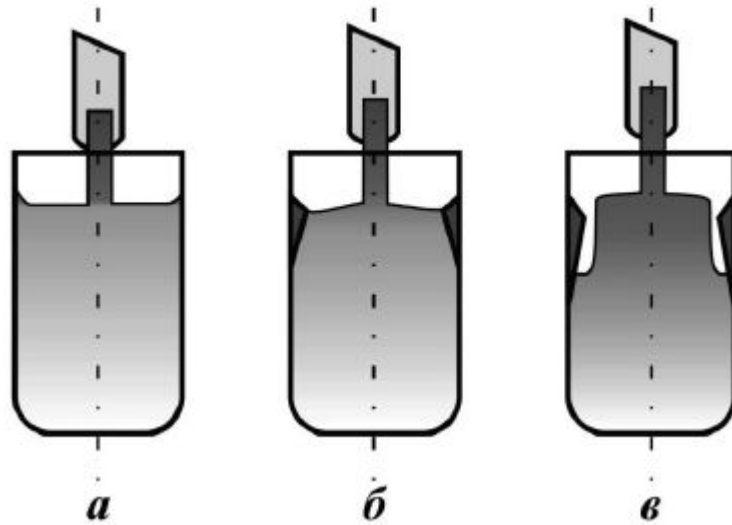
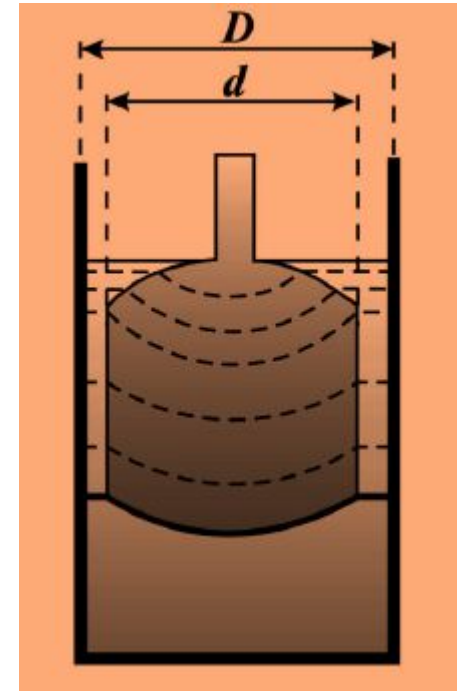
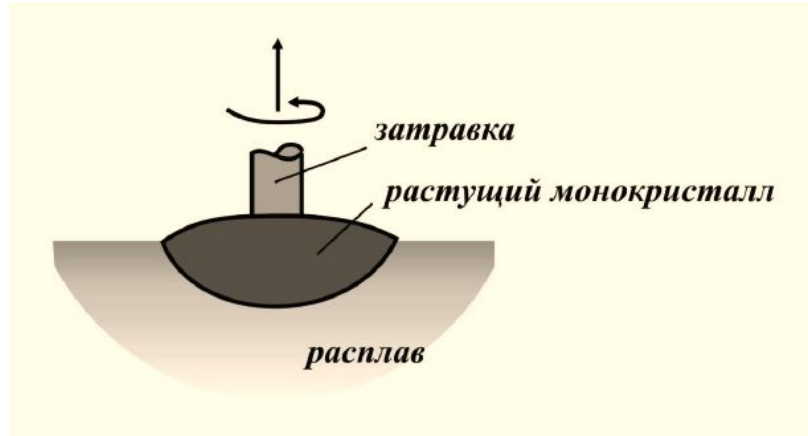
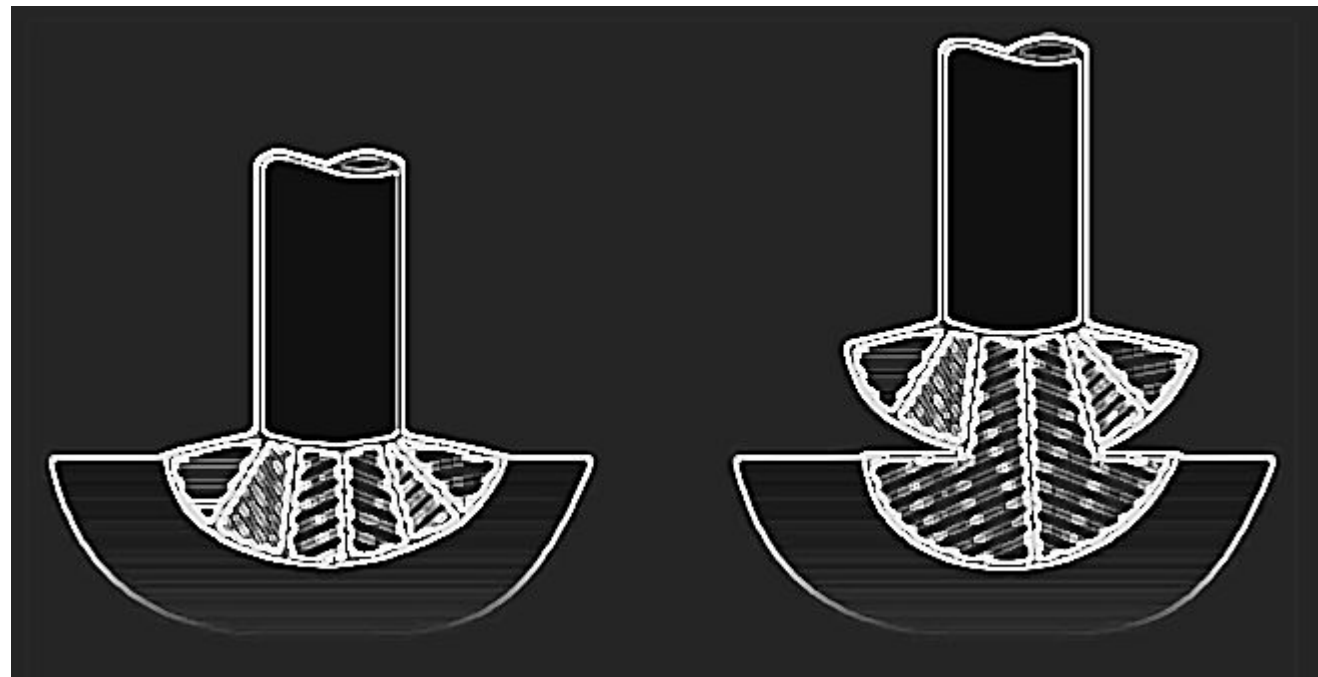


Лекция 7. Методы выращивания кристаллов

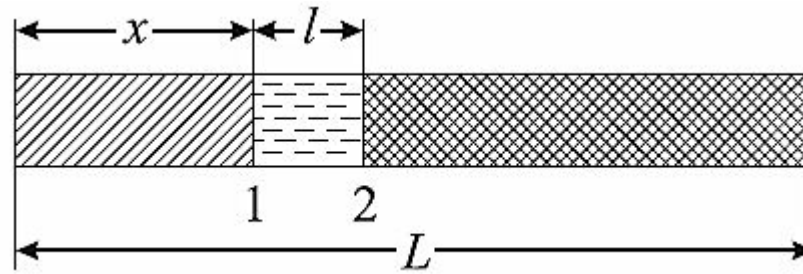
Метод Киропулуса



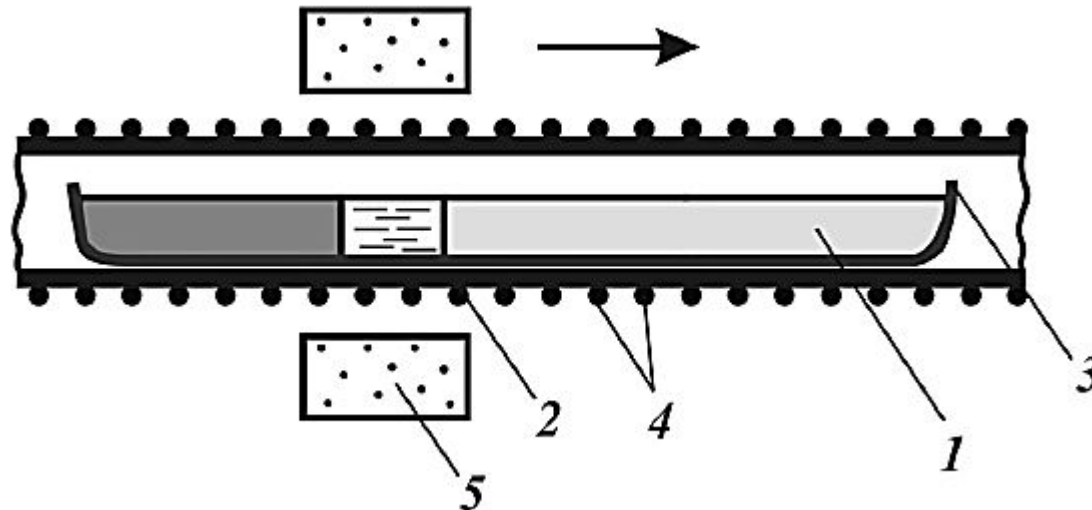
Метод Киропулуса



Зонная плавка



1. Использование нагревателей
сопротивления

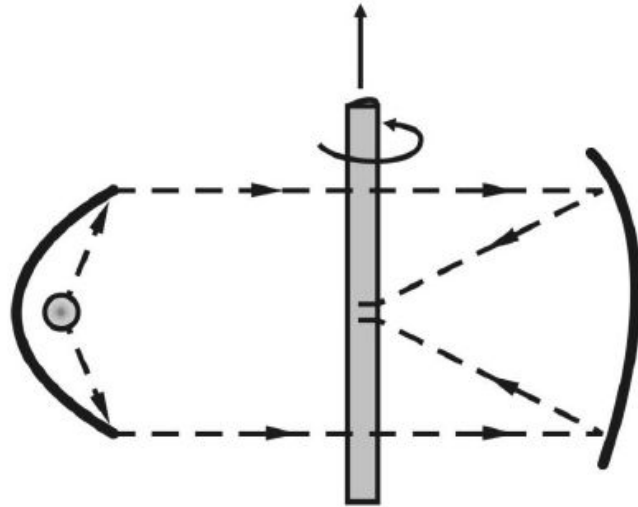


1-слиток, 2-зона, 3-контейнер, 4-нагреватель
сопротивления, 5- блок теплоизоляционного материала

Зонная плавка

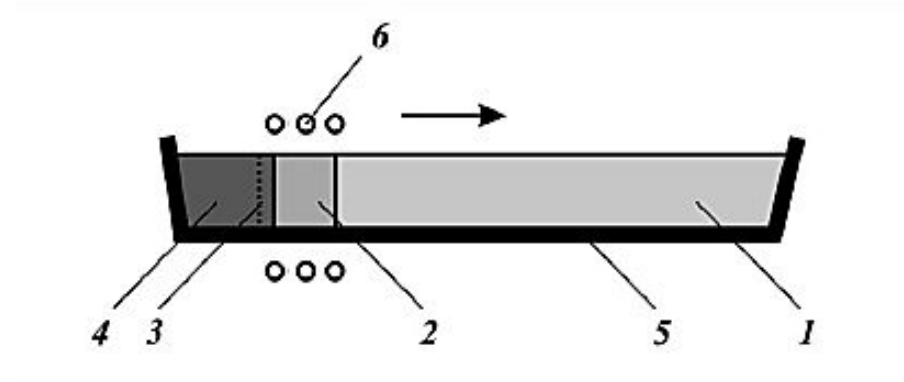
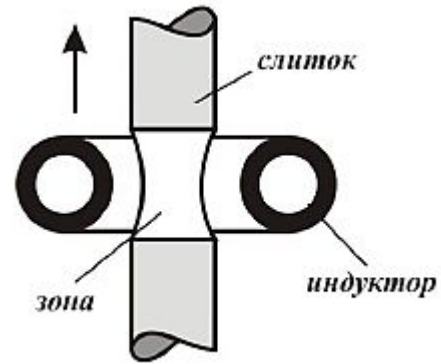
2. Индукционный нагрев

