

# ***ПОЛУПРОВОДНИ КИ***

***Полупроводники представляют собой широкий класс материалов, в которых концентрация подвижных носителей заряда ниже концентрации атомов, но может меняться под действием температуры, освещения, небольшого количества примесей.***

# Полупроводники

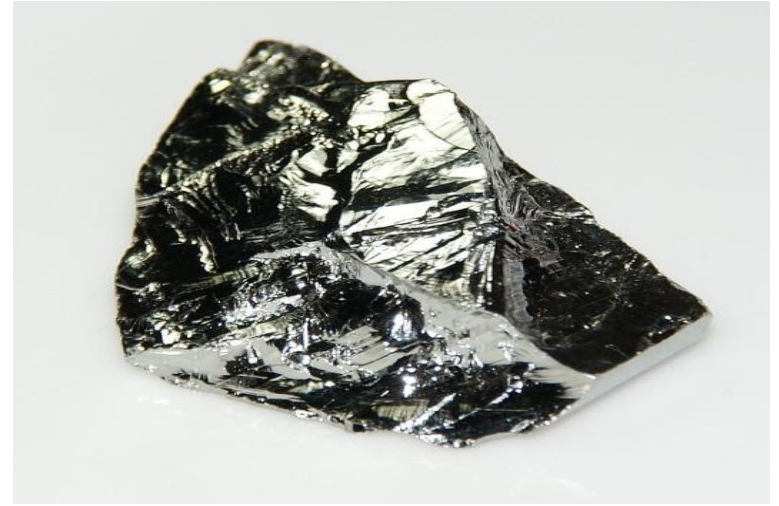
ПЕРИОД	РЯД	ГРУППА ЭЛЕМЕНТОВ									
		A I B	A II B	A III B	A IV B	A V B	A VI B	A VII B			
I	1	<b>H</b> 1.00795 водород						<b>He</b>			
II	2	<b>Li</b> 6.9412 литий	<b>Be</b> 9.01218 бериллий	<b>B</b> 10.812 бор	<b>C</b> 12.01106 углерод	<b>N</b> 14.0067 азот	<b>O</b> 15.9994 кислород	<b>F</b> 18.99840 фтор			
III	3	<b>Na</b> 22.98977 натрий	<b>Mg</b> 24.305 магний	<b>Al</b> 26.98154 алюминий	<b>Si</b> 28.086 кремний	<b>P</b> 30.97376 фосфор	<b>S</b> 32.06 сера	<b>Cl</b> 35.453 хлор			
IV	4	<b>K</b> 39.0983 калий	<b>Ca</b> 40.08 кальций	21 44.9559 <b>Sc</b> скандий	22 47.88 <b>Ti</b> титан	23 50.9415 <b>V</b> ванадий	24 51.996 <b>Cr</b> хром	25 54.938 <b>Mn</b> марганец			
	5	29 63.546 <b>Cu</b> медь	30 65.38 <b>Zn</b> цинк	31 69.72 <b>Ga</b> галлий	32 72.64 <b>Ge</b> германий	33 74.9216 <b>As</b> мышьяк	34 78.96 <b>Se</b> селен	35 79.904 <b>Br</b> бром			
V	6	37 85.4678 <b>Rb</b> рубидий	38 87.62 <b>Sr</b> стронций	39 88.9059 <b>Y</b> иттрий	40 91.22 <b>Zr</b> цирконий	41 92.9064 <b>Nb</b> ниобий	42 95.94 <b>Mo</b> молибден	43 98.9062 <b>Tc</b> технеций			
	7	47 107.868 <b>Ag</b> серебро	48 112.41 <b>Cd</b> кадмий	49 114.82 <b>In</b> индий	50 118.69 <b>Sn</b> олово	51 121.75 <b>Sb</b> сурьма	52 127.60 <b>Te</b> теллур	53 126.9045 <b>I</b> йод			
6		55 <b>Cs</b>	56 <b>Ba</b>	57 <b>La</b>	72 <b>Hf</b>	73 <b>Ta</b>	74 <b>W</b>	75 <b>Re</b>			

