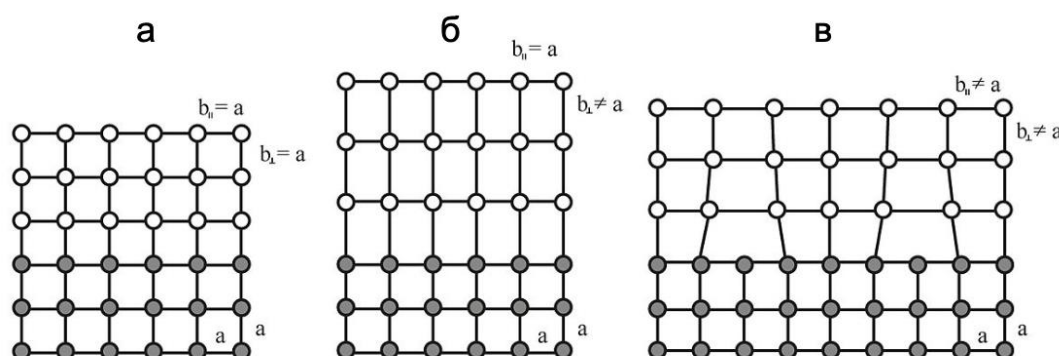


## Эпитаксия

**Эпитаксия** - это процесс ориентированного выращивания монокристаллических слоёв с контролируемой степенью легирования и кристаллической структурой, полностью повторяющей ориентацию подложки.

В технологии полупроводниковых приборов и интегральных схем эпитаксия используется для создания высоколегированных слоёв на слабо легированных подложках или подложках другого типа проводимости.

**При эпитаксии** кристаллическая решетка растущего слоя должна полностью повторять структуру подложки.



Если подложка и слой состоят из одного вещества, то процесс называют **гомоэпитаксиальным** (а), если из различных — **гетероэпитаксиальным** (б, в).

Еще существует хемоэпитаксия.

**Это** процесс **ориентированного** наращивания вещества, в результате которого образование новой фазы происходит при химическом взаимодействии вещества подложки с веществом, поступающим из внешней среды. При этом формирующийся хемоэпитаксиальный слой отличается по составу как от вещества подложки так и от вещества поступающего на ее поверхность.

## **Основные виды эпитаксии**

- 1) **Газофазная эпитаксия**
- 2) **Жидкофазная эпитаксия**
- 3) **Молекулярно-лучевая эпитаксия**

## Газофазная эпитаксия

При выращивании пленок методом *газофазной эпитаксии* атомы вещества переносятся в составе химического соединения, которое диссоциирует на подложке.

Процесс проводится при атмосферном или пониженном давлении в специальных реакторах вертикального или горизонтального типа.

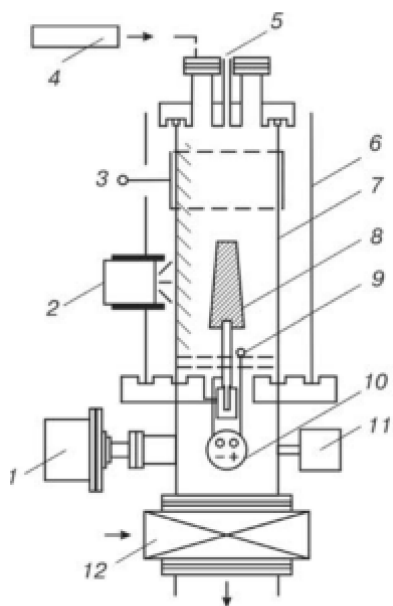


Рис. 3.55. Схема реактора для выращивания эпитаксиальных пленок кремния

1 — масс-спектрометр; 2 — галогенные лампы; 3 — ВЧ-электрод; 4 — оптический пирометр; 5 — канал напуска газа; 6 — экран; 7 — кварцевая трубка; 8 — подставка для крепления пластин; 9 — заземленный электрод; 10 — подача напряжения смещения; 11 — датчик давления; 12 — вакуумный затвор

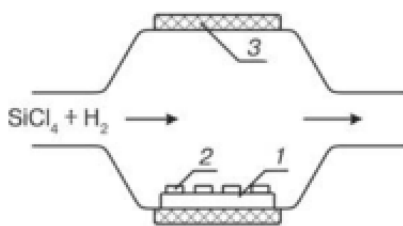


Рис. 3.54. Схема эпитаксии полупроводников из газовой фазы [43. С. 31]:

1 — держатель подложек; 2 — подложки; 3 — нагреватель

**Основной принцип газовой** эпитаксии заключается в транспортировании компоненты пленки, которую получили, в состоянии паров из летучих соединений в специальный реактор, где производится на подложке дальнейшие операции по разложению паров и происходит образование пленки с необходимым составом. Таким образом, в ходе химического осаждения, появляется возможность получения твердых и высокочистых материалов.