3. Нагрев излучением лампы накаливания и электроннолучевой нагрев



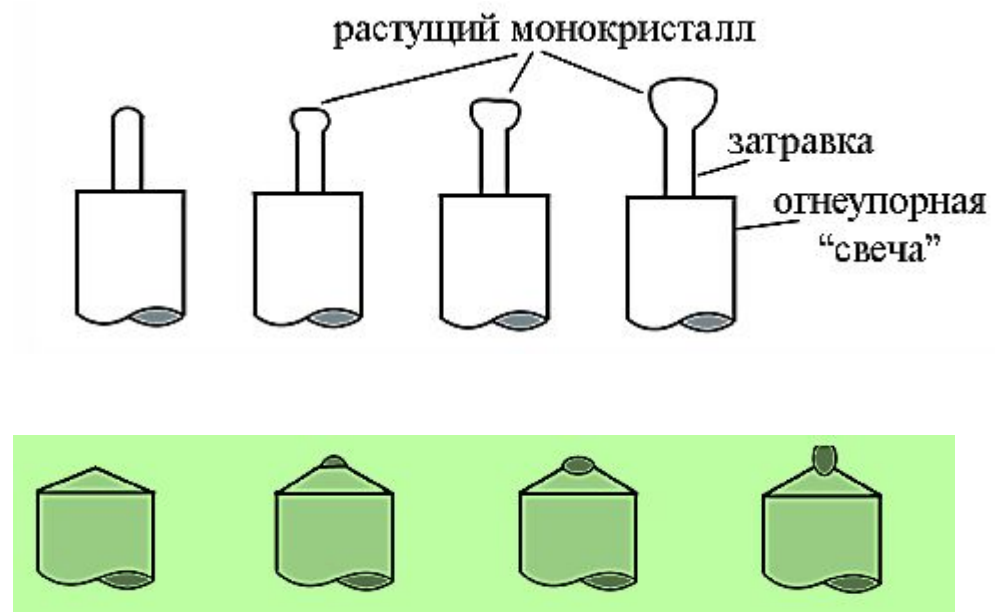
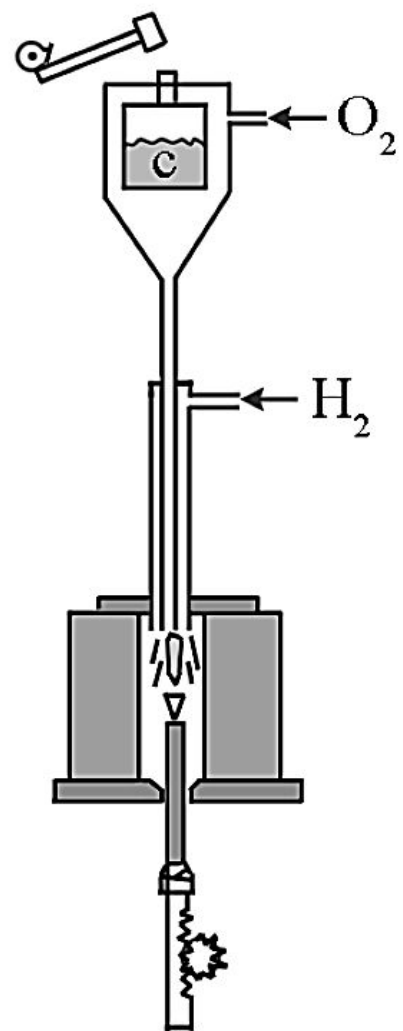
4. Нагрев за счет эффекта Пельтье

Метод плавающей зоны

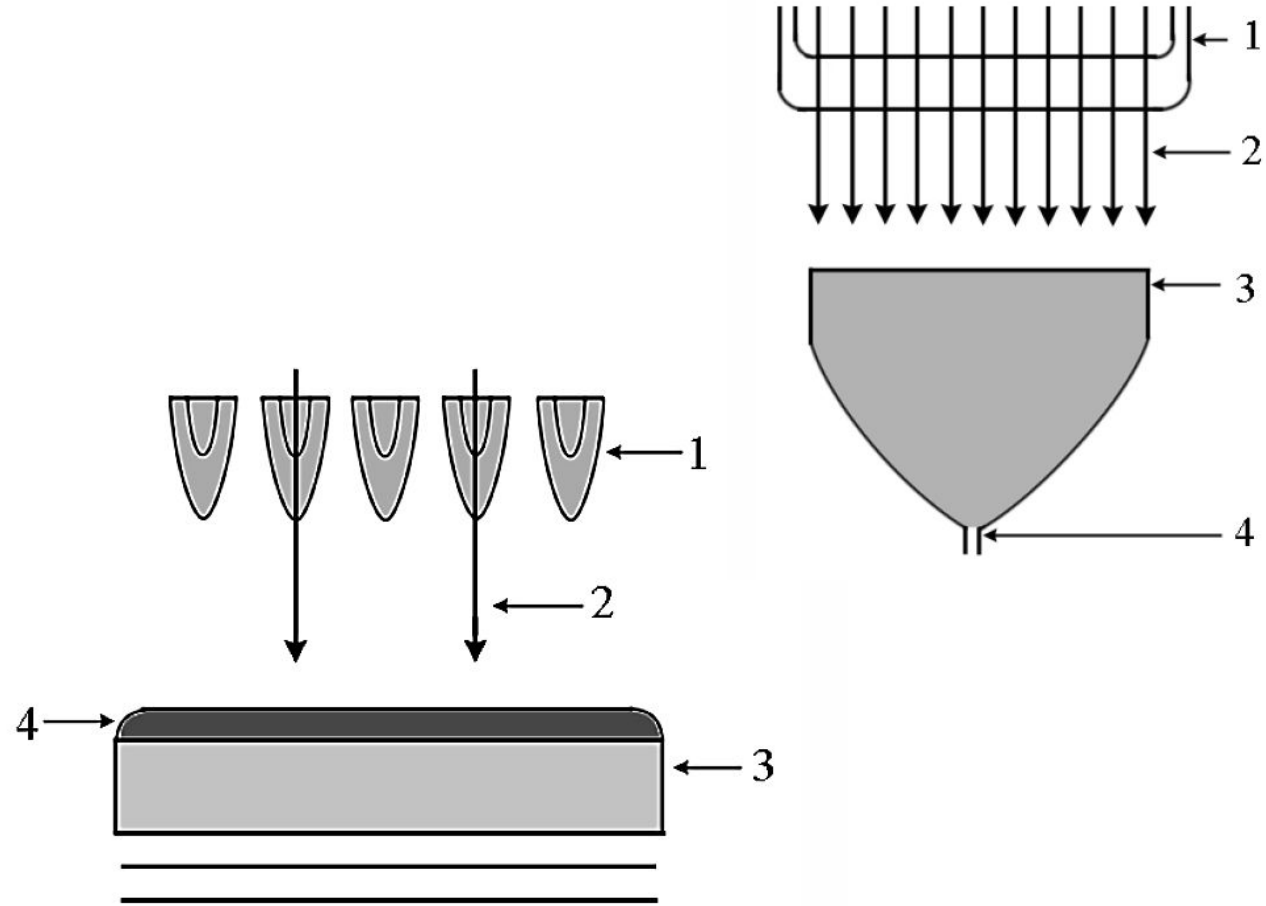
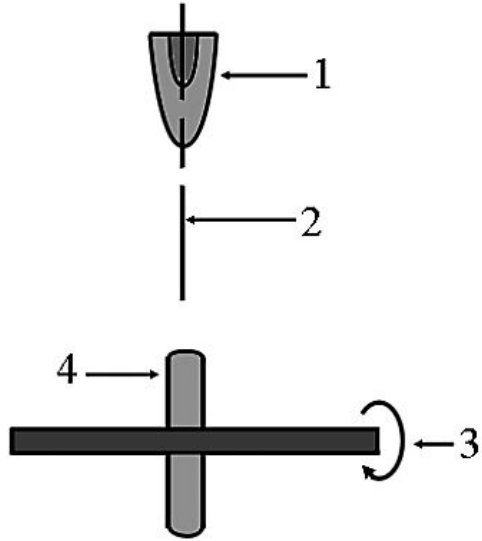


1 – полукристаллический материал,
2 – зона, 3 – монокристалл.
материал,
4 – затравка, 5 – контейнер,
6 - нагреватель