Полупроводники в таблице Менделеева

# Полупроводники

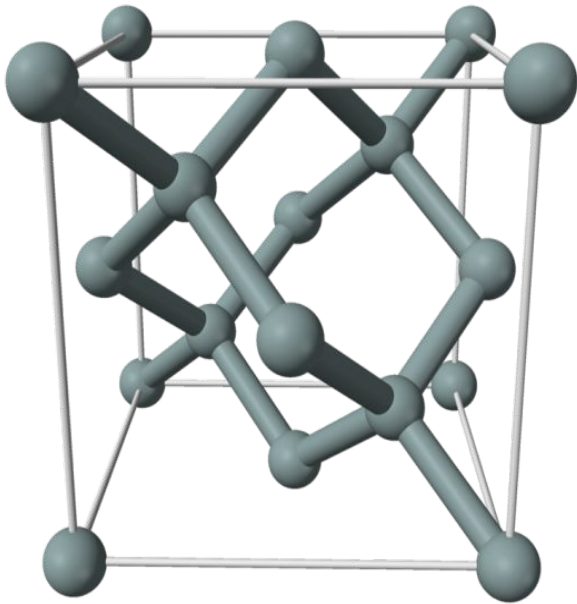


Поликристаллический  
кремний

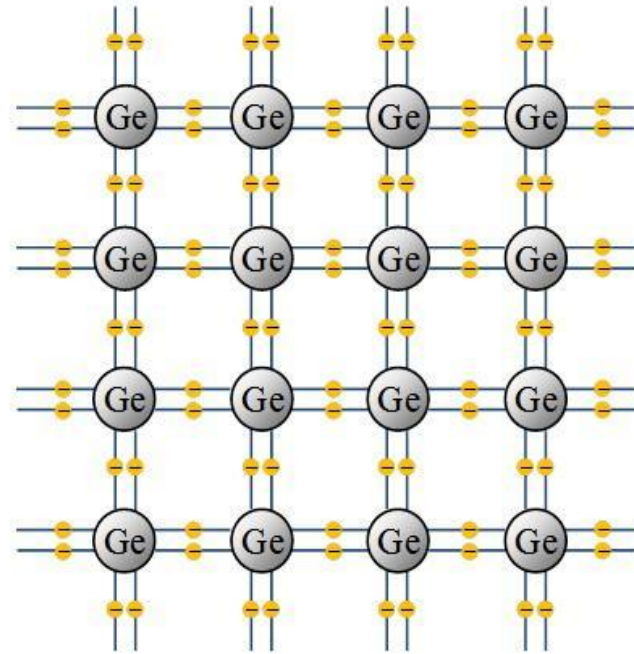


Кристалл  
германия

# Полупроводники

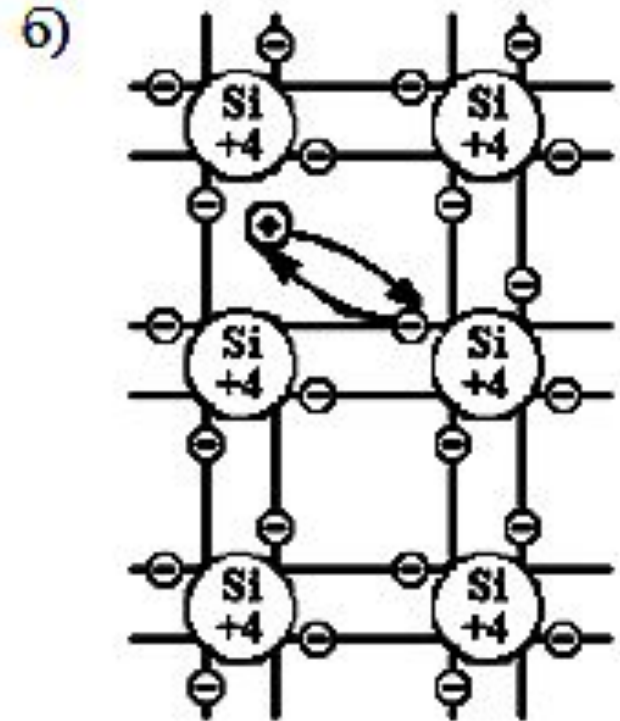
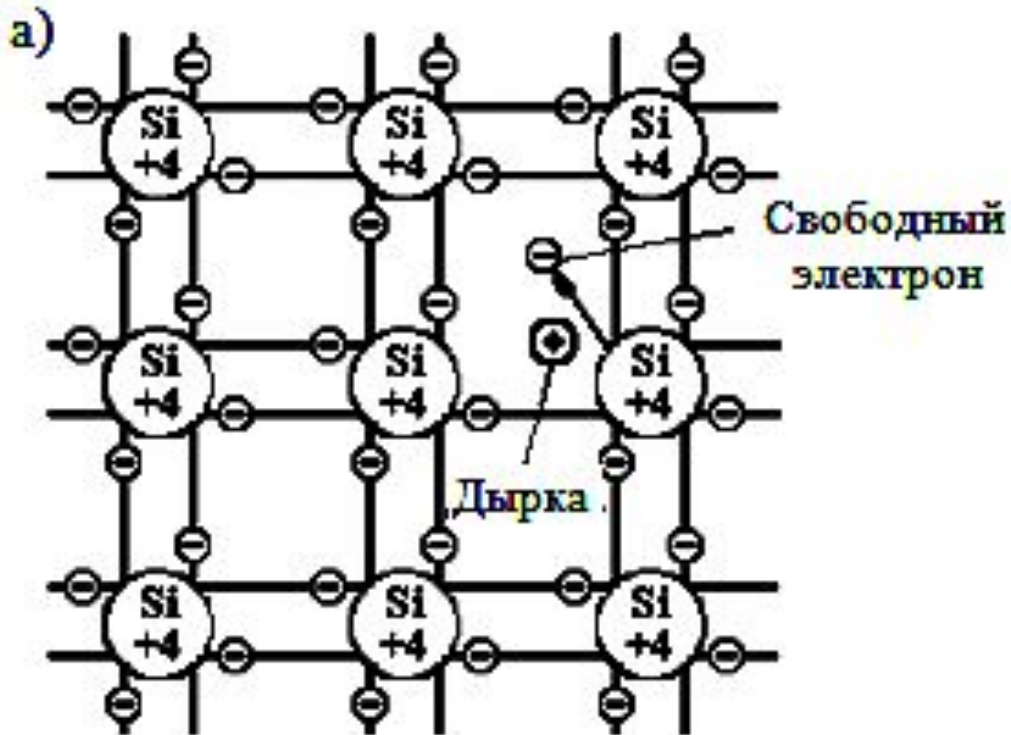


