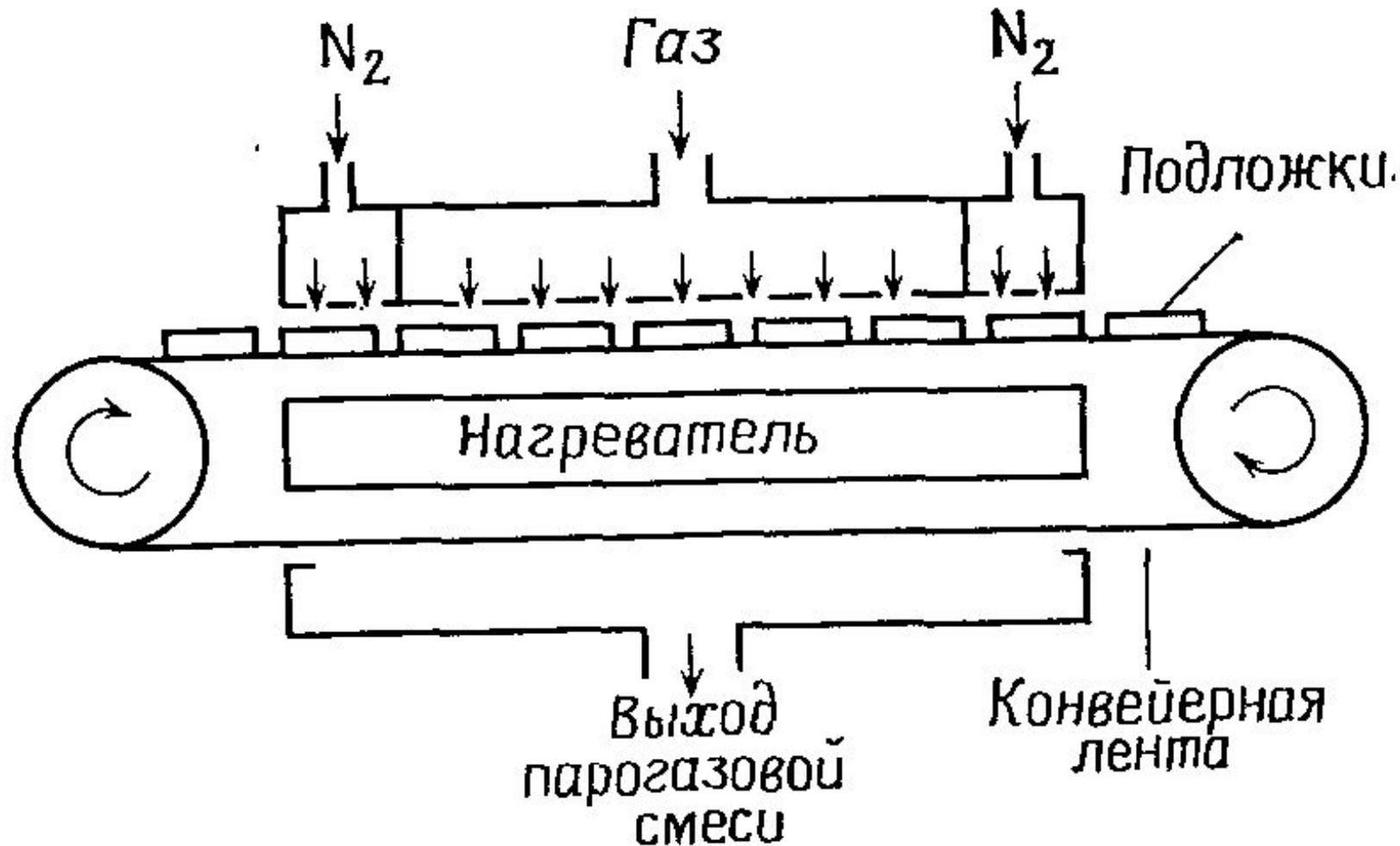