Метод Вернейля

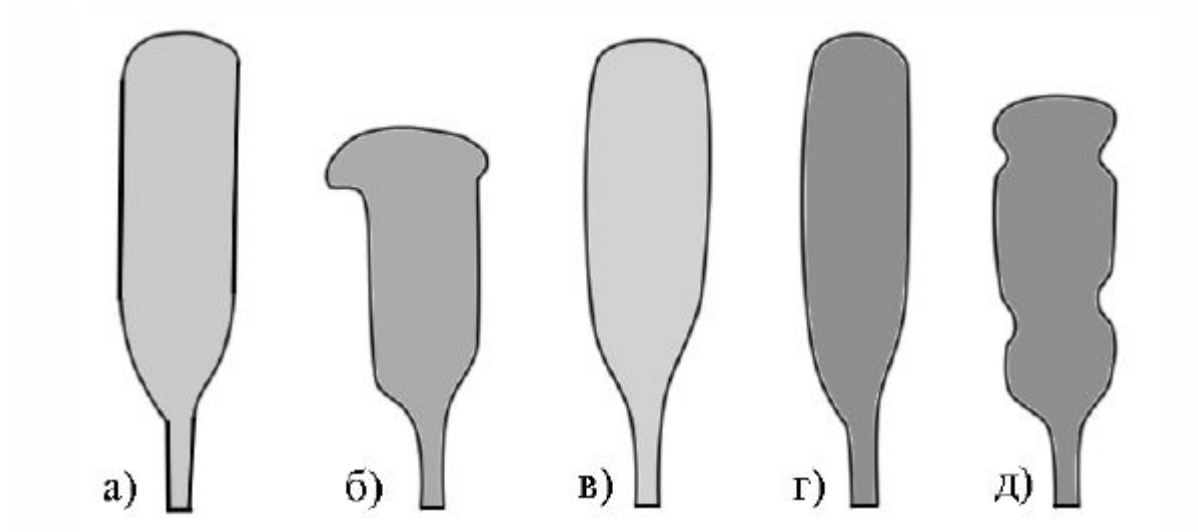


Четыре способа выращивать кристаллы корунда по методу Вернейля



1 – пламя 2 – направление подачи
пудры
3 – затравка 4 – растущий

Метод Вернейля



Выращивание кристаллов из растворов

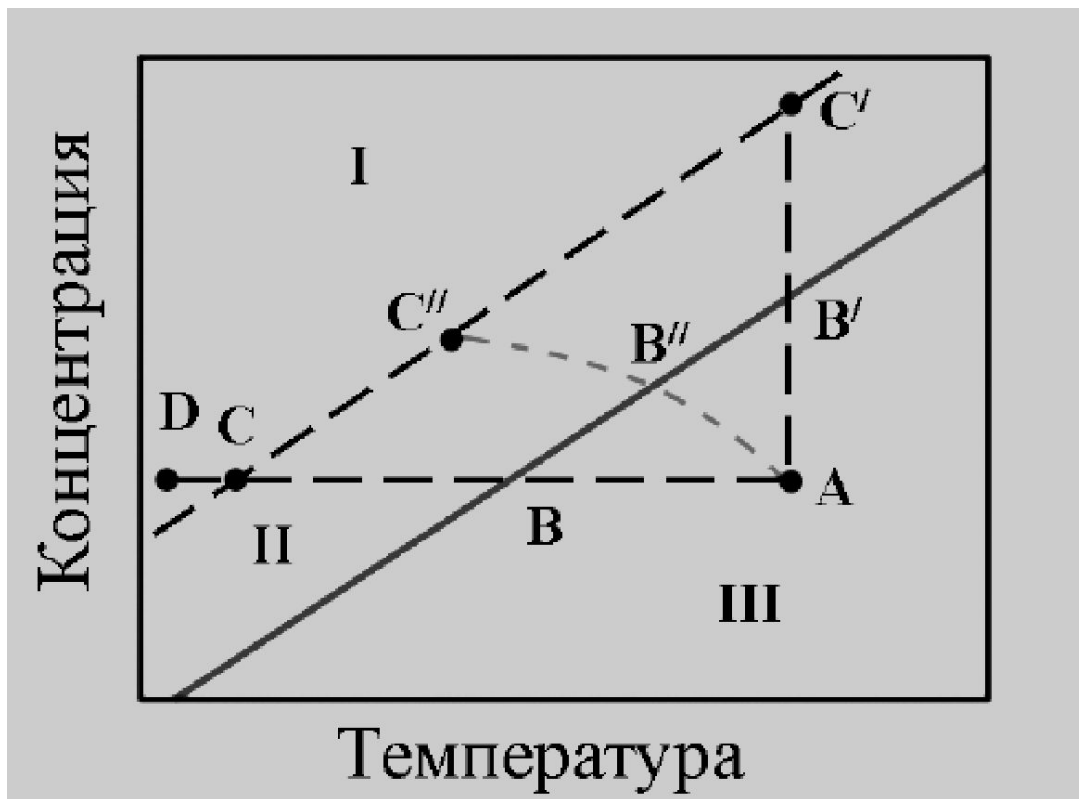
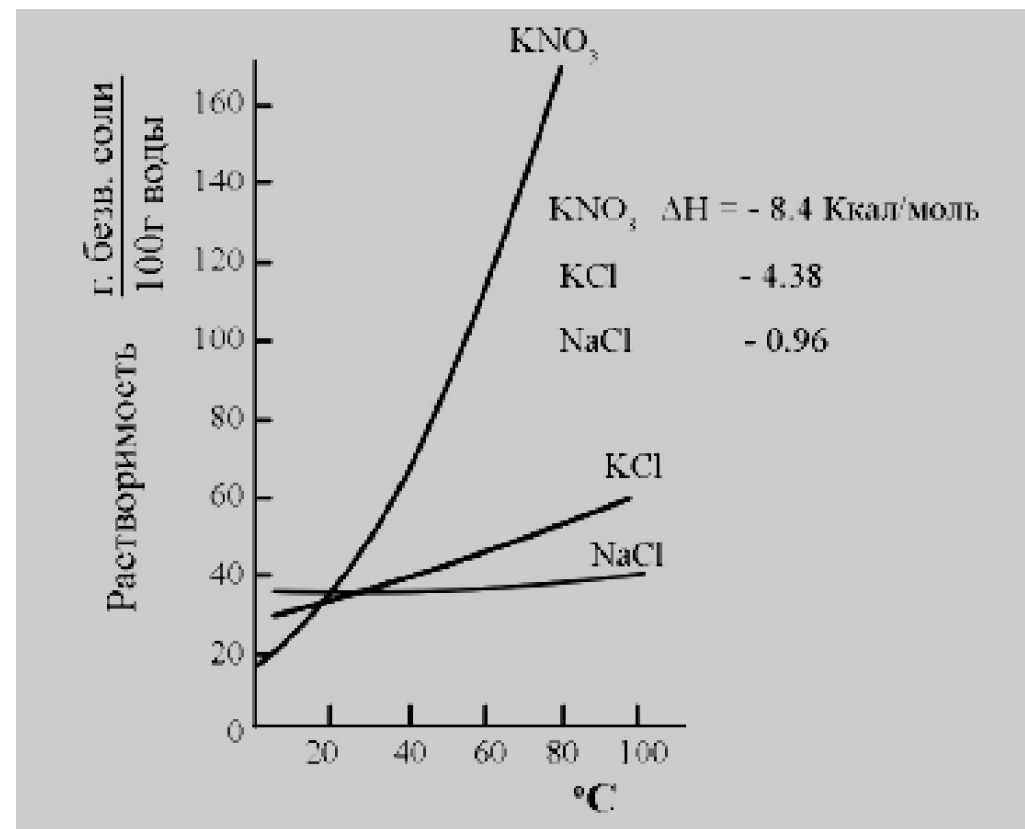
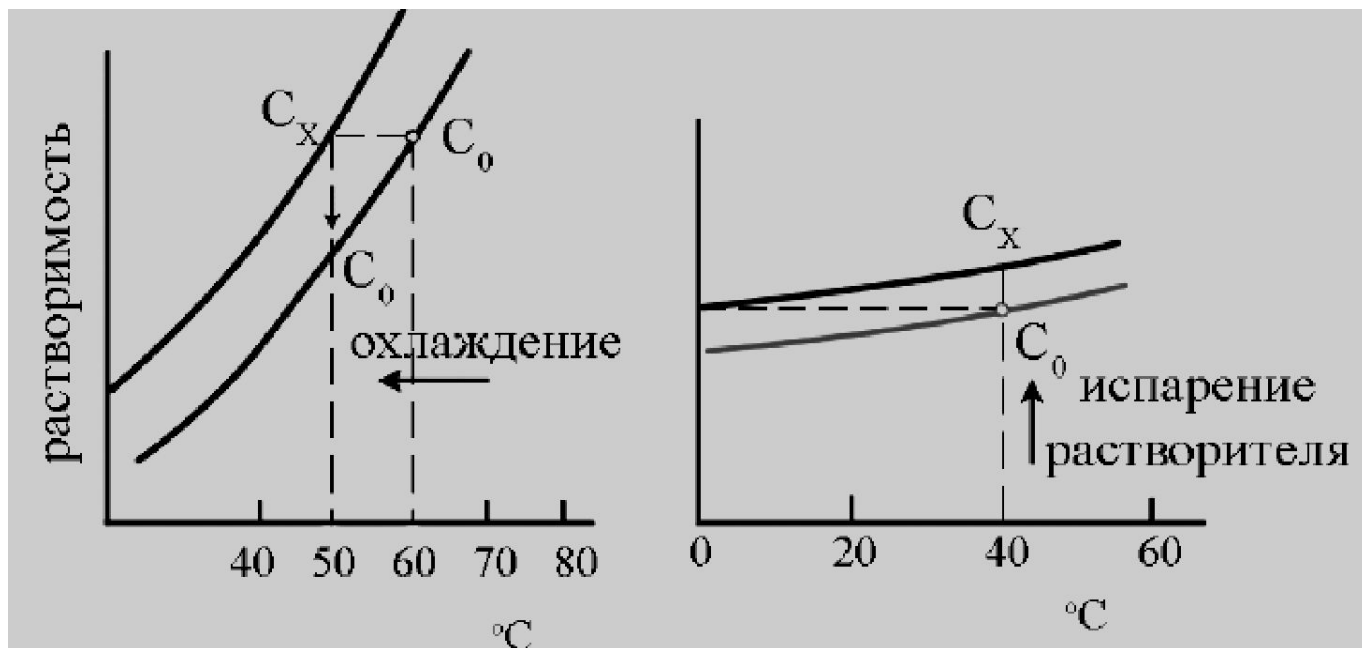


Диаграмма «концентрация-температура»:
I – лабильная
II – метастабильная
III – стабильная область.

