



**ФИЗИКА  
МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ  
ПРИБОРОВ**

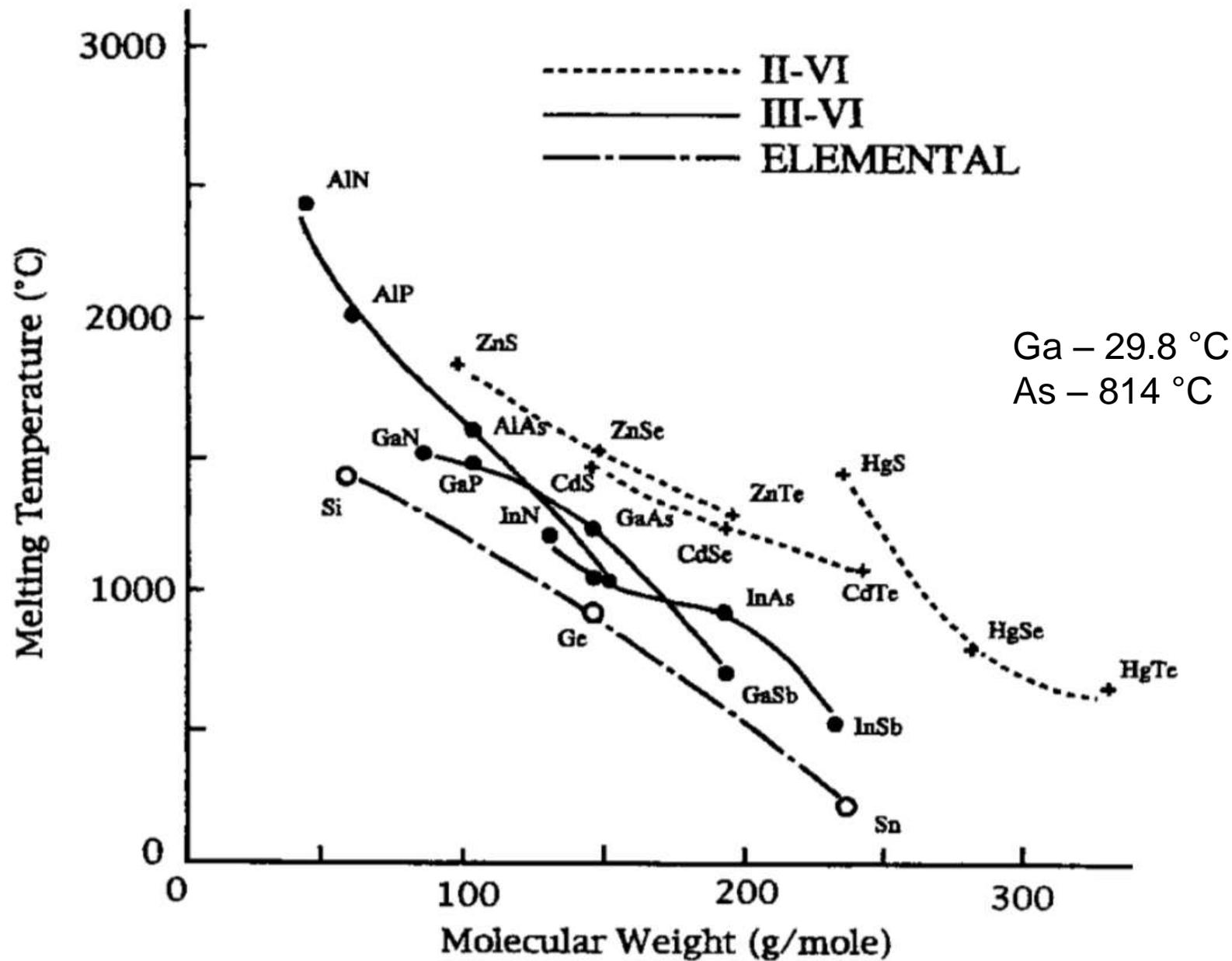
**III-V**

**2.**



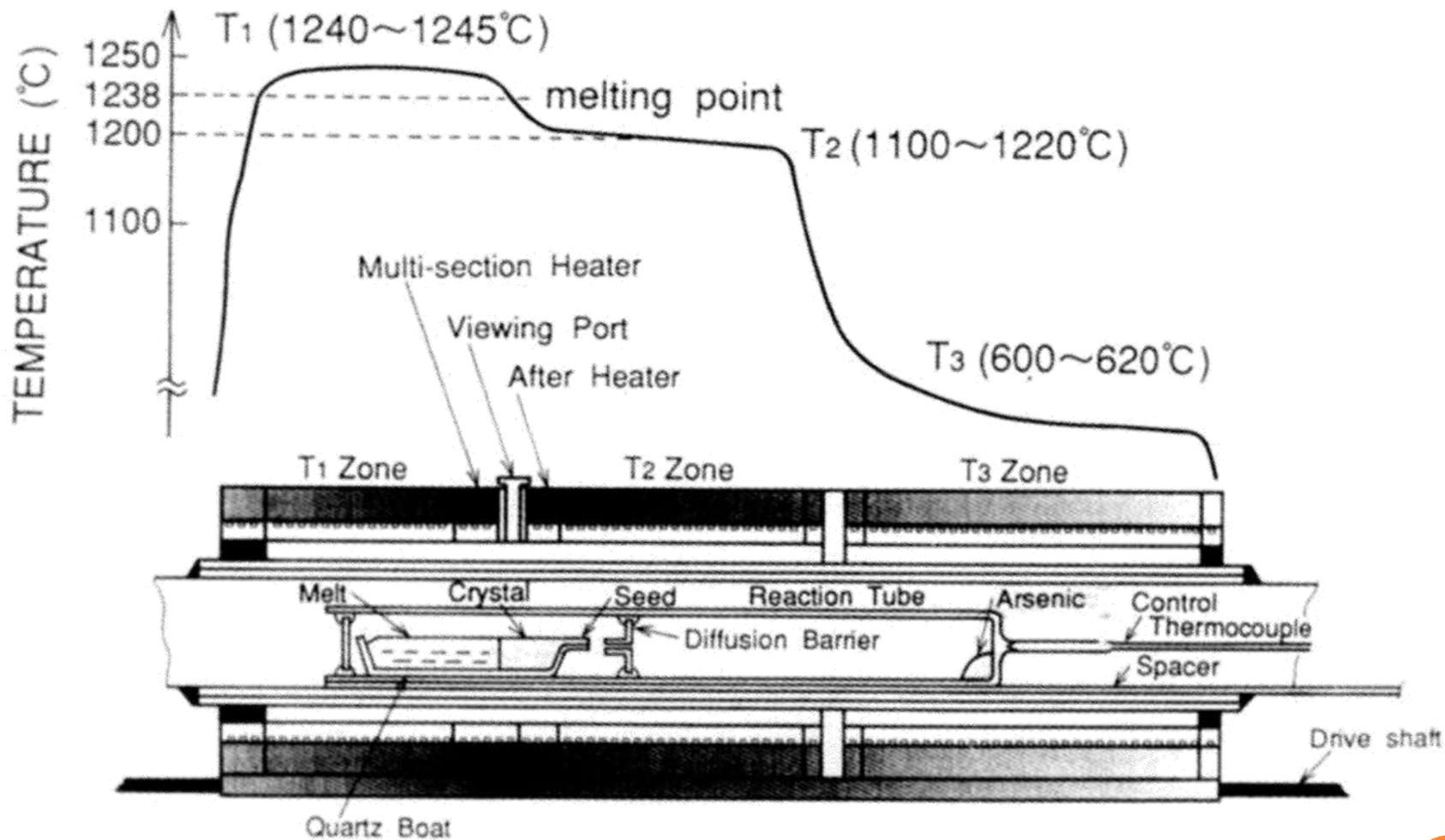
Общие сведения о технологии производства  $A^3B^5$  устройств.