Кристаллическая  
структура кремния и  
германия



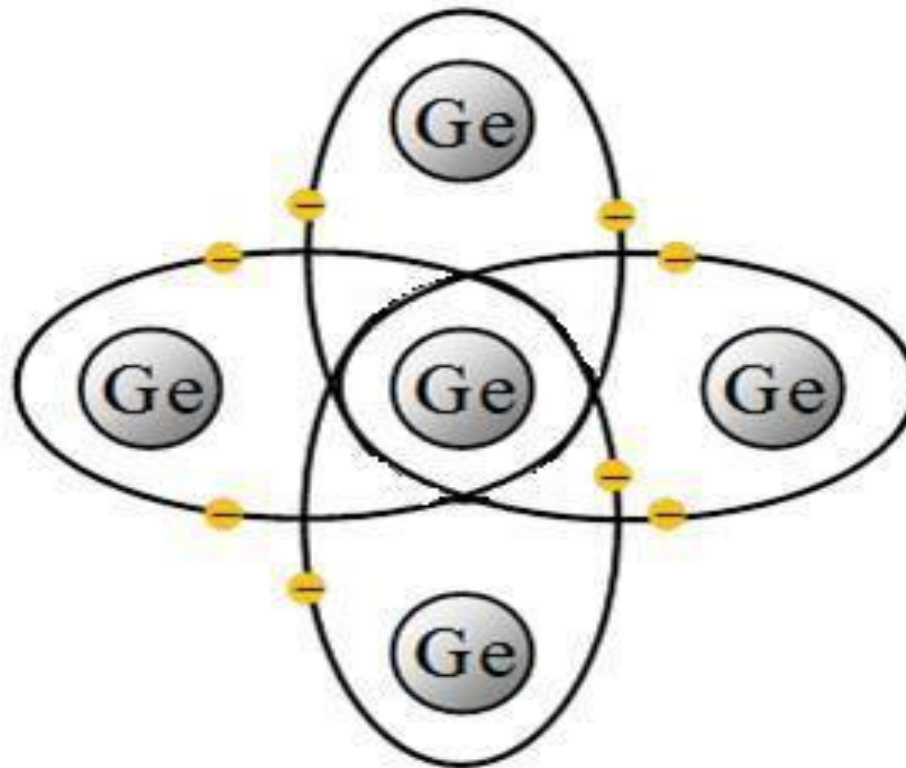
Плоская схема  
структуры  
германия

# Полупроводники



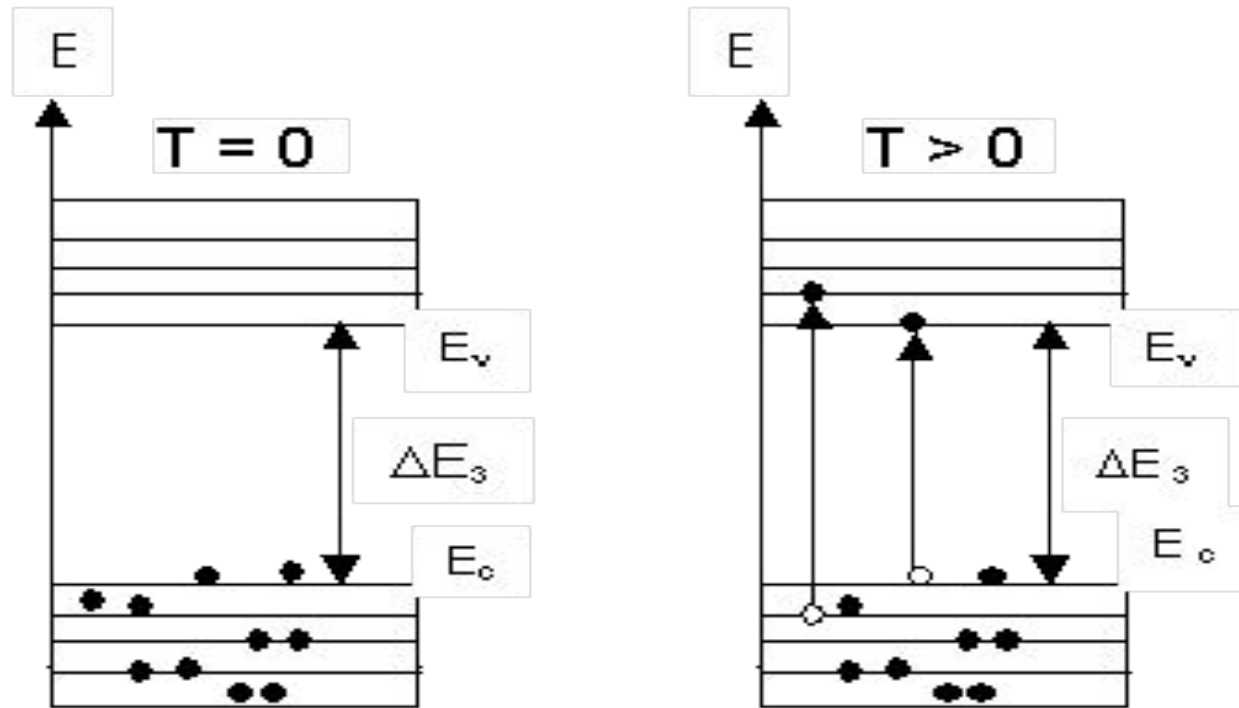
Образование свободного электрона и дырки

# Полупроводники



Электронные оболочки  
германия

# Полупроводники



Энергетическая структура зон собственного полупроводника:

а – при температуре  $T = 0$ ;