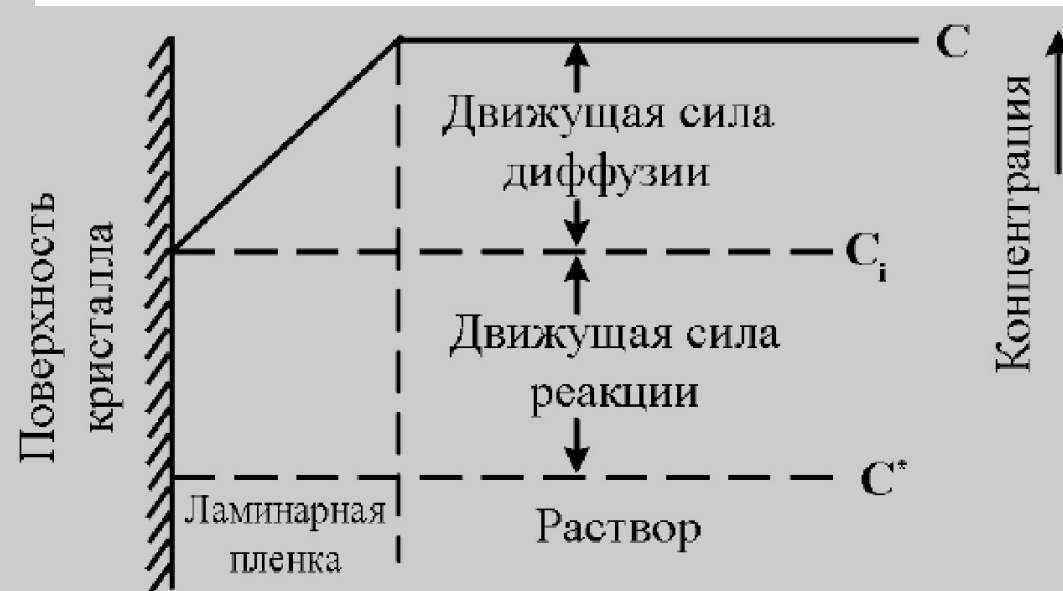


Температурная зависимость растворимости веществ с разной теплотой растворения

Выращивание кристаллов из растворов



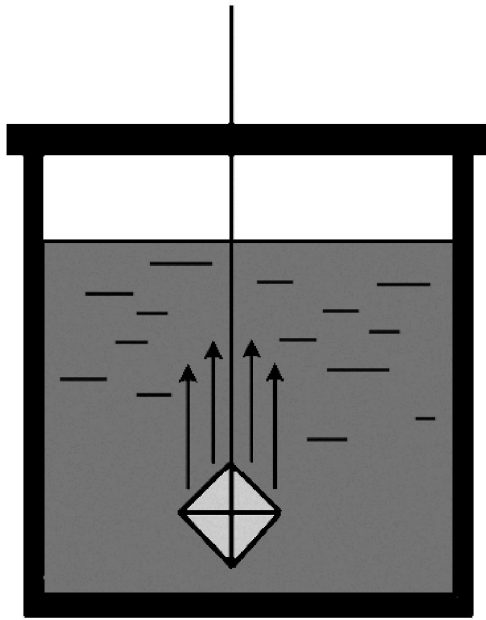
Движущие силы процесса кристаллизации



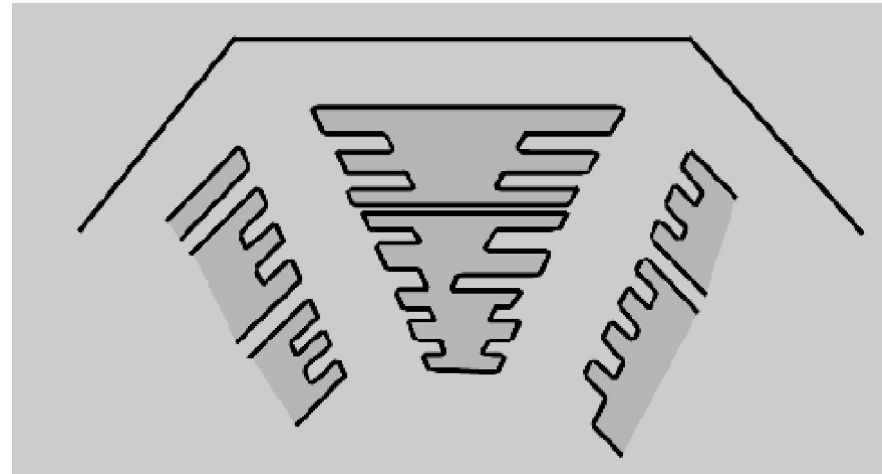
Скорость роста кристалла

$$\frac{dn}{d\tau} = kS(C - C_0)$$

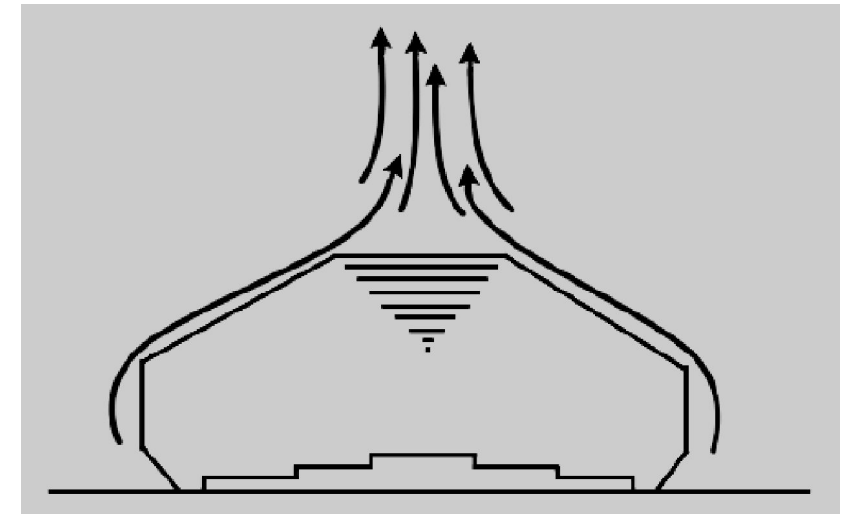
Выращивание кристаллов из растворов



Восходящие токи
роста над
кристаллом

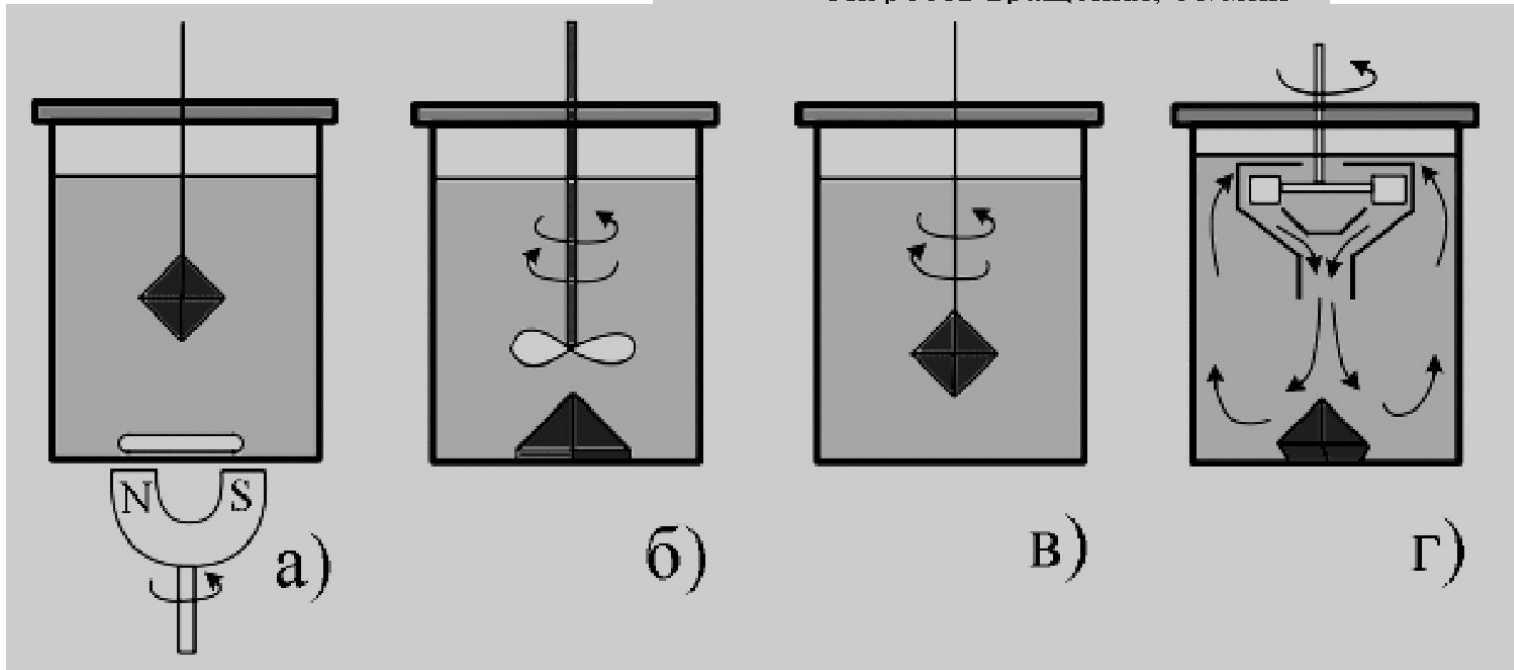
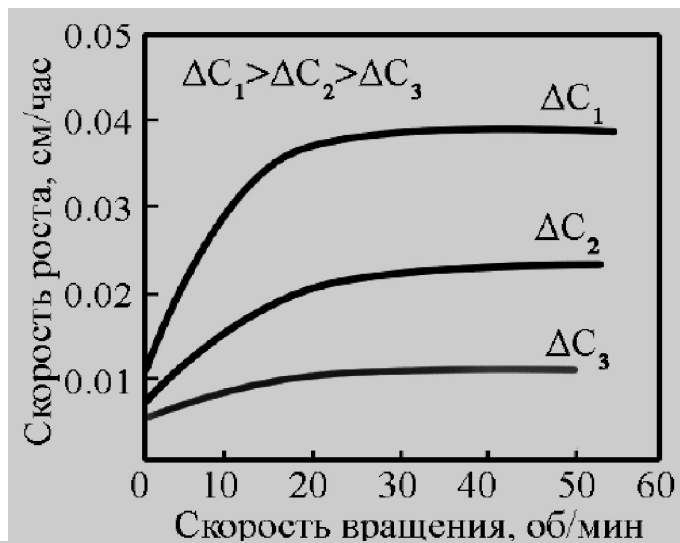


Щелевидные включения
маточного раствора



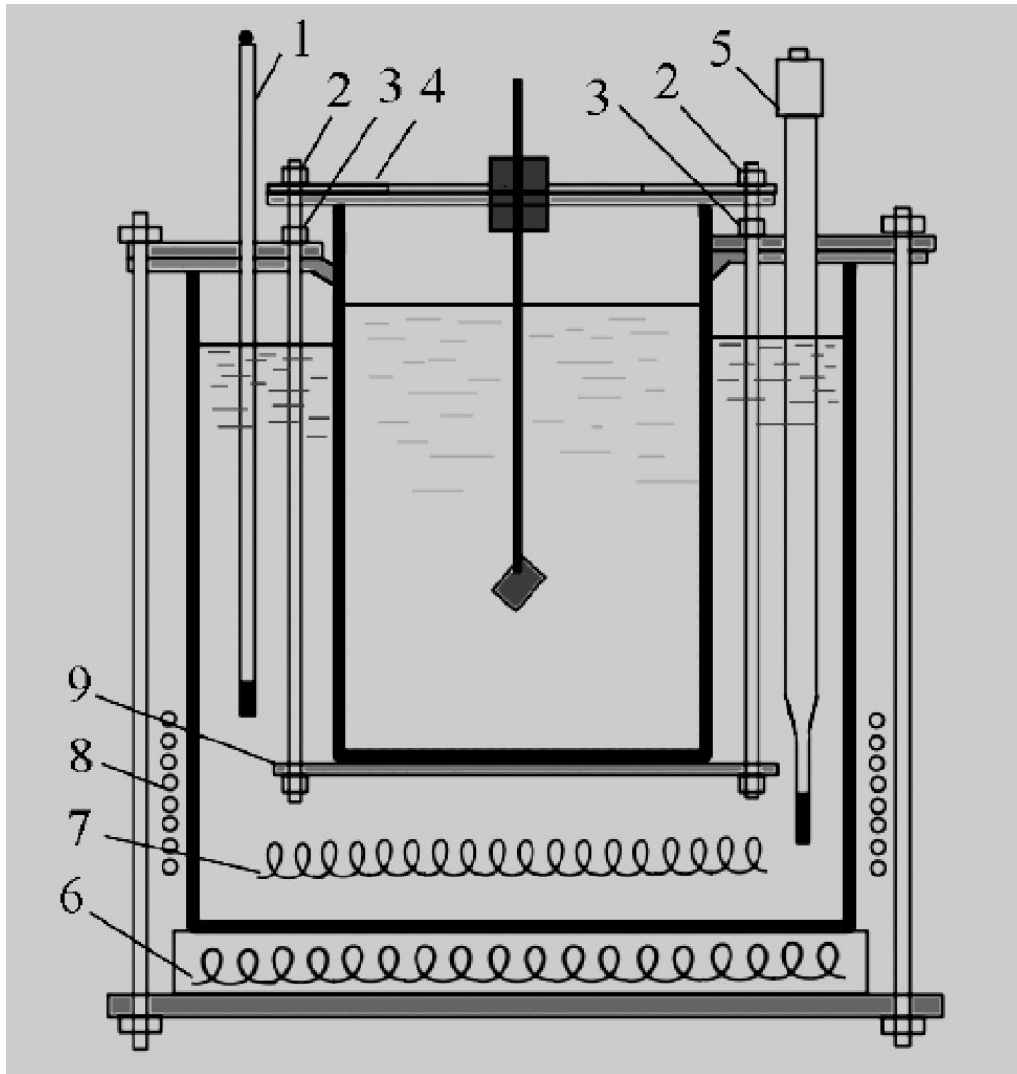
Воронкообразная нижняя
поверхность кристалла

Выращивание кристаллов из растворов



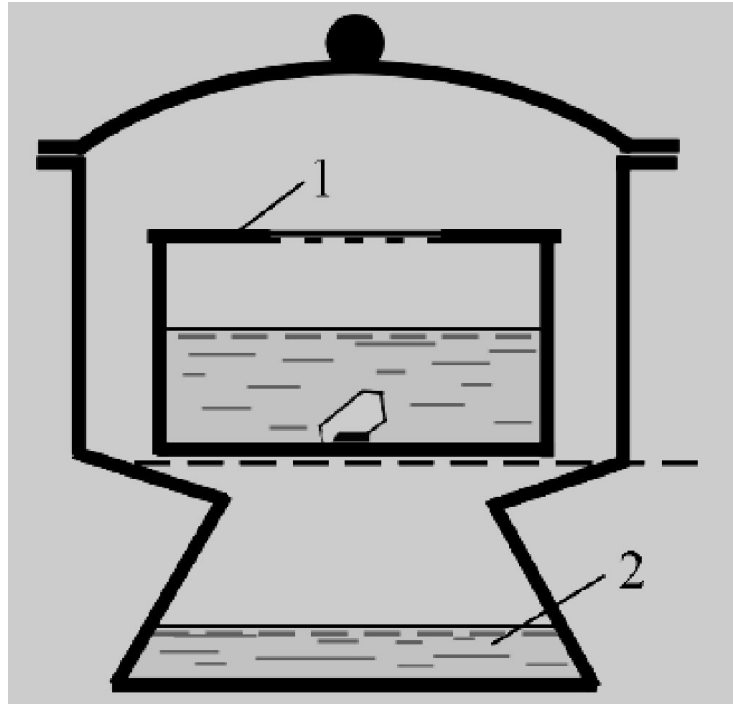
Перемешивание:
А – магнитной мешалкой,
Б – лопастной мешалкой,
В – вращением кристалла,
Г – центробежной помпой

Метод охлаждения раствора



- 1 – термометр
- 2 – резьбовые шпильки
- 3 – гайки
- 4 – герметичная крышка
- 5 – контактный термометр
- 6 – наружный нагреватель
- 7 – внутренний нагреватель
- 8 – дополнительный наружный нагреватель
- 9 - подставка