# Что в чём плавить?



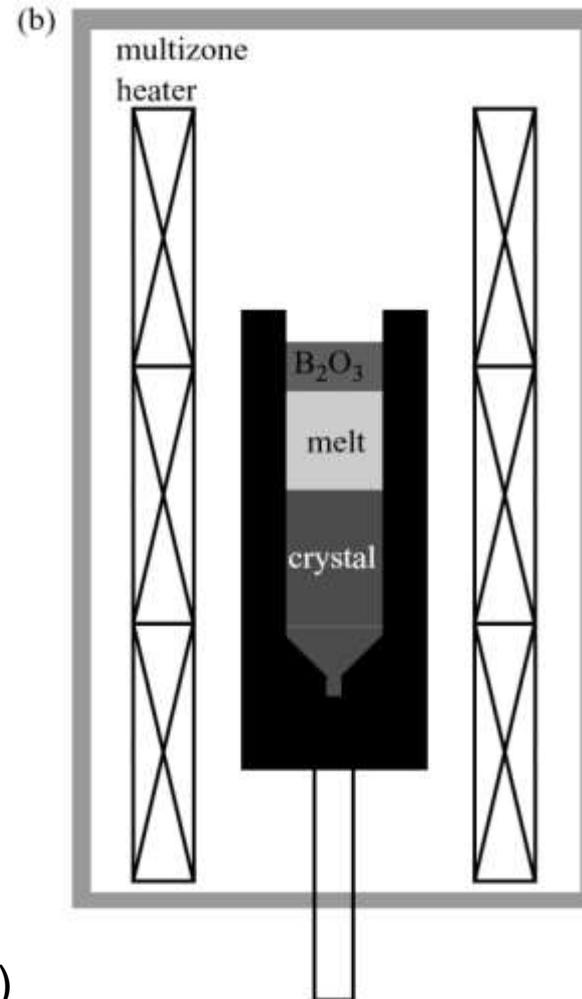
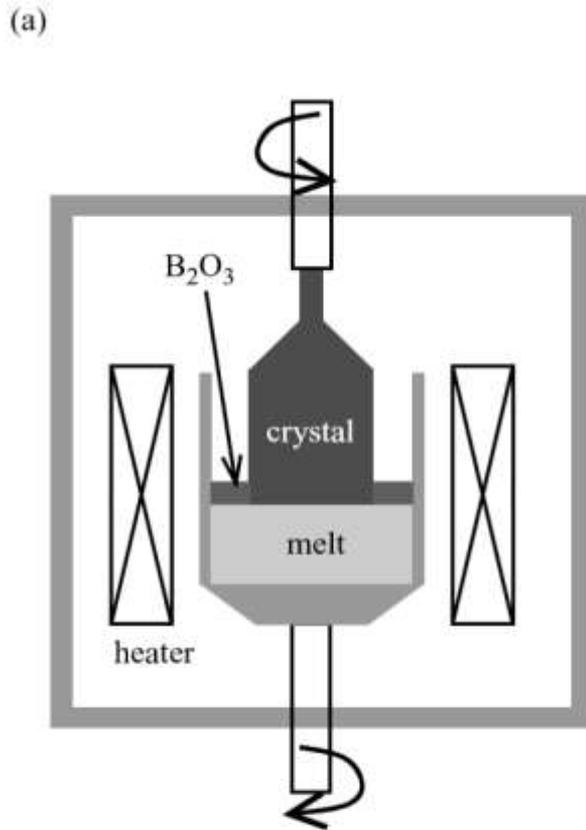
# Архаичные способы выращивания

