

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

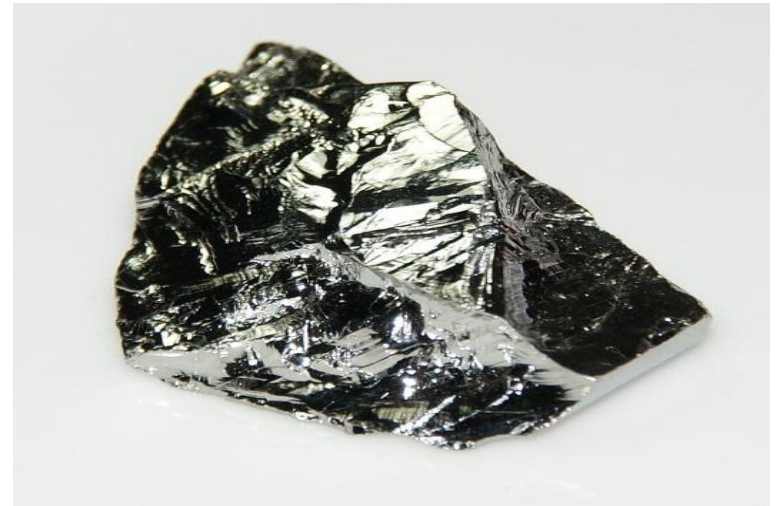
ПЕРИОД	РЯД	ГРУППА ЭЛЕМЕНТОВ															
		A I B	A II B	A III B	A IV B	A V B	A VI B	A VII B									
I	1	H 1.00795 водород															
II	2	Li 6.9412 литий	Be 9.01218 бериллий	B 10.812 бор	C 12.0106 углерод	N 14.0067 азот	O 15.9994 кислород	F 18.99840 фтор									
III	3	Na 22.98977 натрий	Mg 24.305 магний	Al 26.98154 алюминий	Si 28.086 кремний	P 30.97376 фосфор	S 32.06 сера	Cl 35.453 хлор									
IV	4	K 39.0983 калий	Ca 40.08 кальций	Sc 44.9559 скандий	Ti 47.88 титан	V 50.9415 ванадий	Cr 51.996 хром	Mn 54.938 марганец									
	5	Cu 63.546 медь	Zn 65.38 цинк	Ga 69.72 галлий	Ge 72.59 германий	As 74.9216 мышьяк	Se 78.96 селен	Br 79.904 бром									
V	6	Rb 85.4678 рубидий	Sr 87.62 стронций	Y 88.9059 иттрий	Zr 91.22 цирконий	Nb 92.9064 ниобий	Mo 95.94 молибден	Tc 98.9062 технеций									
	7	Ag 107.868 серебро	Cd 112.41 кадмий	In 114.82 индий	Sn 118.69 олово	Sb 121.75 сурьма	Te 127.60 теллур	I 126.9045 йод									