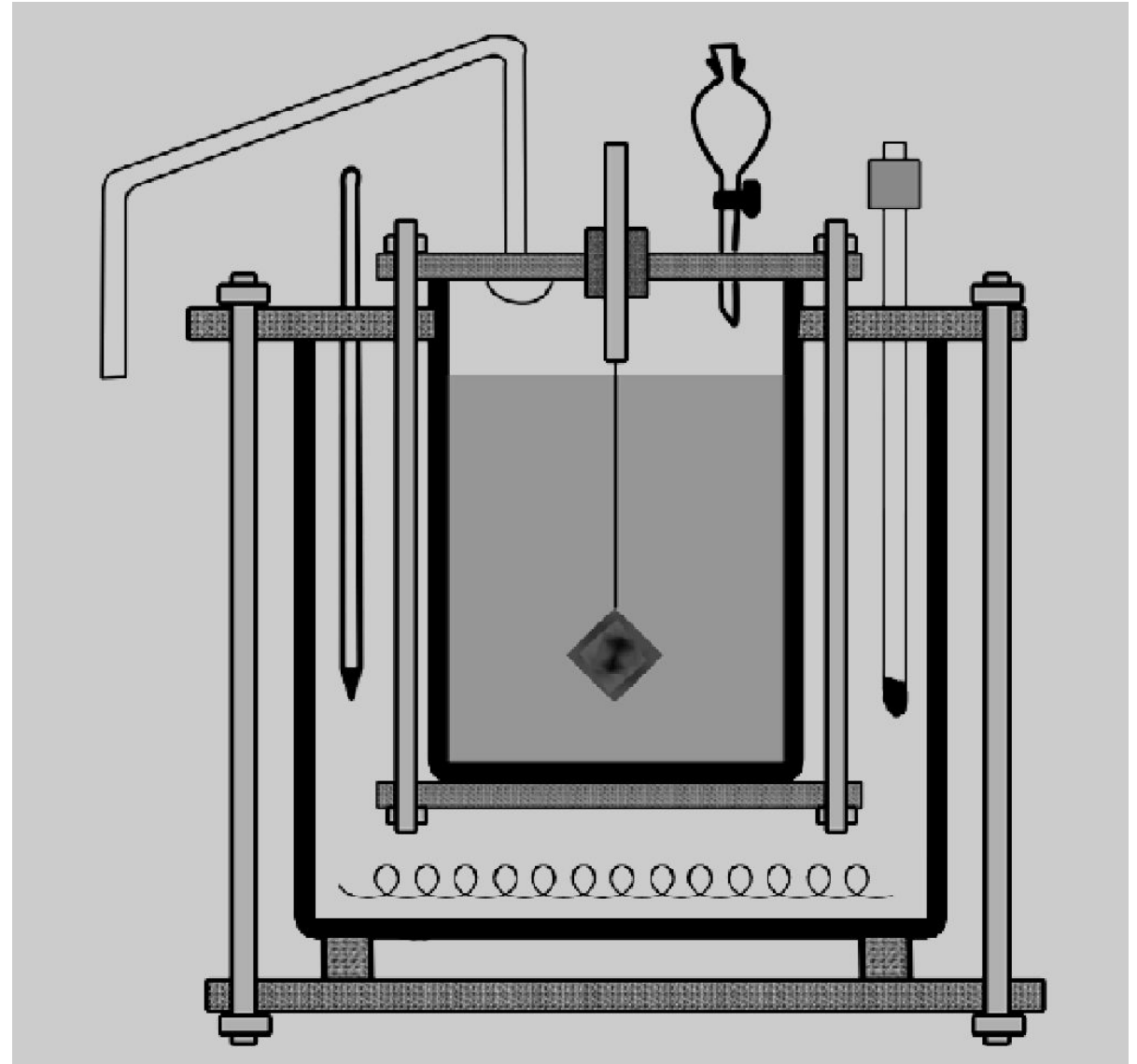
Метод испарения растворителя



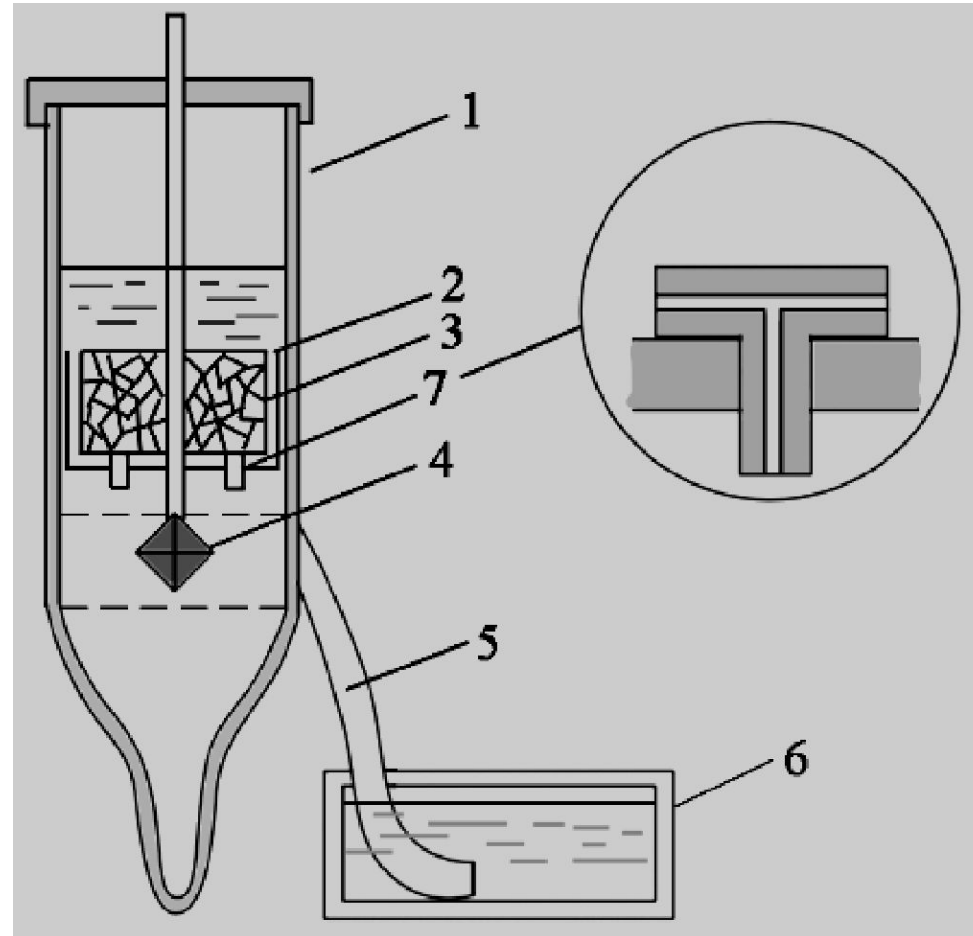
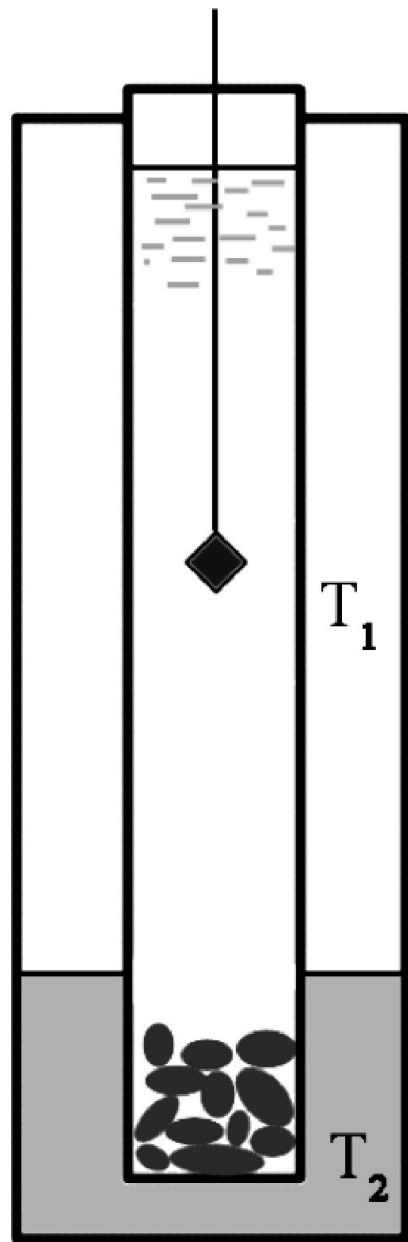
Кристаллизатор в эксикаторе:

1 – крышка, регулирующая скорость испарения

2 – концентрированный раствор



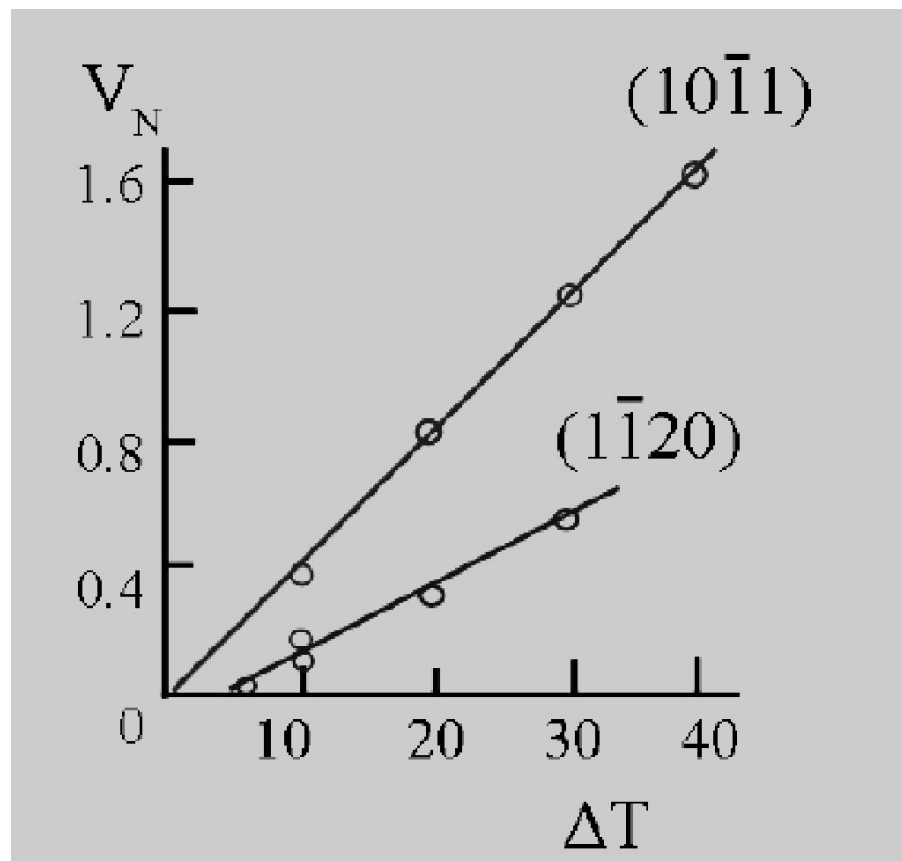
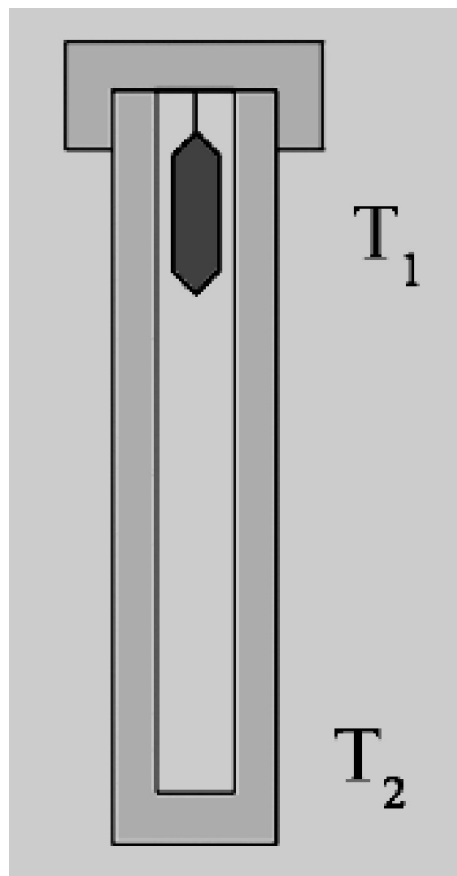
Метод температурного градиента