б – при температуре  $T > 0$ ;

● – электрон; ○ – вакансия (дырка)

# Полупроводники

## Удельная электропроводность собственного полупроводника

Согласно закону Ома в изотропном веществе удельная проводимость является коэффициентом пропорциональности между плотностью тока и величиной электрического поля в среде:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}.$$

Удельная электропроводность собственного полупроводника

$$\sigma = e(u_n + u_p)n,$$

где  $u_n = \langle V_n \rangle / E$  и  $u_p = \langle V_p \rangle / E$  - подвижности электронов проводимости и дырок (подвижность носителей заряда – коэффициент пропорциональности между дрейфовой скоростью носителей и приложенным внешним электрическим полем. Определяет способность электронов и дырок в металлах и полупроводниках реагировать на внешнее воздействие),  $\langle V_n \rangle$  и  $\langle V_p \rangle$  - средние скорости их дрейфа в поле напряженностью  $E$ ,  $e$  - элементарный заряд,  $n$  - концентрация электронов.

Удельная электропроводность полупроводников лежит в диапазоне  $10^3 < \sigma \leq 10^{-9} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ .



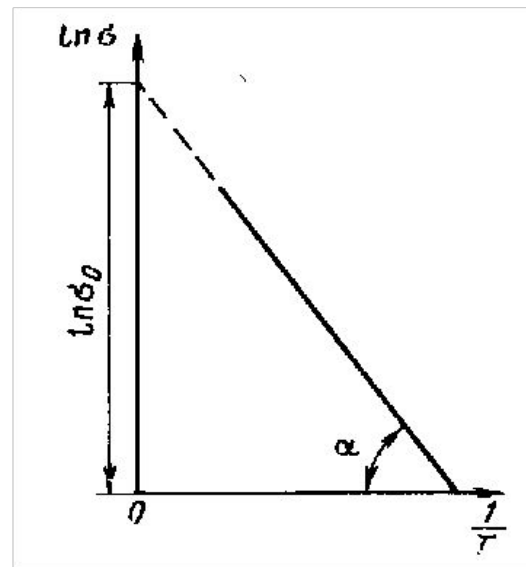
# Полупроводники

## Удельная электропроводность собственного полупроводника

Проводимость полупроводников также определяется соотношением

$$\sigma = 2 \left( \frac{2\pi \sqrt{m_n m_p} kT}{h^2} \right) e^{-\frac{E_g}{2kT}} = \sigma_0 e^{-\frac{E_g}{2kT}}$$

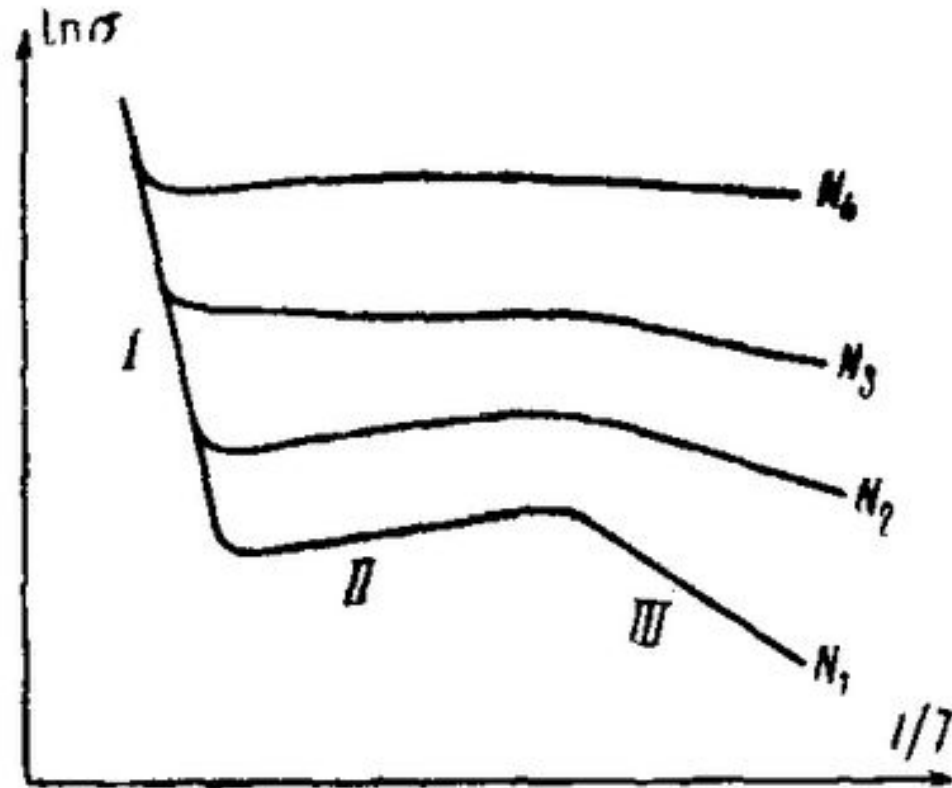
При  $T \rightarrow \infty$   $\sigma \rightarrow \sigma_0$ .