Полупроводники в таблице
Менделеева

Полупроводники

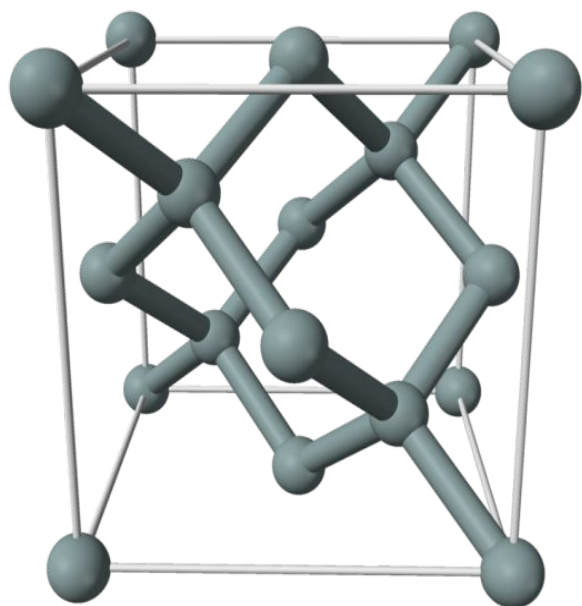


Поликристаллический
кремний

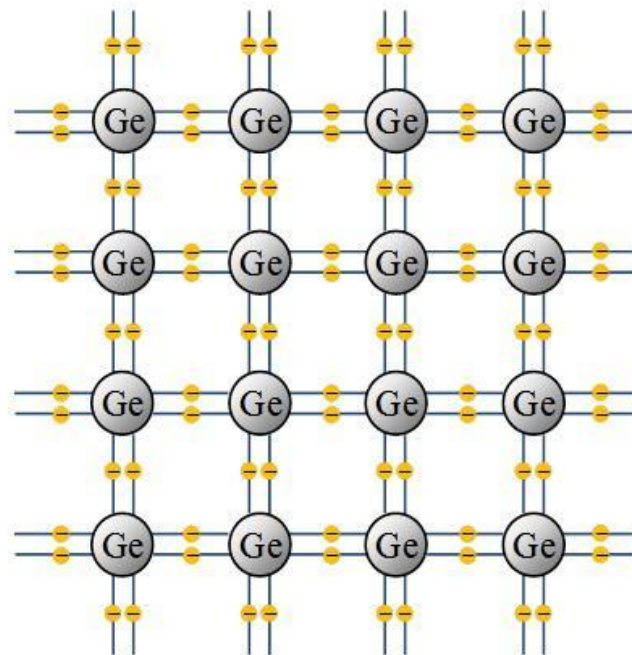


Кристалл
германия

Полупроводники

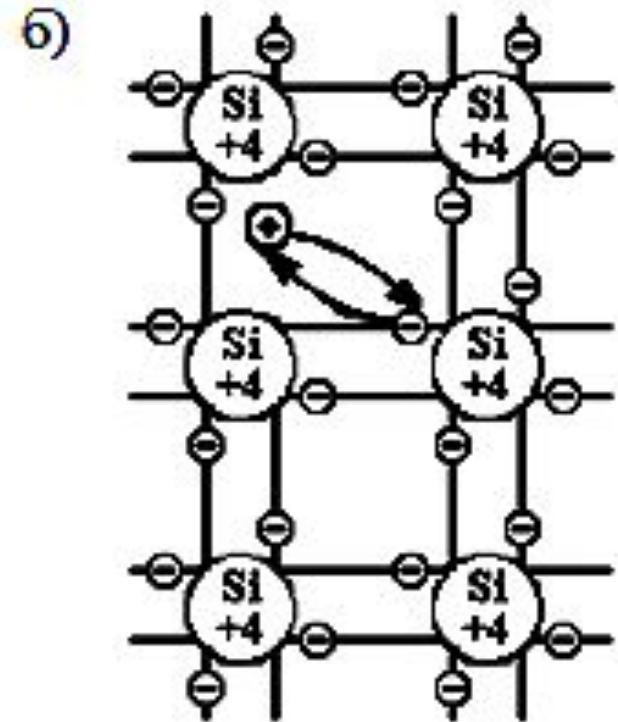
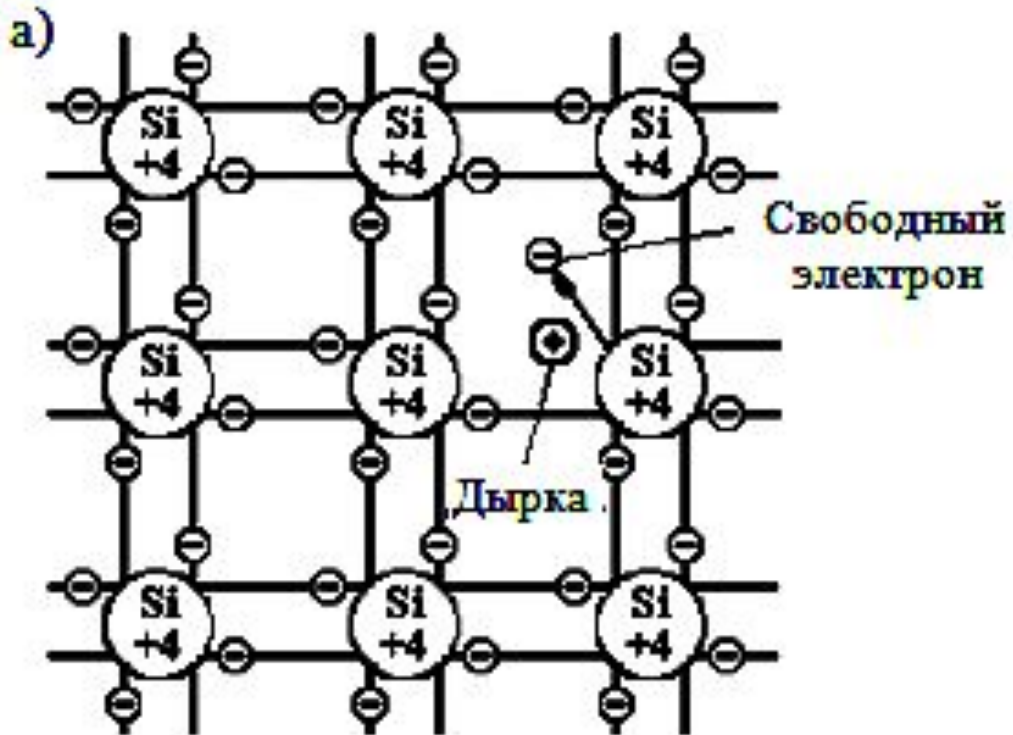