GaAs



# Традиционные способы выращивания

GaAs  
GaP  
GaSb  
InP  
InAs

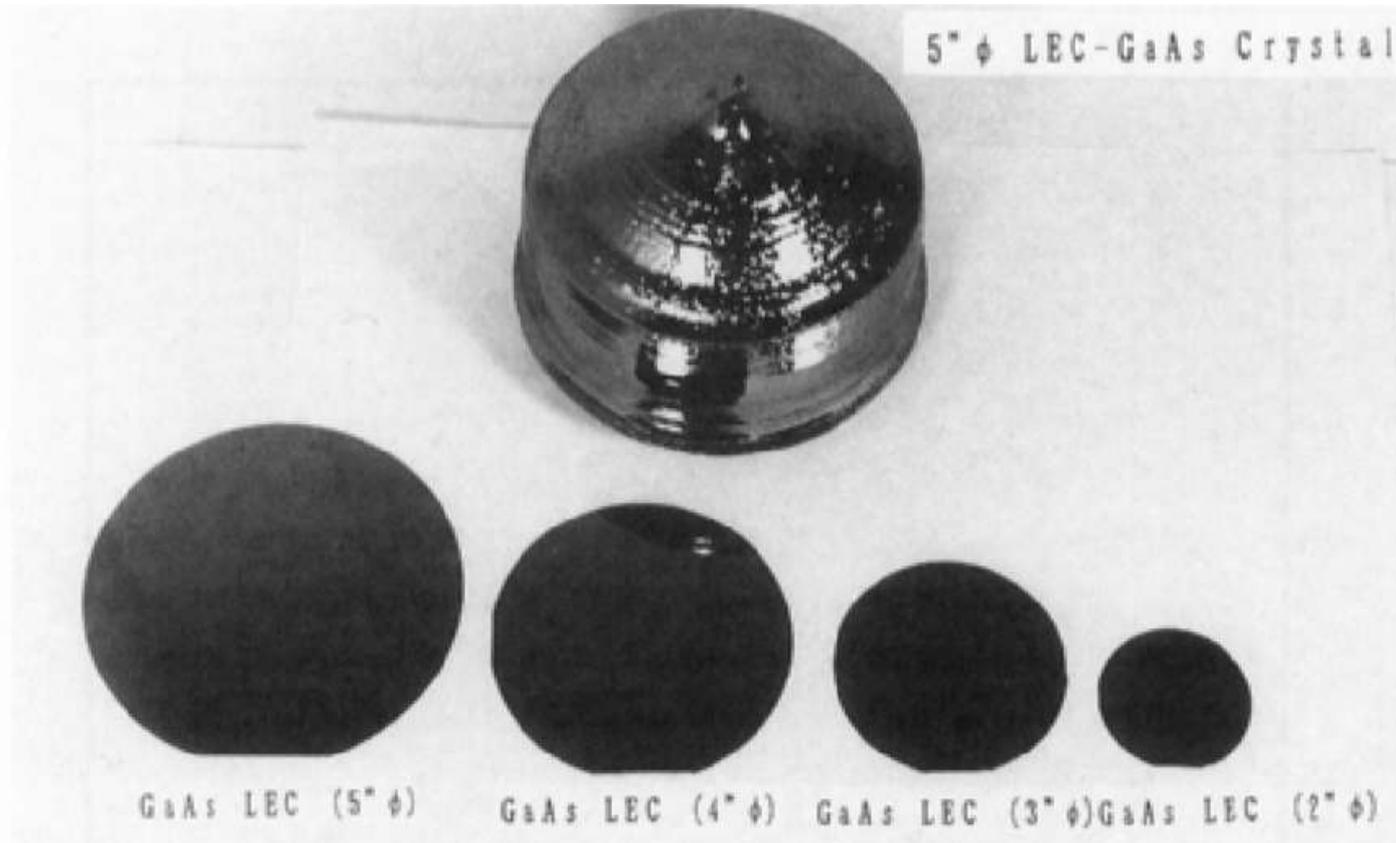


GaAs  
GaP  
InP

- a) LEC (liquid encapsulated Czochralski)  
b) VGF (vertical gradient freezing, либо 'vertical Bridgman')

Для чистого GaAs –  $10^7$  Ом·см, скорость вытягивания 0.1 мм/ч  
в 2003 г. макс. диаметр пластин 150 мм.

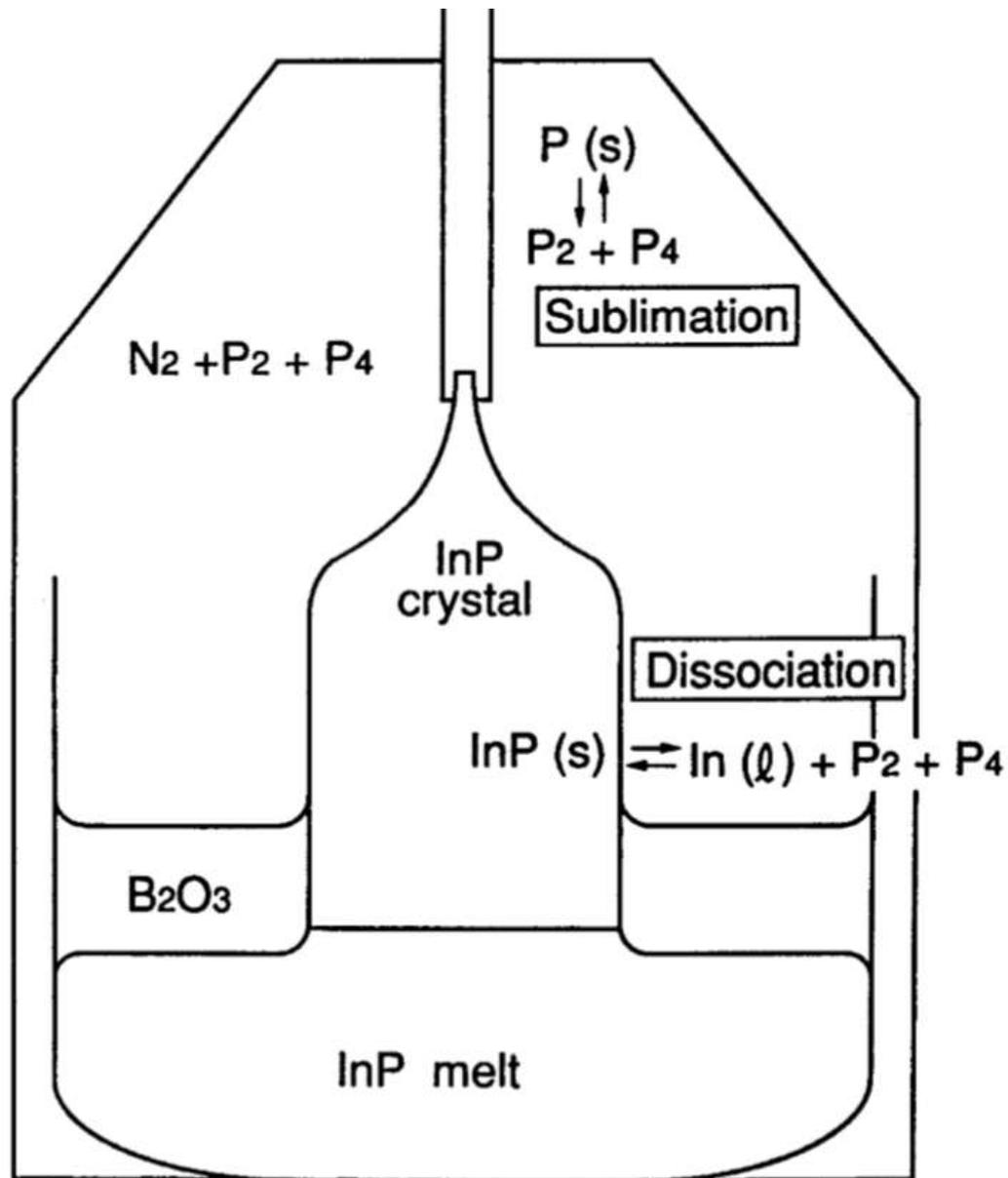
## Традиционные способы выращивания



Проблемы при выращивании GaAs:

- 1) разлагается при нагреве (требуется выбор точного давления паров As)
- 2) идут реакции с материалом тигля (если кварц)
- 3) при затвердевании GaAs расширяется
- 4) Ge токсичен, As, а тем более - арсин ядовит