Зависимость собственной проводимости полупроводника от температуры

Тангенс угла наклона этой прямой к оси абсцисс равен  $\frac{E_g}{2kT}$ . Строя такой график, можно определить постоянную  $\sigma_0$  и ширину запрещенной зоны  $E_g$ .

# Полупроводники



Температурная зависимость проводимости полупроводника при различных концентрациях примесей:  $N_1 < N_2 < N_3 < N_4$

# Полупроводники

Полупроводники можно классифицировать по различным признакам:

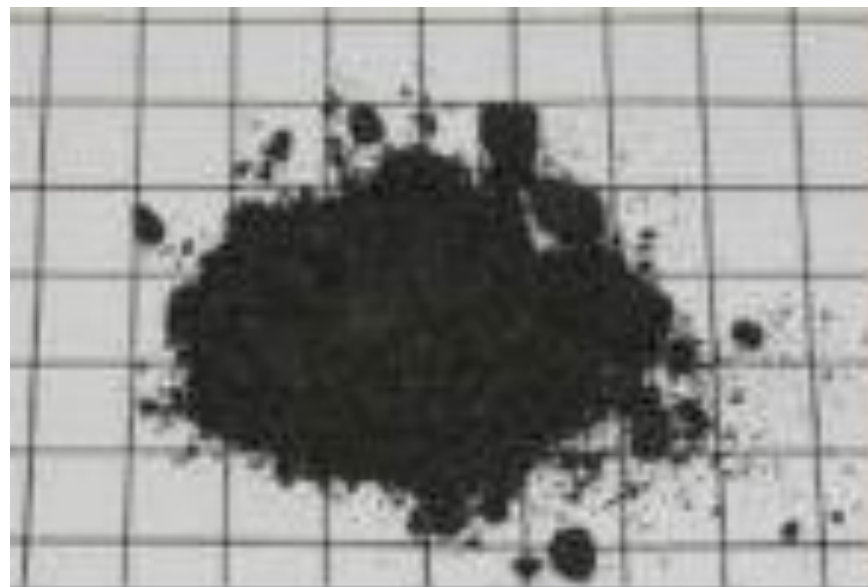
- по агрегатному состоянию: твердые и жидкие;
- по структуре: кристаллические и некристаллические;
- по физическим свойствам: магнитные и сегнетоэлектрические;
- по химическому составу: элементарные, соединения, органические.

# Полупроводники

## АЛЛОТРОПИЯ КРЕМНИЯ



Кристаллический  
кремний



Аморфный  
кремний

# Полупроводники

## Бинарные соединения

- *Группа  $A_3B_5$*  – арсениды, фосфиды, антимониды, нитриды (GaAs, InAs, InP, AlN, BN и т.д.). Эти элементы в основном используются в полупроводниковых лазерах, светоизлучающих диодах, диодах Ганна, лазерах, фотоэлектронных умножителях, пленочных детекторах излучения в рентгеновской, видимой и ИК областях.
- *Группа  $A_2B_6$*  – ZnO, ZnS, CdS, ZnSe, HgSe, CdTe, ZnTe обладают высокой фоточувствительностью. Применяются в фотоэлементах, электронно-лучевых приборах, приборах ночного видения, модуляторах оптического излучения.
- *Группа  $A_4B_6$*  – PbS (сульфид свинца), PbTe, SnS (сульфид олова) – узкозонные. Применяются в качестве приемников ИК излучения, допускающих работу вблизи комнатной, высокоэффективных термоэлектрических преобразователей.