Достаточно к широко распространенным способам относится химическое осаждение с применением металлоорганических соединений, его называют методом создания материала способом разложения данных соединений термически. Различают два способа осаждения из газовой фазы при атмосферном давлении (APCVD), пониженном давлении (LPCVD) и низком давлении  $< 10^{-6}$  Па (UHVCVD). Низкое давление значительно уменьшает вероятность возникновения нежелательных реакций, а также способствуют значительно более равномерному распределению осаждения пленки на подложке при сниженных температурах.

## Жидкофазная эпитаксия

*Жидкофазная эпитаксия* заключается в выращивании монокристаллического слоя из металлического расплава, насыщенного полупроводниковым материалом, рекристаллизующимся на поверхности подложки.

**К металлу, выполняющему роль растворителя предъявляются такие требования:**

- невысокая температура плавления;
- низкая растворимость в полупроводниковом материале;
- незначительное влияние его на свойства полупроводникового материала

Рост происходит при термическом равновесии подложки с раствором, вследствие перенасыщения раствора.

В качестве растворителя используют легкоплавкий компонент выращиваемого соединения, что снижает температуру кристаллизации, повышает чистоту выращиваемого слоя и снижает концентрацию вакансий.

Совершенствование реакторов для жидкостной эпитаксии осуществляется путем пропускания тока через выращиваемый граничный слой, при этом температура системы поддерживается постоянной.

Подобным образом выращиваются слои InSb, GaAs, InP, и т.д.

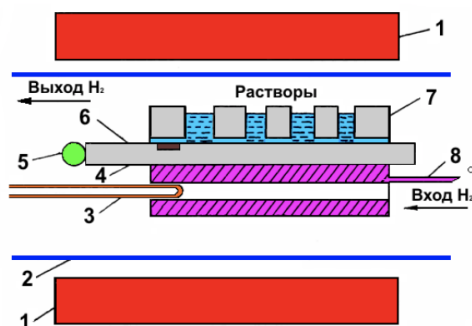
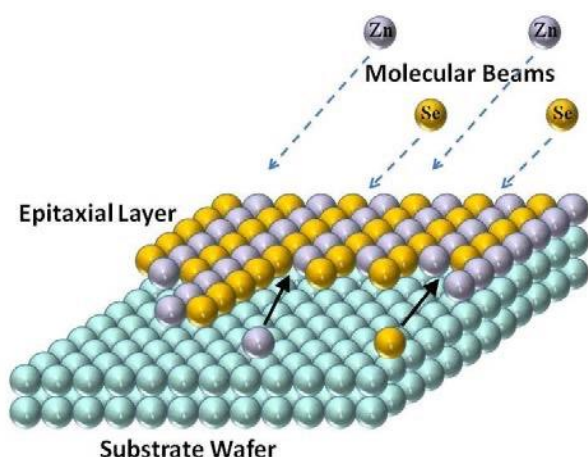


Схема жидкофазной эпитаксии:

- 1 – электрическая печь,
- 2 – кварцевая труба,
- 3 – термопара,
- 4 – подложка,
- 5 – ограничитель,
- 6 – основной графитовый держатель,
- 7 – графитовый скользящий держатель раствора,
- 8 – толкатель

## Молекулярно-лучевая эпитаксия



Молекулярно-лучевая эпитаксия основана на взаимодействии нескольких молекулярных пучков различной плотности и химического состава с нагретой монокристаллической подложкой и осаждении на ней элементарных компонентов.

**Для качественной молекулярно-лучевой эпитаксии требуется соблюдение следующих условий:**

- поддержание в рабочей камере устройства сверхвысокого вакуума;
- осаждаемые вещества должны иметь чистоту 99,999999%
- необходимость в молекулярном источнике с регулировкой плотности потока материала.

В сверхвысоком вакууме создаются молекулярные пучки с помощью эффузионных ячеек, температура которых тщательно контролируется, как правило, с помощью компьютера. Интенсивности пучков определяются температурами эффузионных ячеек.

Выбирая должным образом температуры подложки и ячеек, получают эпитаксиальные пленки требуемого химического состава.

С помощью заслонок можно быстро изменять потоки различных веществ, создавая резкие профили состава и легирования. Однородность состава пленки и ее кристаллическая структура определяется однородностью распределения молекулярных пучков по площади подложки.