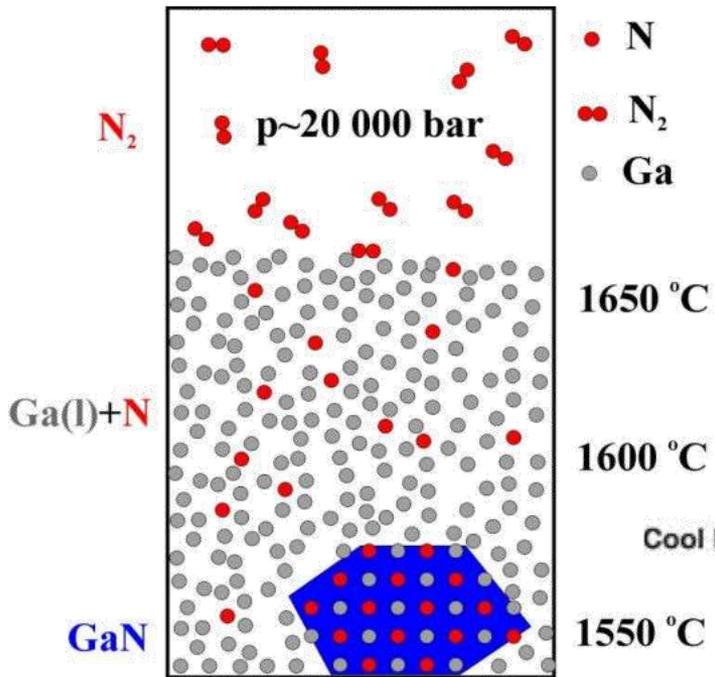
# Традиционные способы выращивания



InP

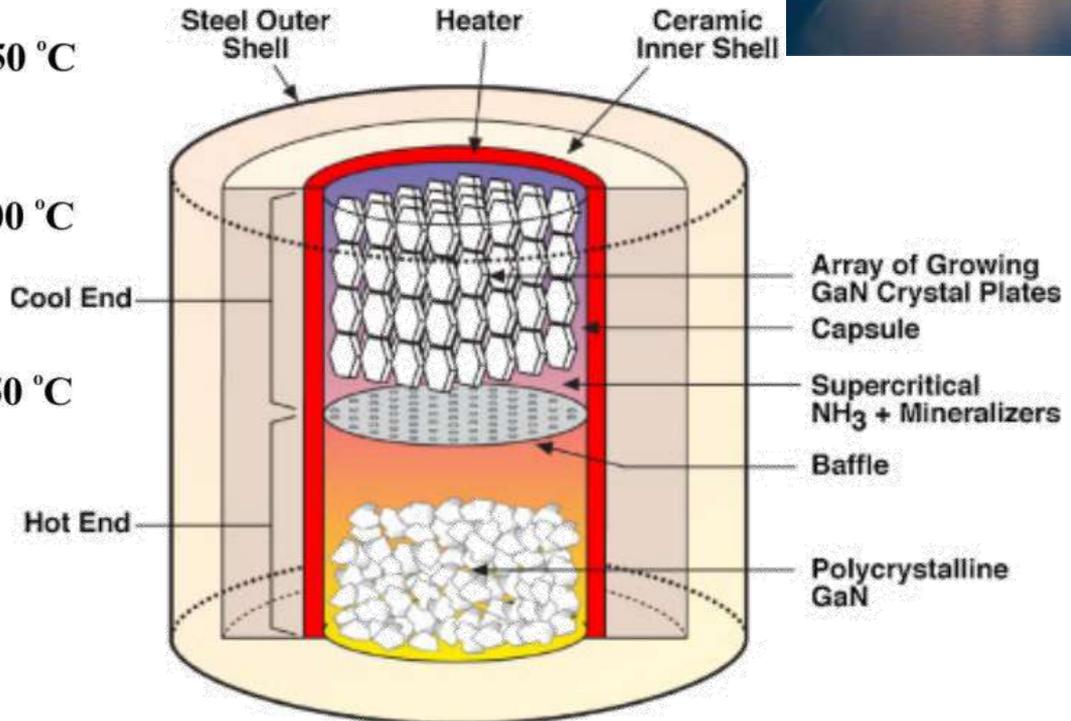
VCZ (Vapor Pressure Controlled Czochralski)

# Современные способы выращивания



Growth rate 5-10  $\mu\text{m/hr}$

GaN



1. Выращивание из растворов-расплавов азота в Ga под давлением
2. Аммонотермальный синтез (сублимация в аммиаке) GaN

# Современные способы выращивания: МВЕ

## Молекулярно-лучевая эпитаксия (molecular-beam epitaxy)

III-V камера  
для 200-мм пластин:

Основные материалы: Ga, In, (Al), As, Ge

Легирующие материалы: Si, Be, CBr<sub>4</sub>

Оксидная камера:

Выращиваются: Ga, Gd, Hf, Al, La, Ti, Ta, Si  
O<sub>2</sub> и N<sub>2</sub> плазма.

Камера предварительной очистки:

H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>Se.

H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> плазма.

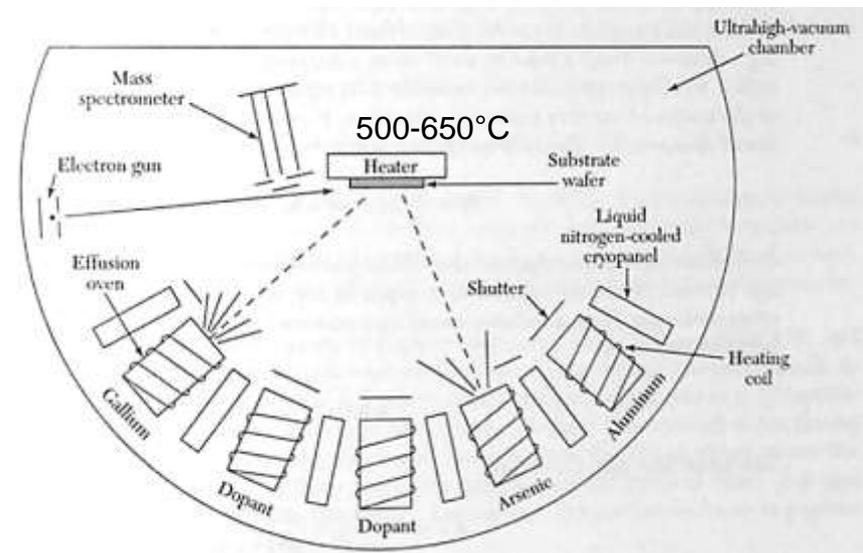
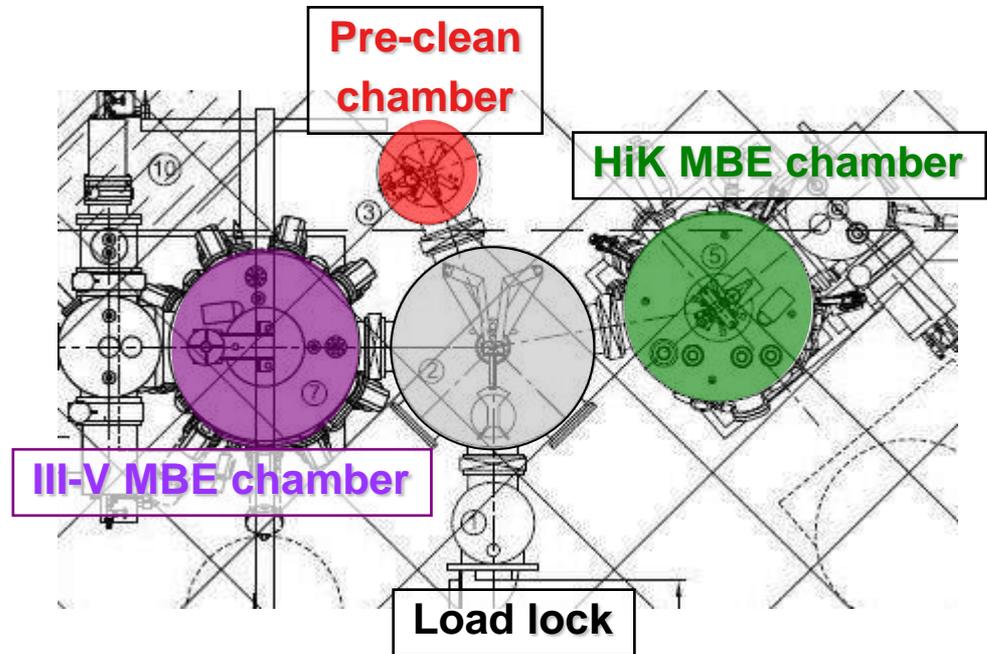
Термический отжиг вплоть до 750°C.