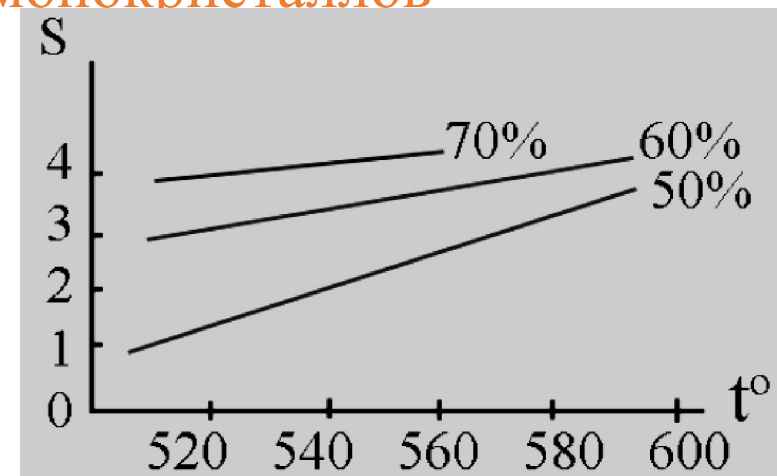
- 1 – стеклянный цилиндр
- 2 – контейнер
- 3 – кристаллы – заготовки
- 4 – затравочный раствор
- 5 – влажный марлевый пояс
- 6 – сосуд с водой
- 7 - патрубки

Кристаллизатор А.В.
Белюстина

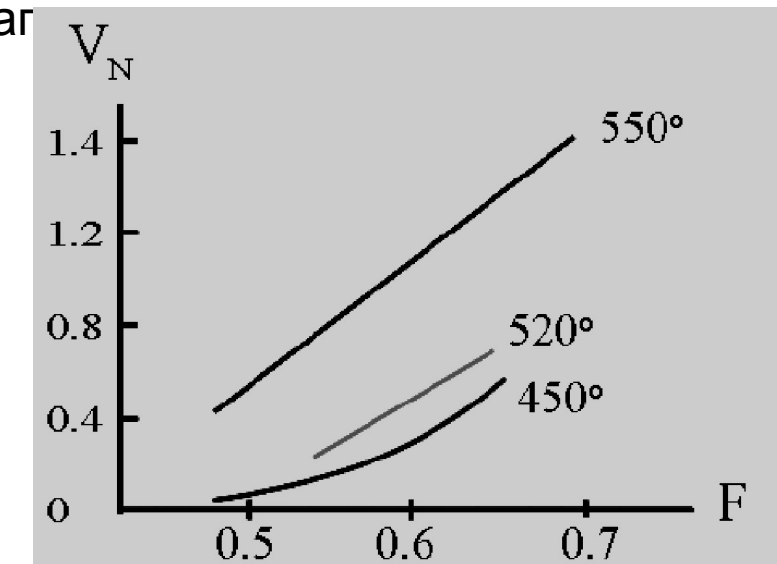
Гидротермальный метод выращивания монокристаллов



Зависимость скорости роста граней корунда от перепада температур



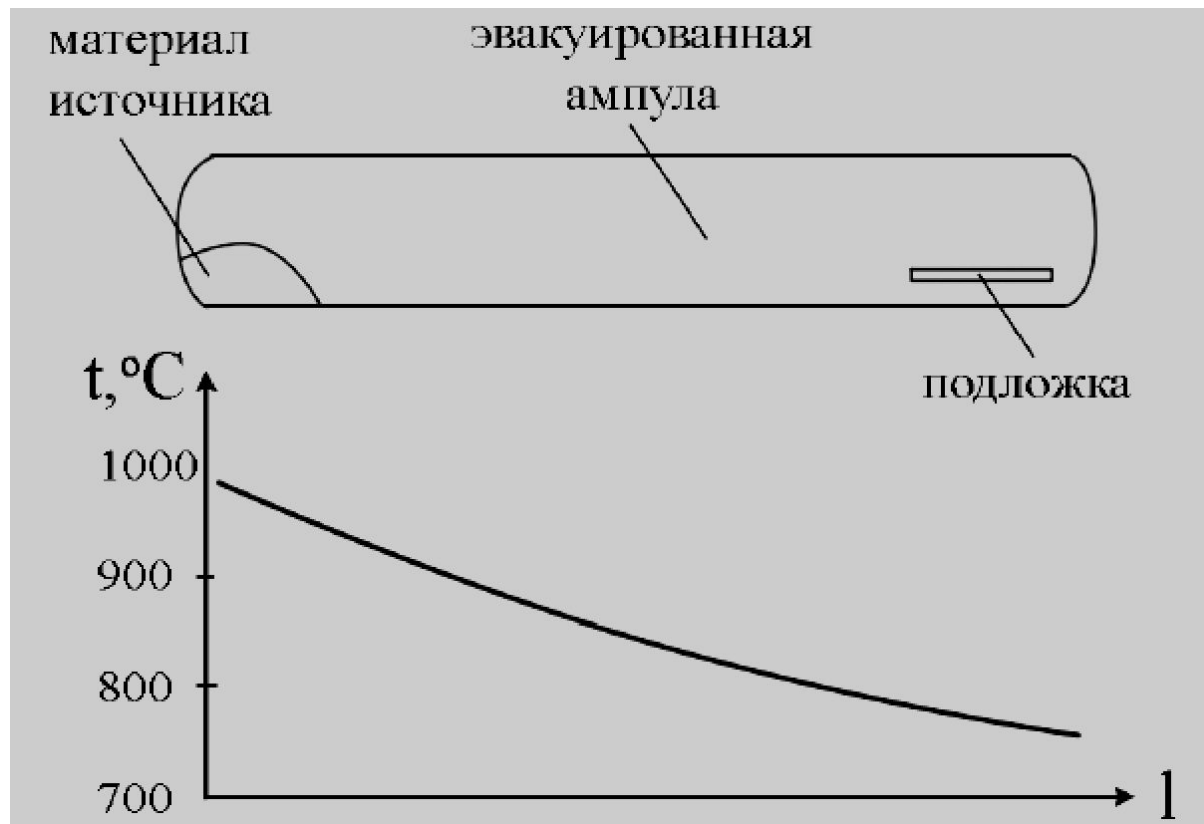
Растворимость корунда при различных коэффициентах загрузки



Зависимость скорости роста граней от заполнения автоклава

Выращивание кристаллов из газовой фазы

Кристаллизация без участия химической реакции

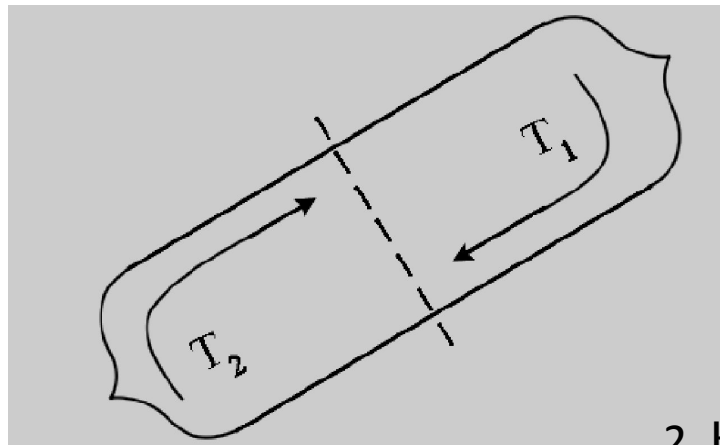
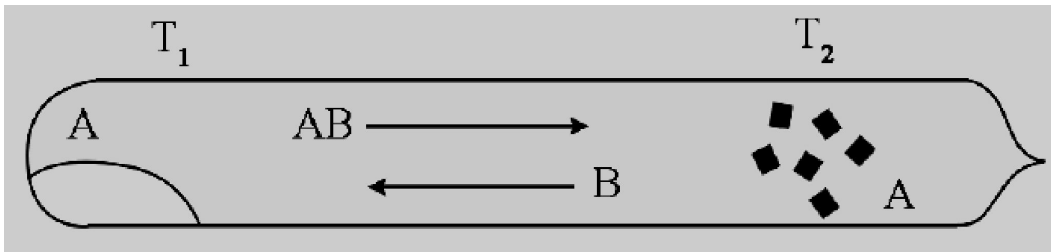


Метод
сублимации

Выращивание кристаллов из газовой фазы

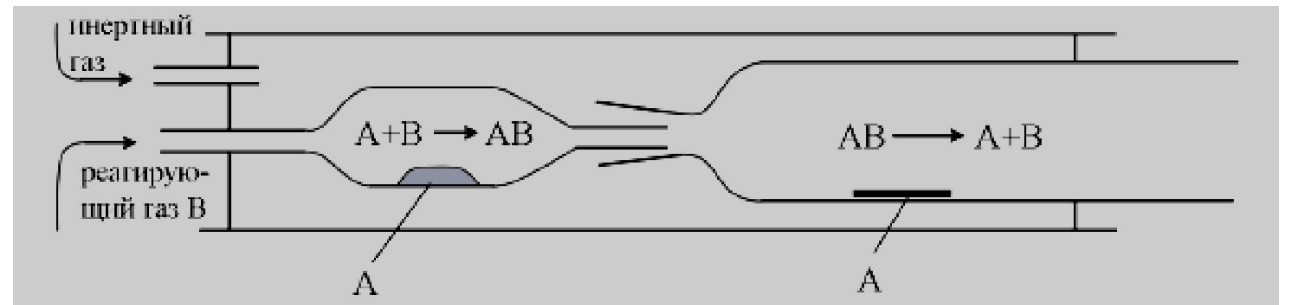
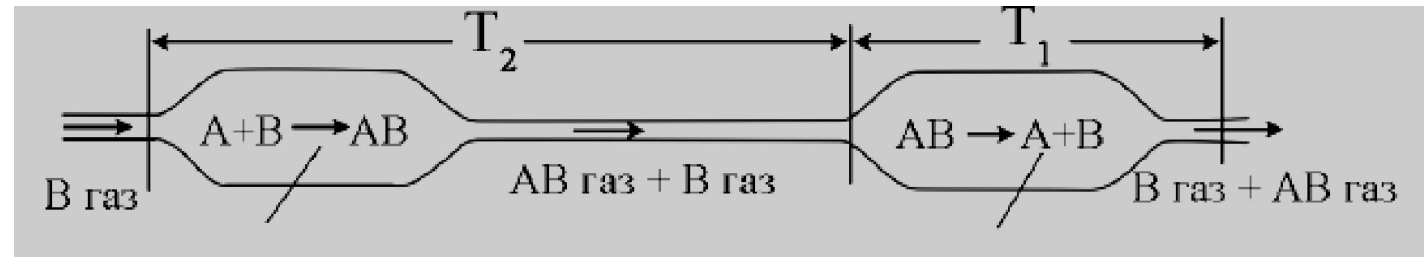
Кристаллизация с участием химической реакции
Метод химических транспортных реакций