# Полупроводники

## *Окислы*

Большинство окислов – изоляторы, но  $CuO$  и  $Cu_2O$  - полупроводники. Их применение пока ограничено из-за сложности механизма роста. В окислах меди открыто явление высокотемпературной (порядка 135 К) сверхпроводимости.

## *Слоистые полупроводники*

Иодид свинца ( $PbI_2$ ), дисульфид молибдена ( $MoS_2$ ), селенид галлия ( $GaSe$ ). Характеризуются слоистой кристаллической структурой. Внутри слоев обычно имеют ковалентные связи, значительно более сильные, чем ван-дер-ваальсовские связи между слоями. Слоистые полупроводники представляют интерес, т.к. поведение электронов в слоях является квази-двумерным. Взаимодействие между слоями можно изменять путем введения между ними посторонних атомов (это называется *интеркаляцией*).

## *Органические полупроводники*

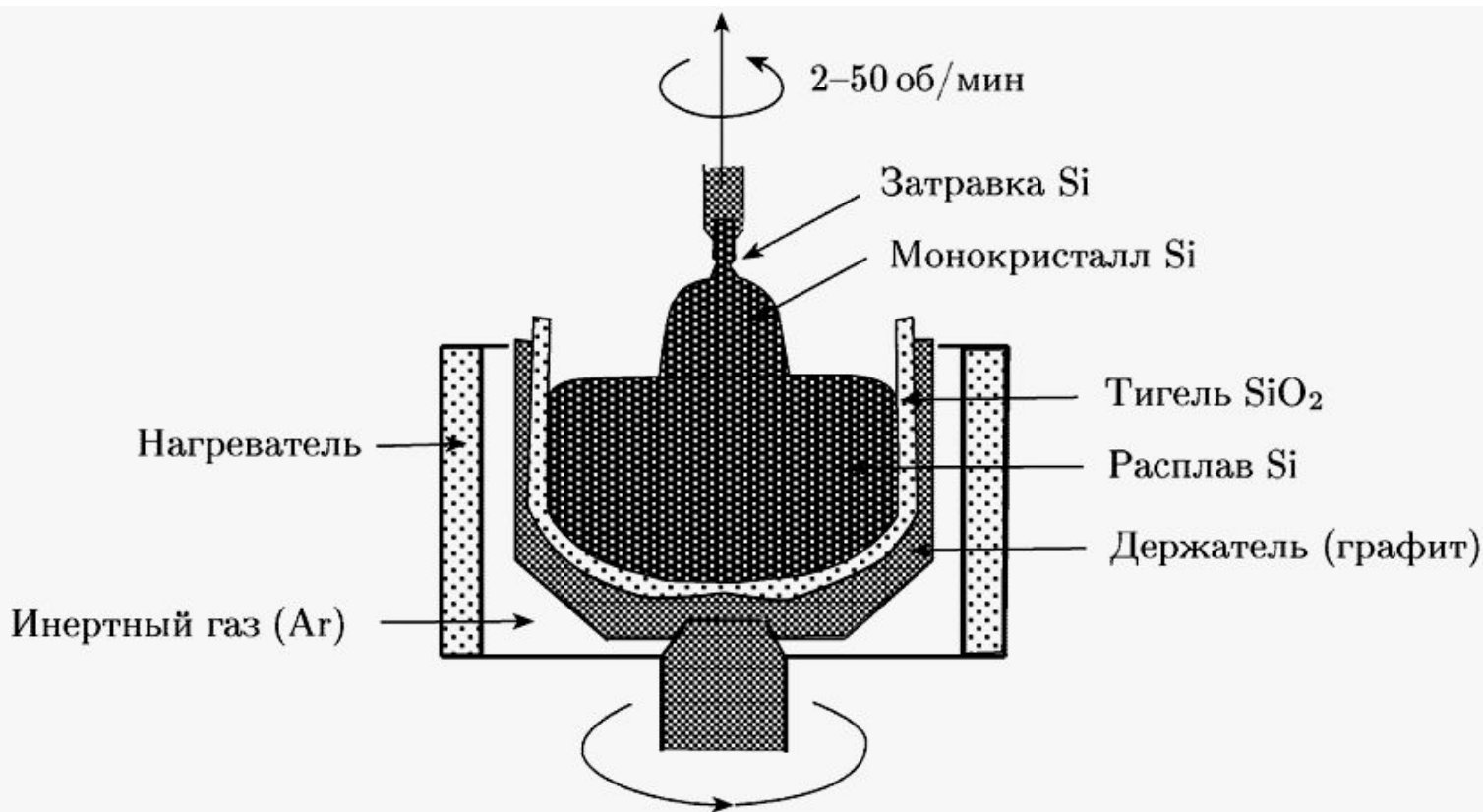
Полиацетилен  $(CH_2)_n$ , полидиацетилен. Преимущество – легко получать с необходимыми свойствами.