Контроль:

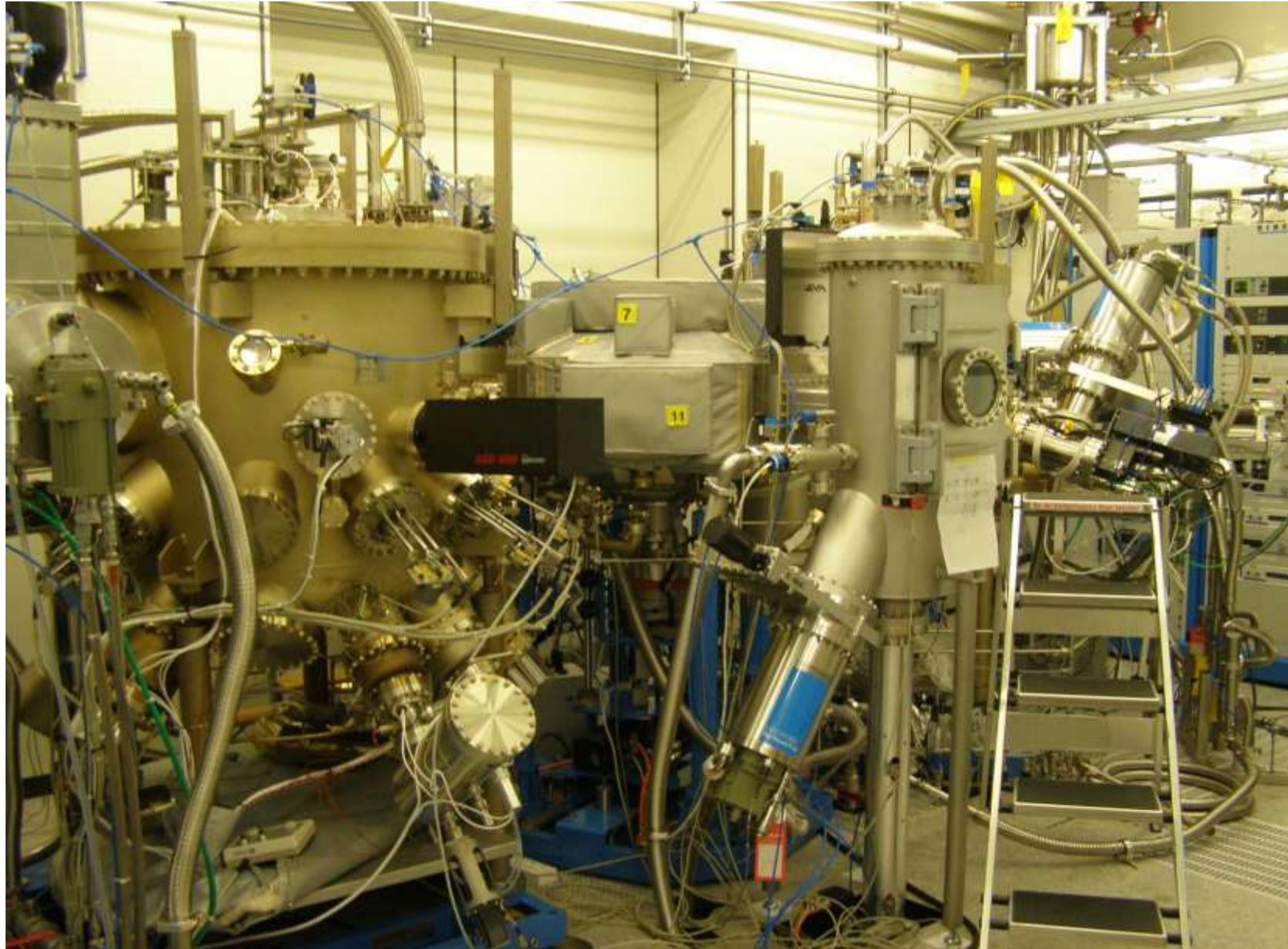
RHEED (метод дифракции отражённых быстрых электронов).