А – кристаллизация из газовой фазы в замкнутом реакционном



2. Кристаллизация с использованием паровых реакций

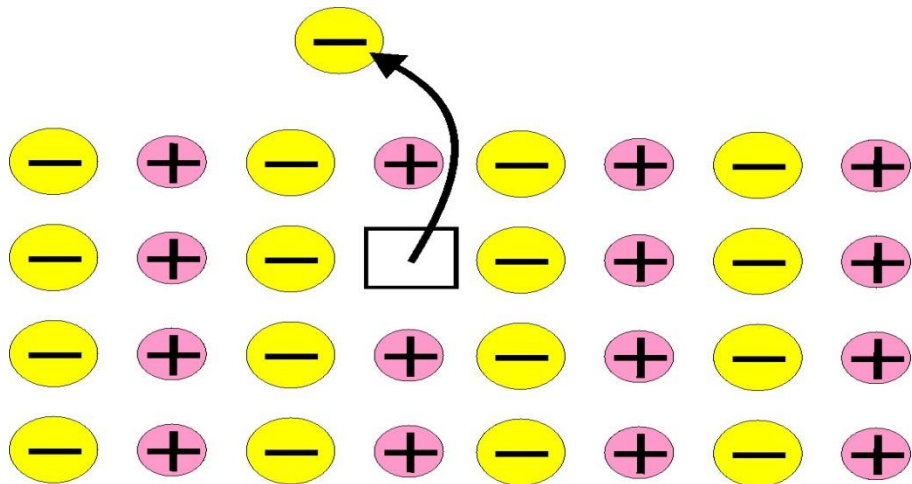
Б – реакции переноса в проточной системе



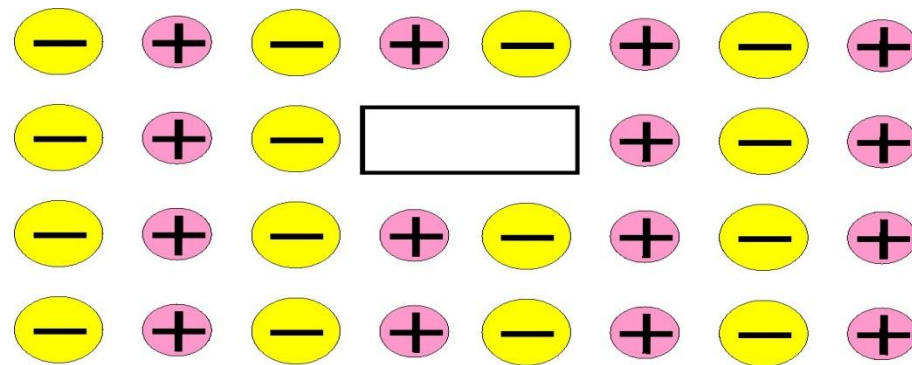
Дефекты в кристаллах

Точечные дефекты

Вакансии



Дефект по Шоттки (NaCl)

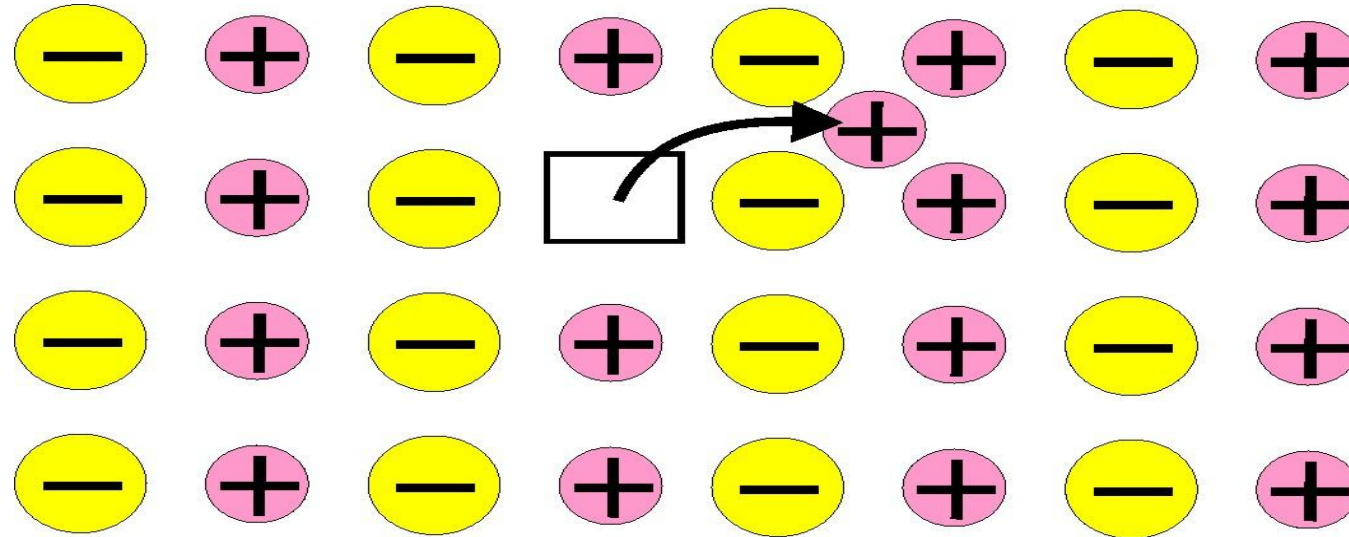


Вакансии: катионные, анионные

$$P = \exp(-E_V/k_B T)$$

$$\frac{n}{N} \approx \exp(-E_V/k_B T).$$

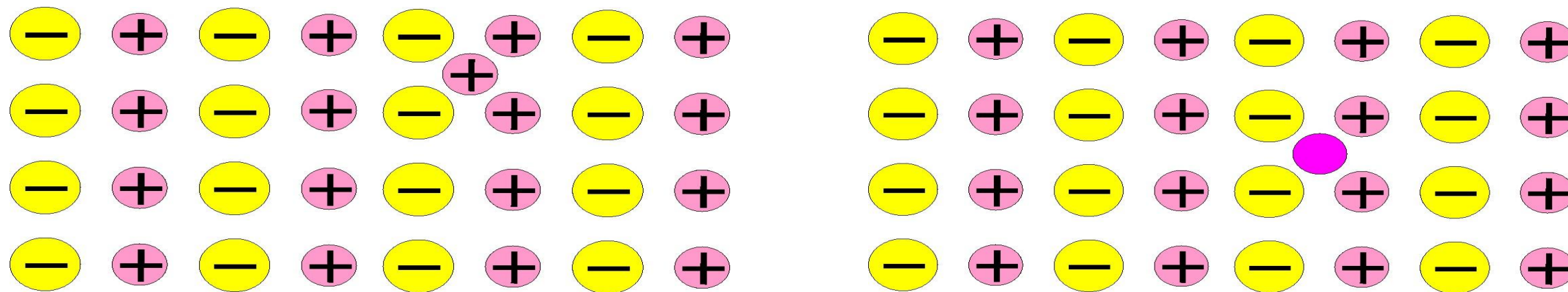
Междоузельные дефекты



Дефект по Френкелю (AgCl)

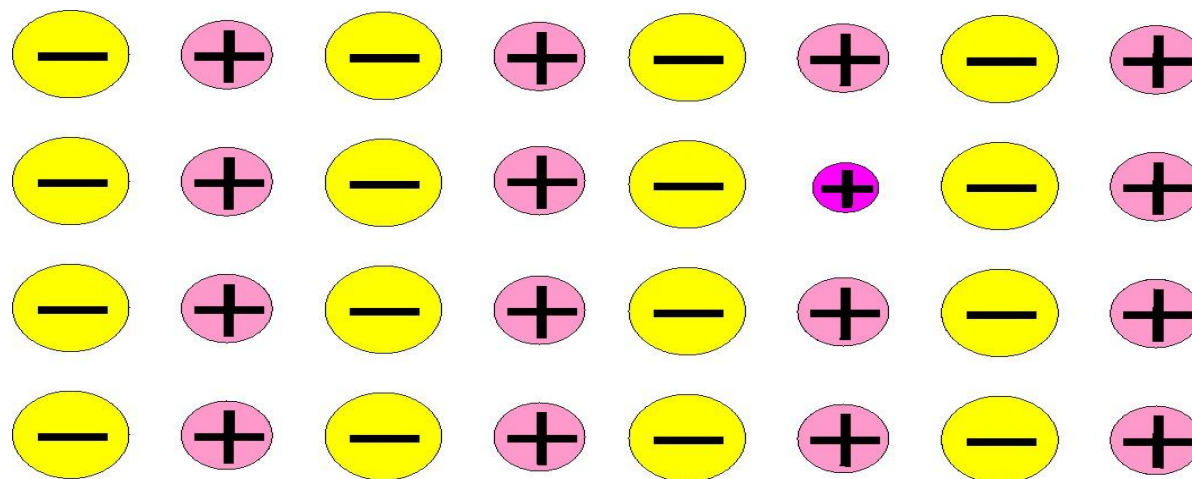
$$n \approx (NN')^{1/2} \exp(-E_f/2k_B T)$$

Примесные дефекты



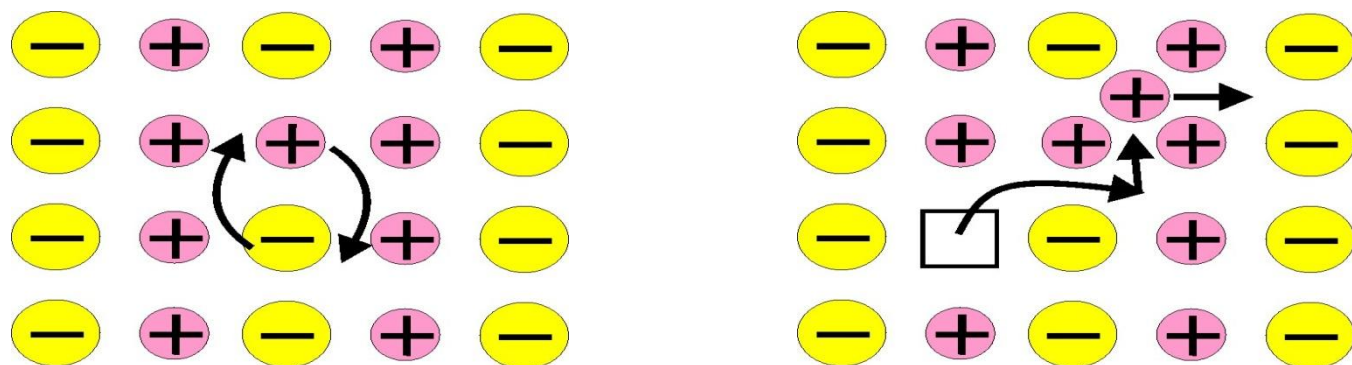
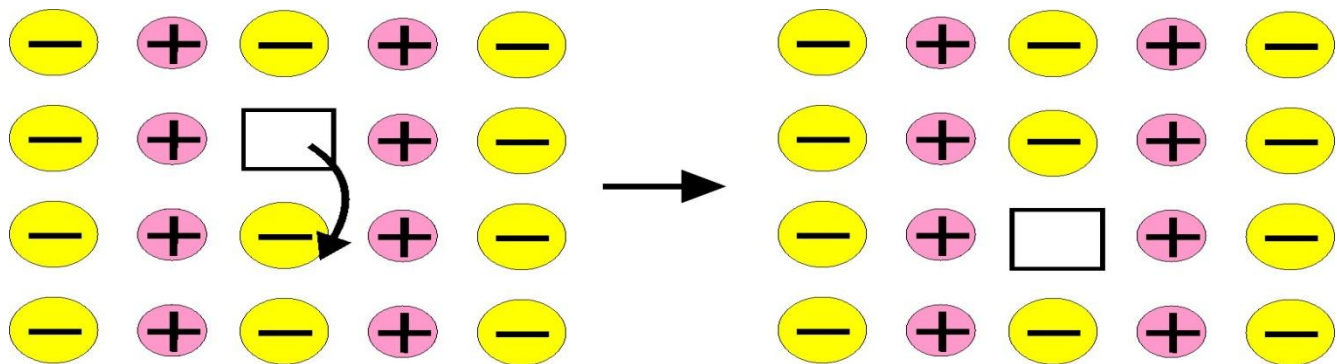
ZnSe:Zn