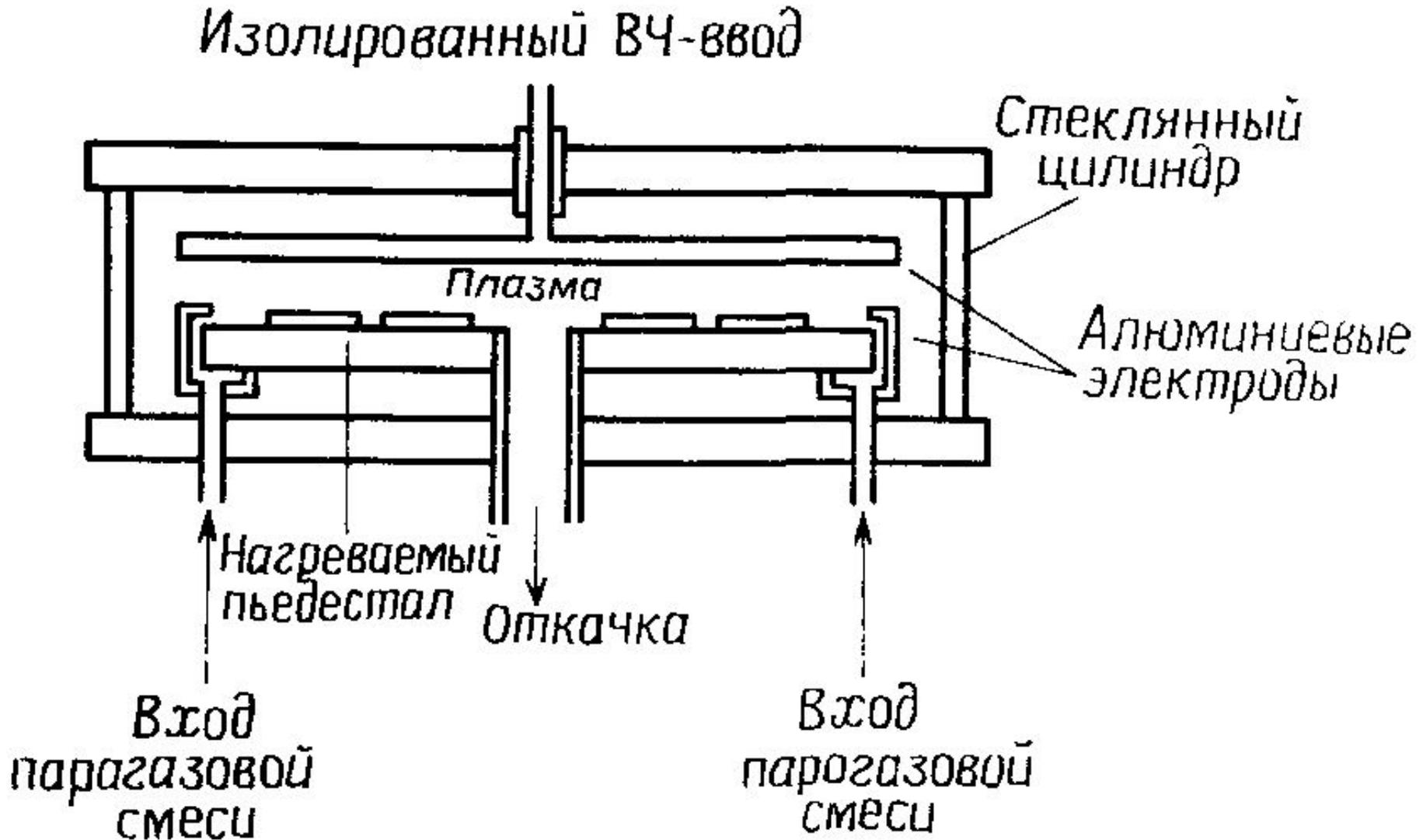