масс-спектрометр

счётчики ионов



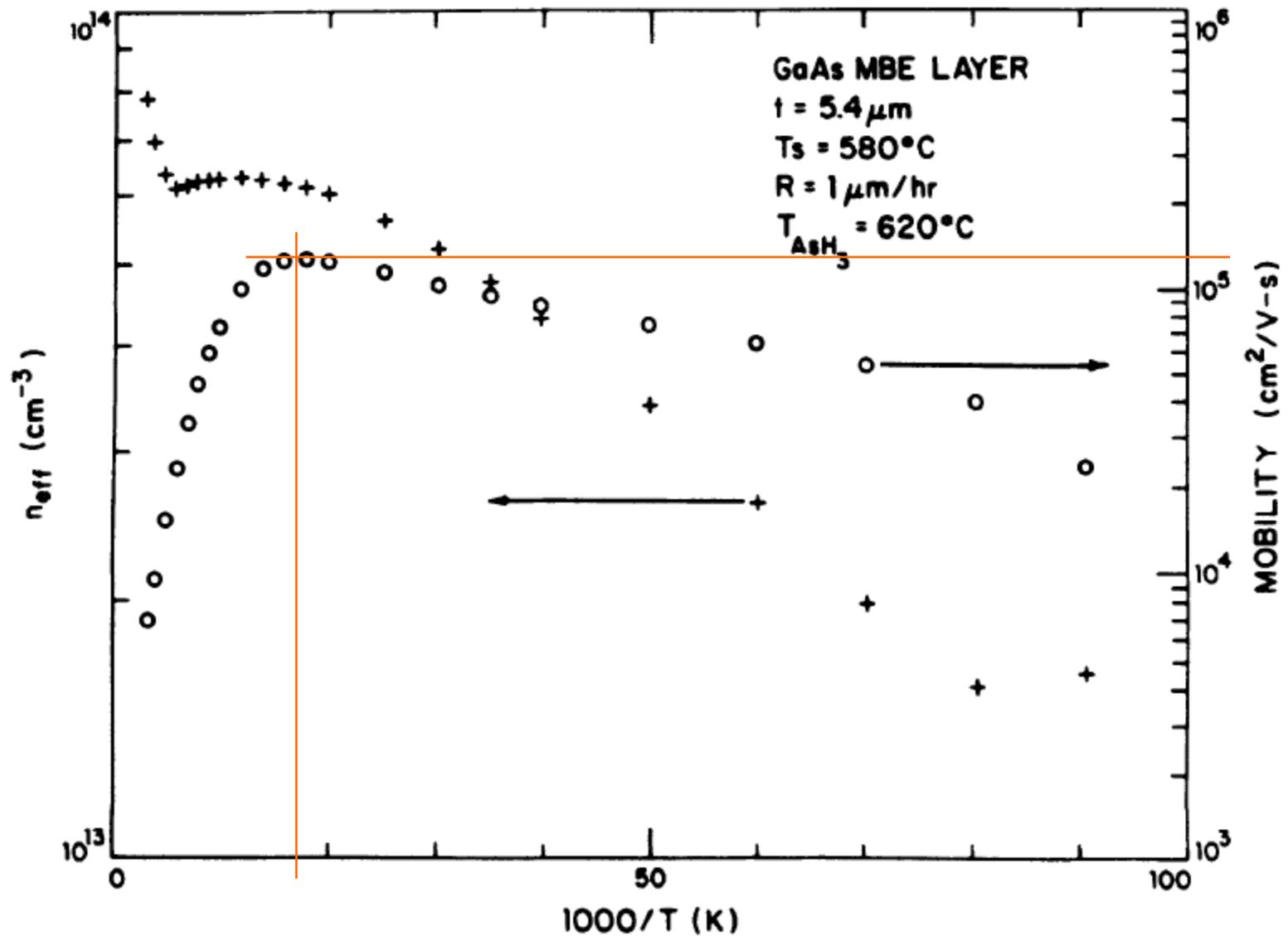
# Современные способы выращивания: МВЕ



## Современные способы выращивания: МВЕ



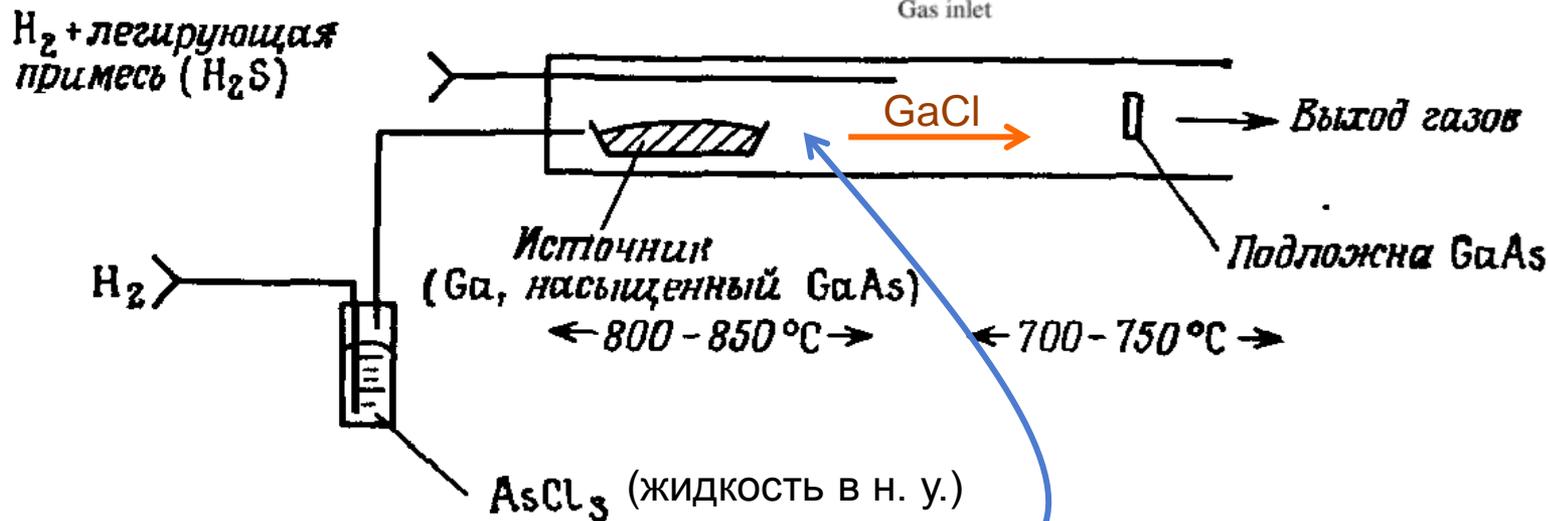
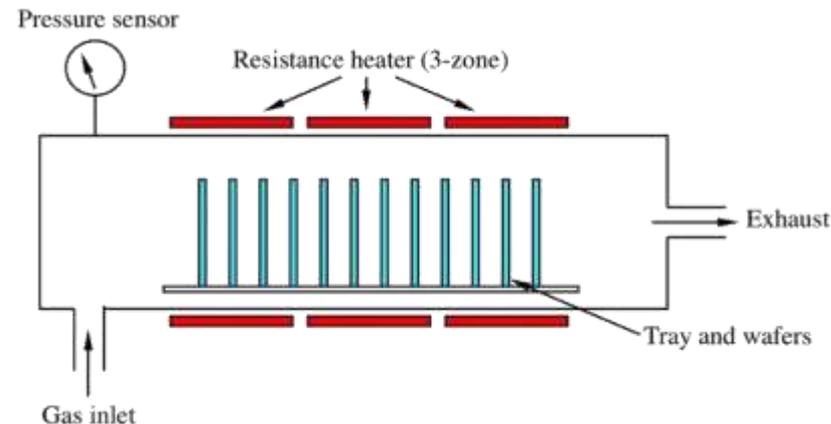
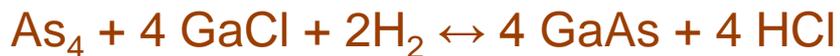
# Современные способы выращивания: МВЕ



# Современные способы выращивания: CVD

## Химическое осаждение из газовой фазы (chemical vapor deposition)

$$K(T) = \frac{P_{\text{HCl}}^4}{(P_{\text{As}_4} P_{\text{GaCl}}^4 P_{\text{H}_2}^2)}$$