Si:P



KCl:Cs

Диффузия дефектов



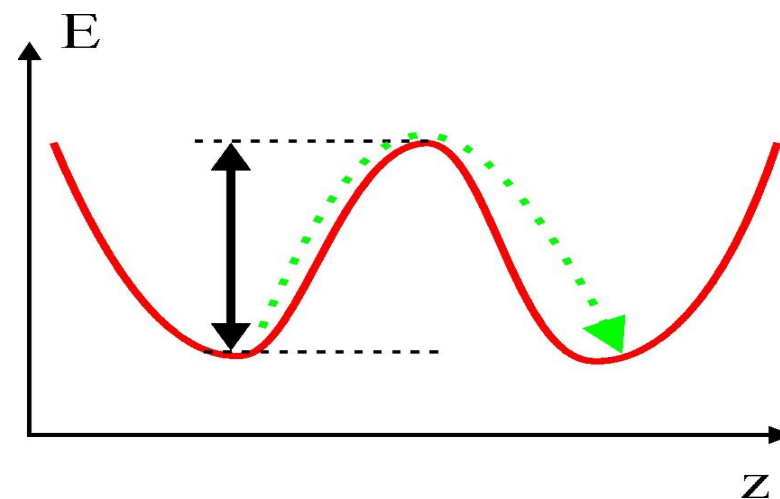
Закон Фика:

$$J_N = -D \text{grad } N$$

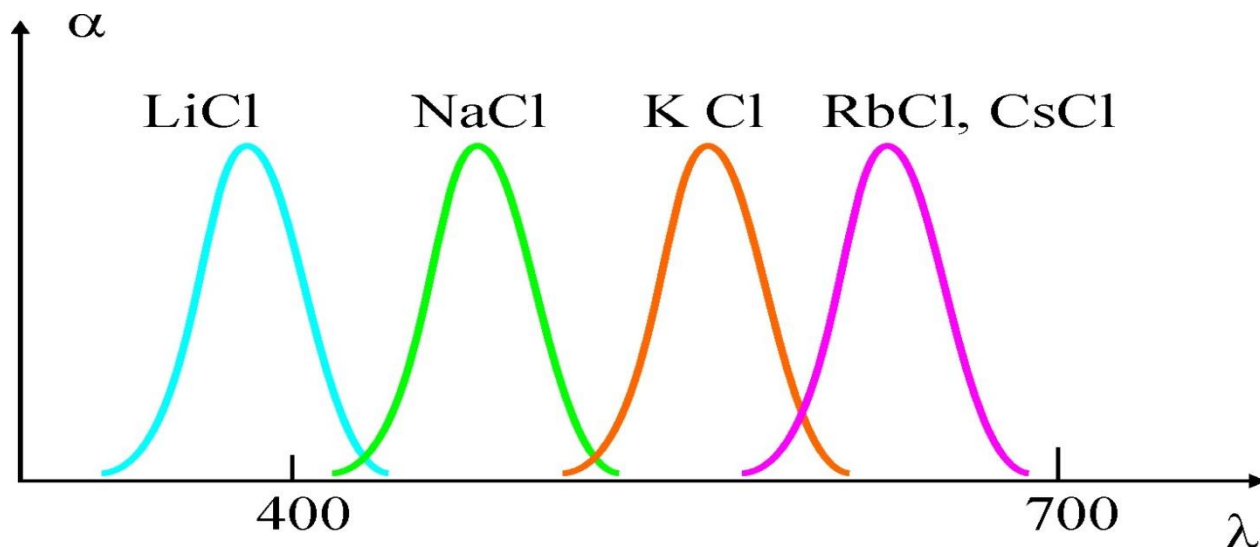
Коэффициент диффузии:

$$D = D_0 \exp(-E/kT)$$

Энергия активации:



Центры окраски

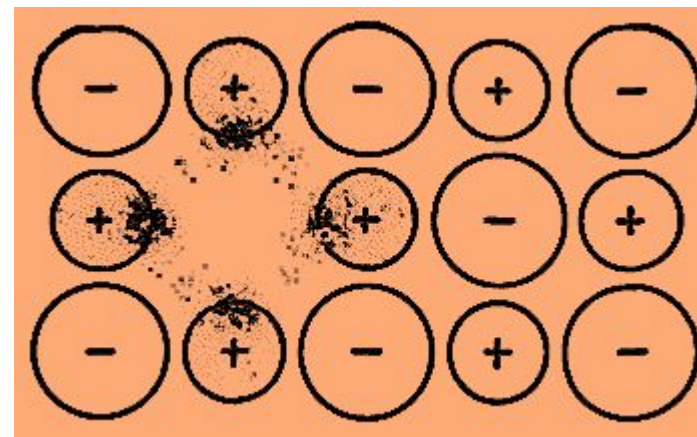


Возникновение центров окраски связано с образованием анионных вакансий (F-центры)

NaCl:Na – желтый

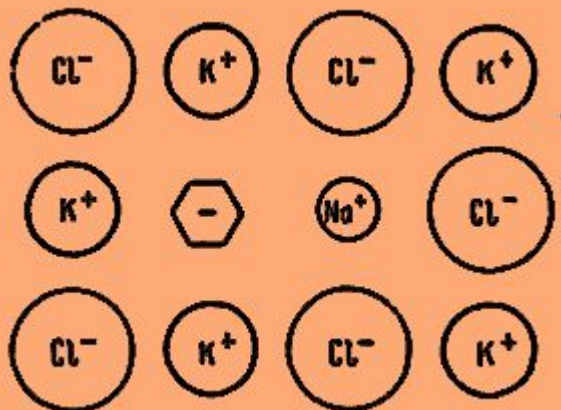
KCl:K – красный

Нагрев в парах металла,
Облучение рентгеном,
электронами, γ -лучами

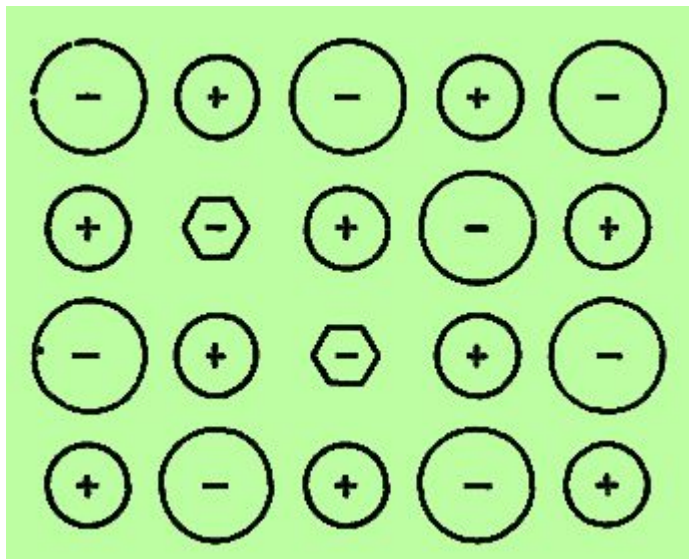


Центры окраски

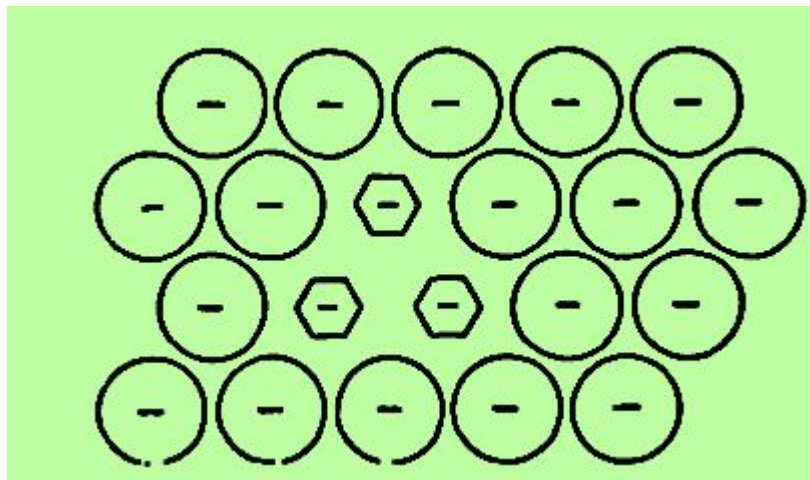
F_A -центр



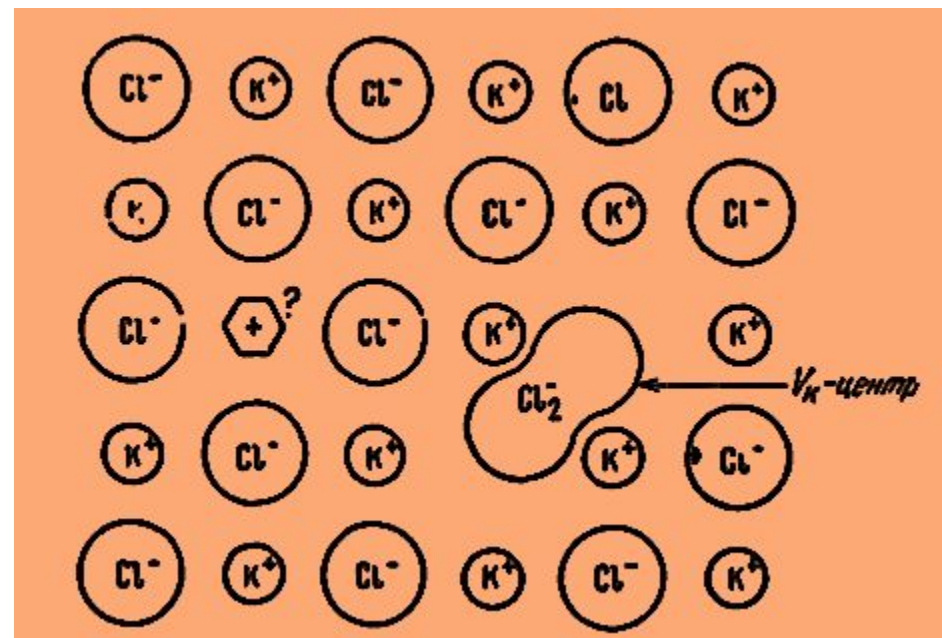
M-центр – 2 F-центра



R-центр – 3 F-центра



V_K -центр



Энергетические уровни дефектов и примесей



Кристалл без дефектов



Si:P



Si:B



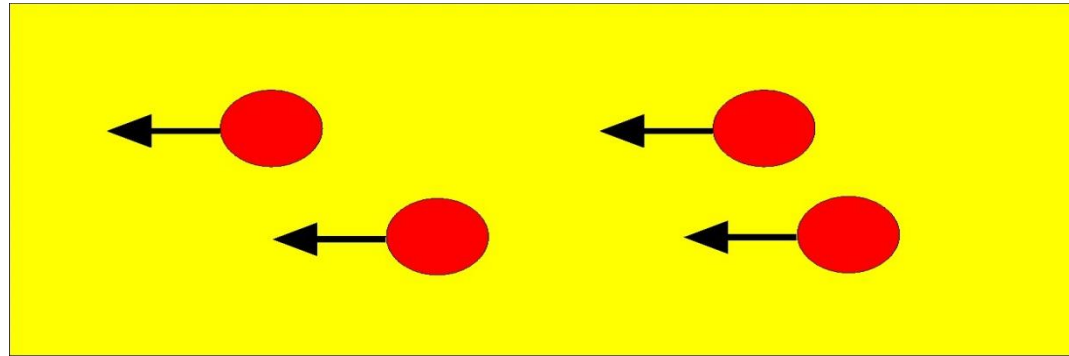
ZnS:Ag



Примесная зона

Применение диффузии дефектов и примесей

1. Улучшение качества кристаллов (удаление дефектов)



2. Введение примесей (изменение свойств кристаллов)