# Полупроводники

## МЕТОДЫ РОСТА

Метод

С



Схематическое изображение печи Чохральского для  
роста монокристаллов Si

# Полупроводники

## МЕТОДЫ РОСТА

### *Метод Бриджмена.*

В методе Бриджмена, как и в методе Чохральского, затравочный кристалл находится в контакте с расплавом. Однако вдоль длины тигля создается температурный градиент, так что температура около затравочного кристалла ниже точки плавления. Тигель может располагаться горизонтально или вертикально для контроля конвекционных потоков. По мере роста кристалла градиент температуры смещается вдоль тигля с помощью нагревателей, расположенных вдоль печи, или путем медленного движения внутри печи ампулы, содержащей затравочный кристалл.

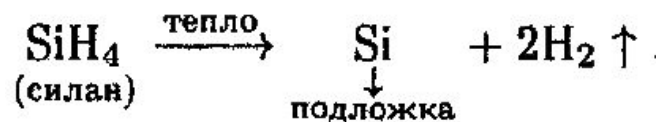


# Полупроводники

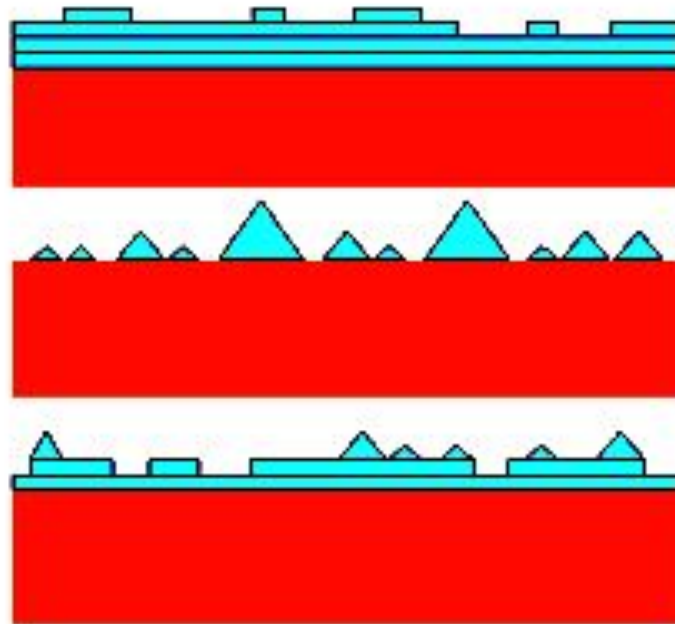
## Эпитаксия

**Эпитаксия** (от греческого epi – на, над; taxis – расположение, порядок) – это упорядоченное нарастание одного кристаллического материала на другом, т.е. ориентированный рост одного кристалла на поверхности другого (подложки).

Стандартная реакция получения пленки кремния



# Полупроводники



Механизм самоорганизованного  
роста тонкого слоя на  
поверхности монокристалла

**Спасибо за  
внимание!**