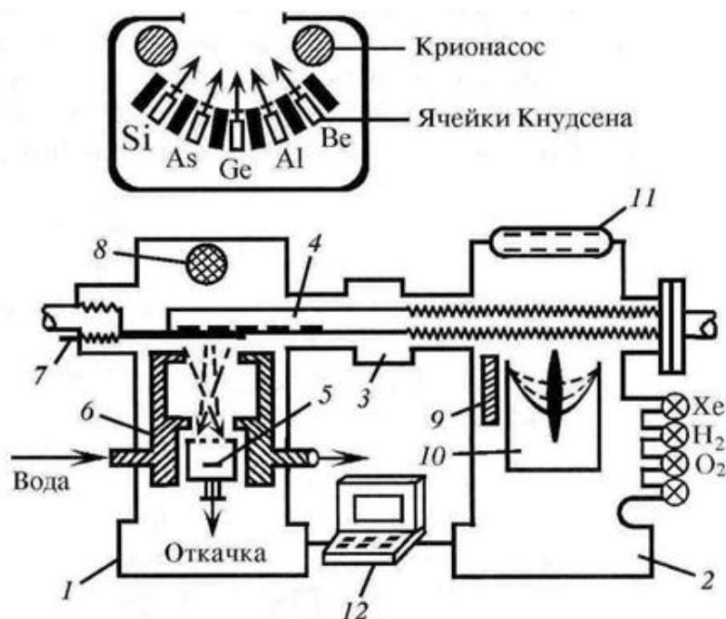


Рис. 3.3. Схема установки молекулярно-лучевой эпитаксии: 1 — камера роста; 2 — камера анализа; 3 — вакуумный клапан; 4 — держатель подложки; 5 — испарители; 6 — охлаждаемые экраны; 7 — заслонка; 8 — квадрупольный масс-спектрометр; 9 — ионная пушка; 10 — дифрактометр медленных электронов и оже-спектрометр; 11 — окно; 12 — компьютер

### Достоинства метода МЛЭ:

1. возможность оперативного контроля и управления стехиометрией состава структур;
2. обеспечение формирования весьма однородных по составу и свойствам пленок практически любой толщины с заданным профилем легирования;
3. исключительные возможности для автоматизации всего процесса напыления с помощью встроенной микро-ЭВМ.

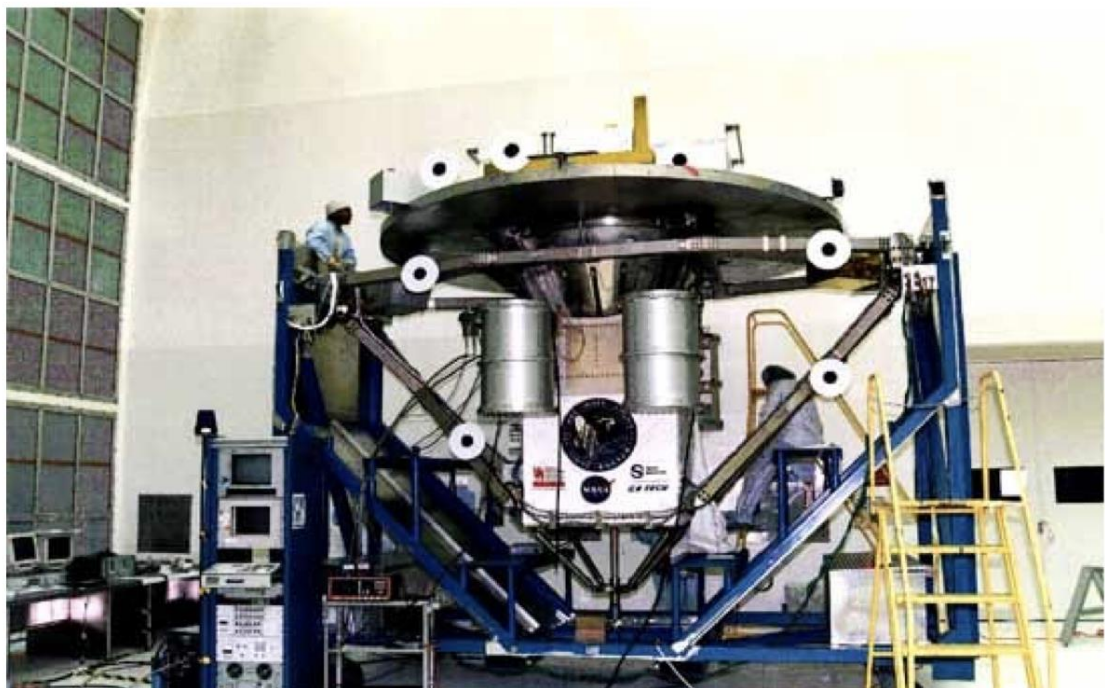
### Применение метода молекулярно-лучевой эпитаксии для получения тонких пленок и многослойных структур в космическом пространстве.

Основные факторы космического пространства, влияющие на процесс МЛЭ:

1. глубокий вакуум и практически полное отсутствие  $O_2$  и углеродсодержащих компонент в технологической зоне.



2. близкие к предельным скорость и производительность откачки компонент рабочего молекулярного пучка
3. практически полное отсутствие стенок рабочей камеры и возможность существенного уменьшения суммарной поверхности элементов технологической оснастки в зоне роста
4. возможность значительного увеличения расстояния от подложки до источника молекулярного пучка
5. улучшение стабильности условий роста за счет ослабления возмущающего действия гравитации позволяет улучшить однородность электрофизических параметров;
6. возможность использования токсичных летучих жидкостей и газов в качестве исходных материалов для синтеза плёнок без загрязнения окружающей среды.



Космический аппарат WSF для проведения экспериментов по МЛЭ в космосе