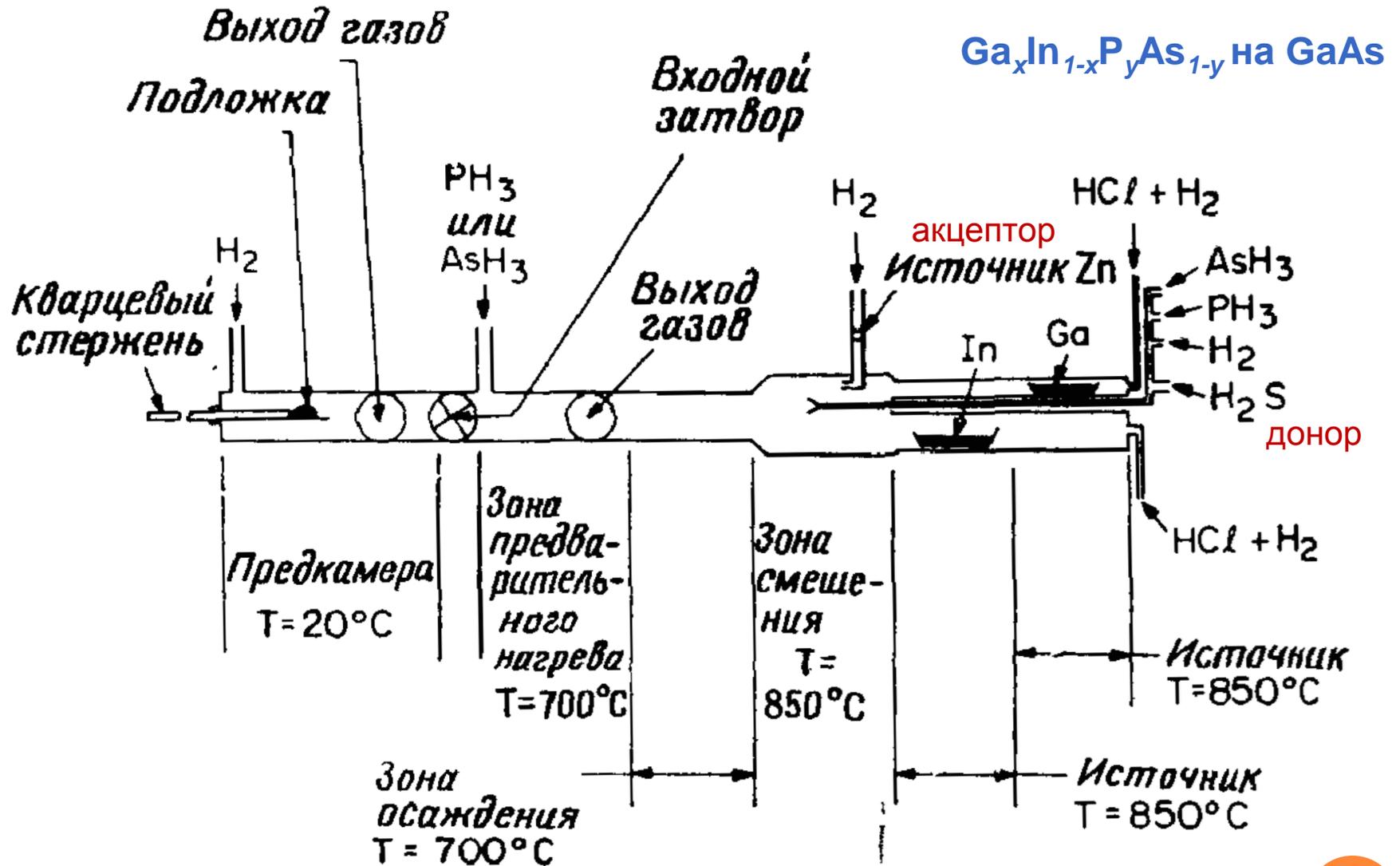


- 1)  $4\text{AsCl}_3 + 6\text{H}_2 \rightarrow \text{As}_4 + 12\text{HCl}$
- 2)  $2\text{Ga} + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{GaCl} + \text{H}_2$
- 3)  $6\text{GaCl} + \text{As}_4 \rightarrow 4\text{GaAs} + 2\text{GaCl}_3$
- 4)  $2\text{GaCl} + \text{As}_2 + \text{H}_2 \rightarrow 2\text{GaAs} + 2\text{HCl}$

### Подложки:

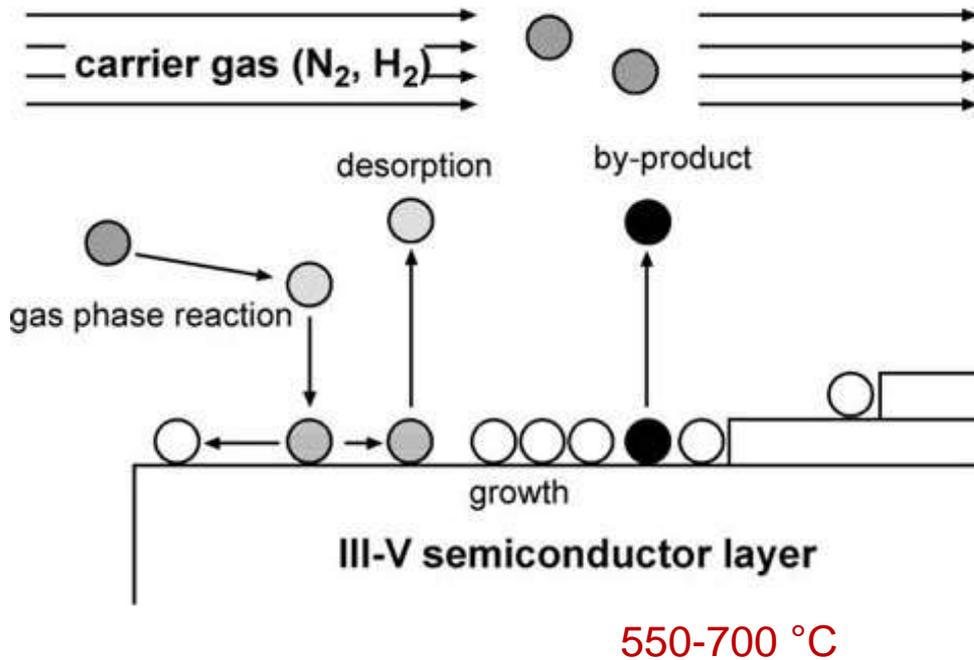
$\text{Al}_2\text{O}_3$   
 $\text{SiC}$   
 $\text{BeO}$

# CVD: выращивание многокомпонентных плёнок



# Современные способы выращивания: МOCVD

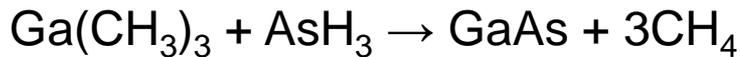
## Осаждение металлорганических соединений из газовой фазы



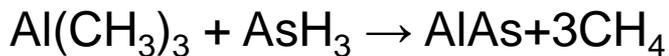
TMGa – триметилгаллий:  
Ga(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub> – источник галлия  
Арсин: AsH<sub>3</sub> – источник мышьяка

скорость осаждения – 0.1 мкм/мин.