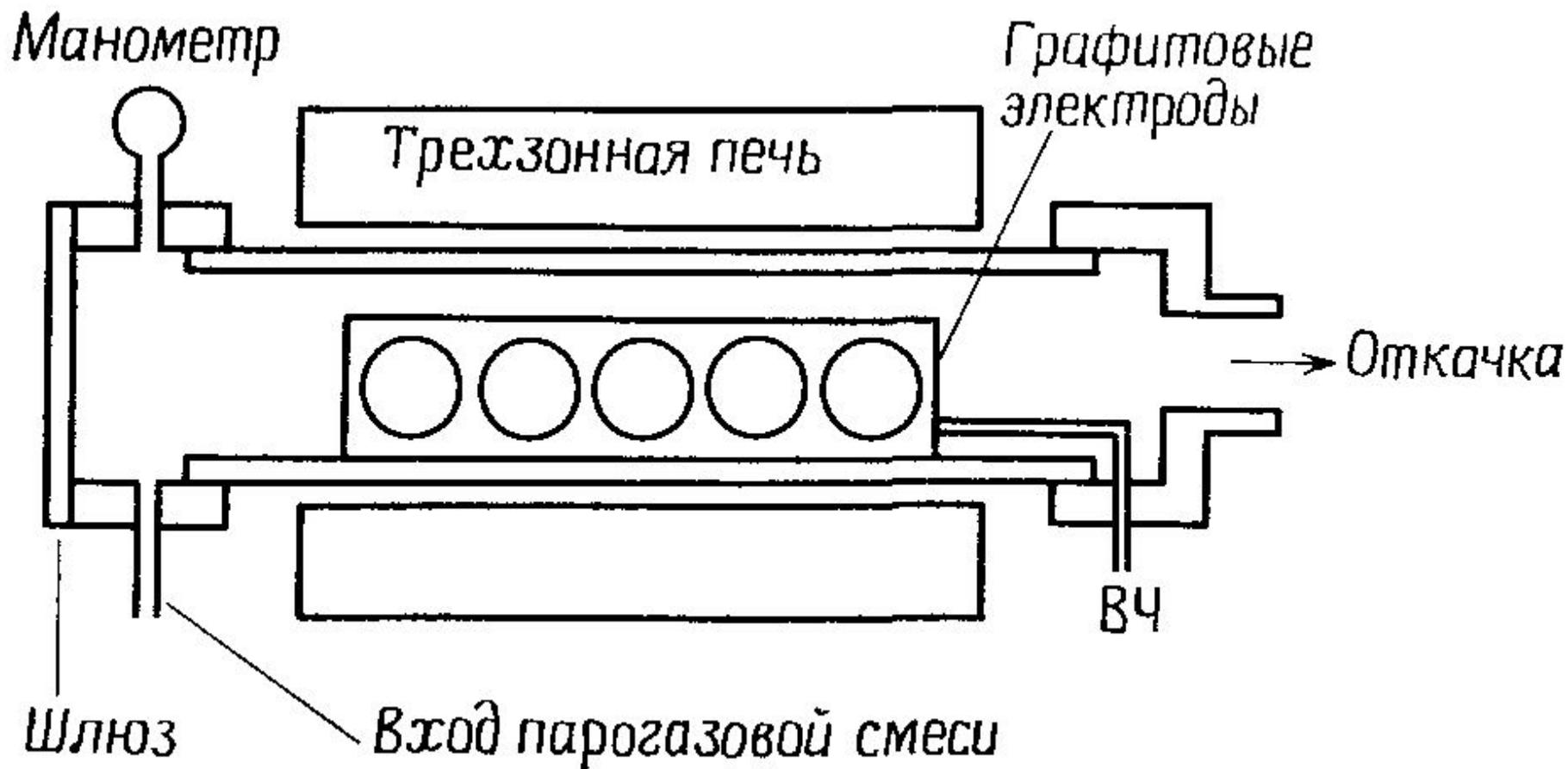
Схема реактора непрерывного действия для ХОГФ при



Реактор плазмохимического осаждения с параллельными электродами



Реактор для плазмохимического осаждения с горячими стенками



Достоинства метода ХОГФ

- однородность покрытия;***
- хорошая управляемость составом и структурой плёнок;***
- низкая температура процесса;***
- высокая скорость осаждения;***
- высокая производительность и низкая себестоимость процесса.***