главное преимущество метода – возможность выращивания качественных Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As соединений

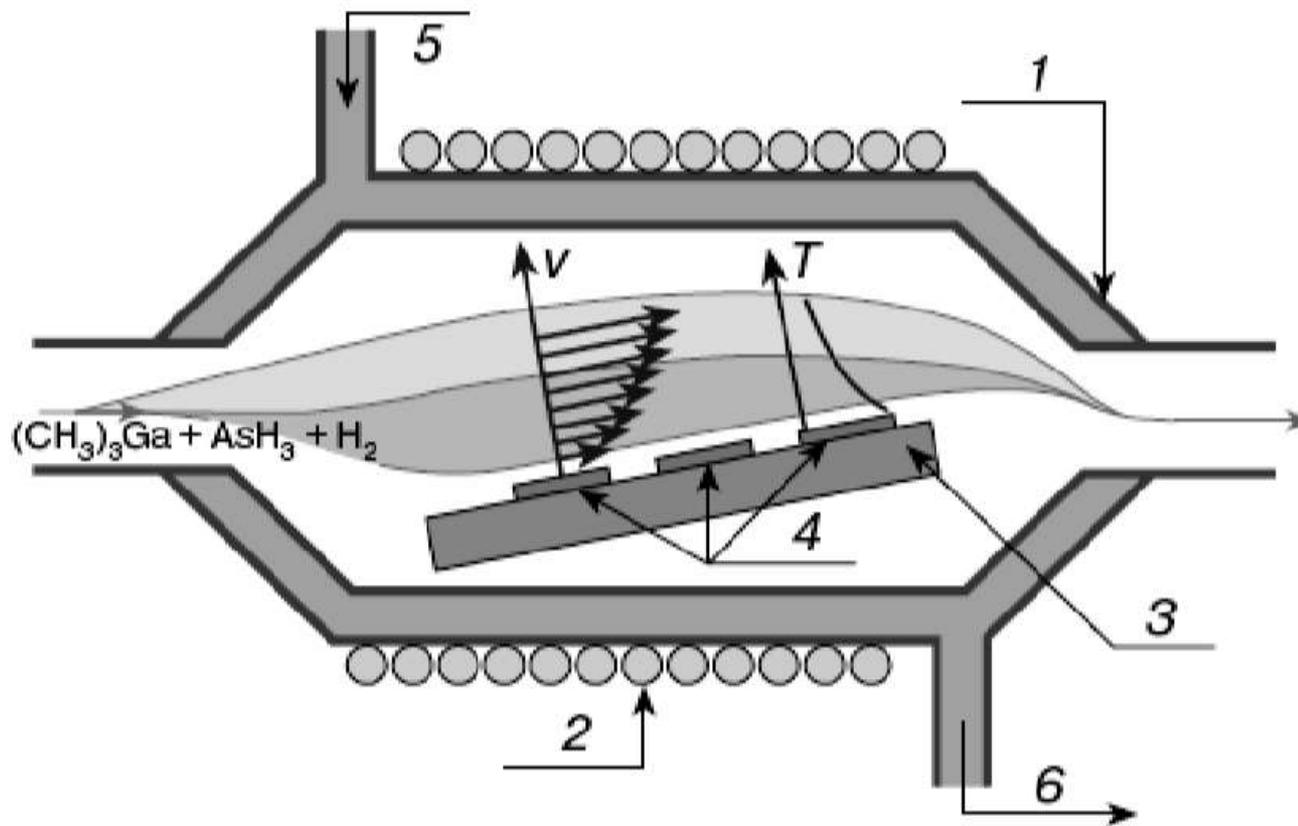


реакция идёт при 700 °C в присутствии водорода



легирование осуществляется введением металлорганических соединений: Zn(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>

## Современные способы выращивания: МOCVD



Горизонтальный реактор открытого типа с охлаждаемыми стенками:

1 – кварцевый корпус

2 – катушка ВЧ-генератора

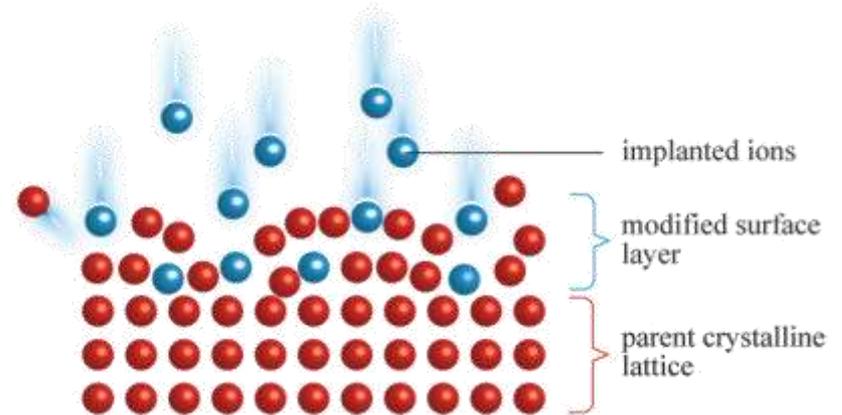
3 – блок с подложками 4

5 – ввод и 6 – вывод водяной рубашки



## Введение примесей: ионная имплантация

- бомбардировка поверхности полупроводника пучком быстрых ионов (или протонов для создания высокоомных областей).  
Уровень легирования и распределение примеси в полупроводнике определяются величиной потока и энергией ионов.



Импантированные ионы в GaAs смещают атомы полупроводника из узлов решетки. Для уменьшения плотности дефектов, возникающих в кристалле, после имплантации необходимо провести отжиг при температуре  $\sim 800$  °C, предварительно напылив на поверхность  $\text{Si}_3\text{N}_4$  либо AlN (для предотвращения улетучивания As при  $T > 600$  °C).



## Подложки для размещения слоёв и элементов III-V:

Материал	4H SiC	AlN	GaN	GaAs	Si
Ширина запрещенной зоны, эВ	3,26	6,2	3,36	1,42	1,12
Теплопроводность, Вт/(см·К)	4,9	3,4	1,3	0,6	1,3
Напряженность поля пробоя, МВ/см	4,9	3,4	1,3	0,6	1,3
Диаметр производимых пластин, мм	75	25	50	150	300
Цена пластин, долл./дюйм <sup>2</sup>	700	> 1000	> 1000	< 10	~1

aspire invent achieve