Кристаллическая
структура кремния и
германия



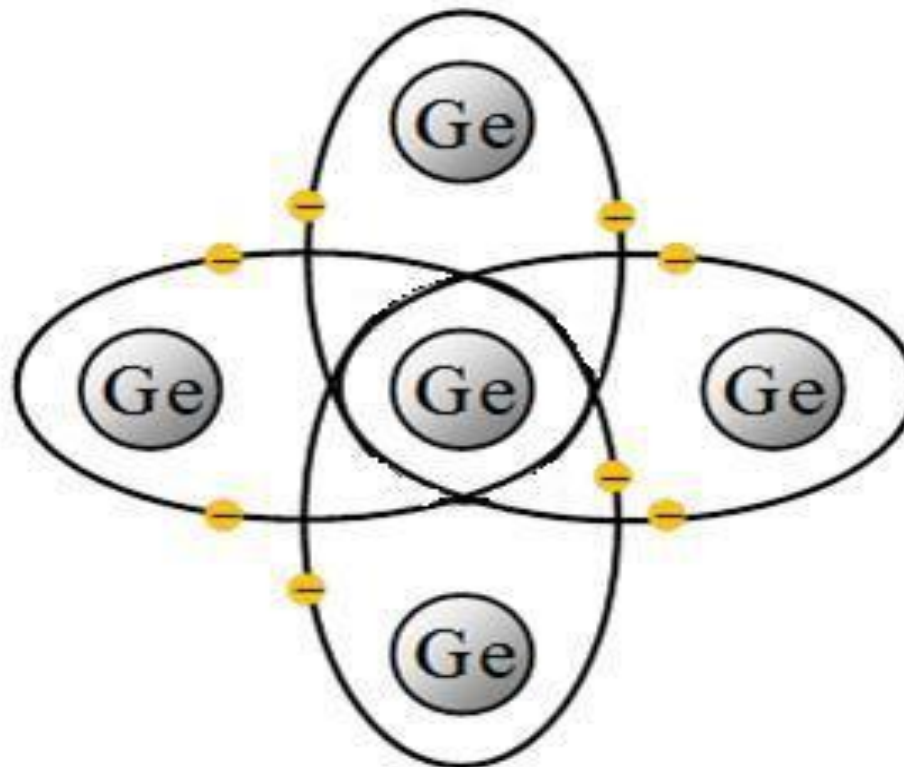
Плоская схема
структуры
германия

Полупроводники



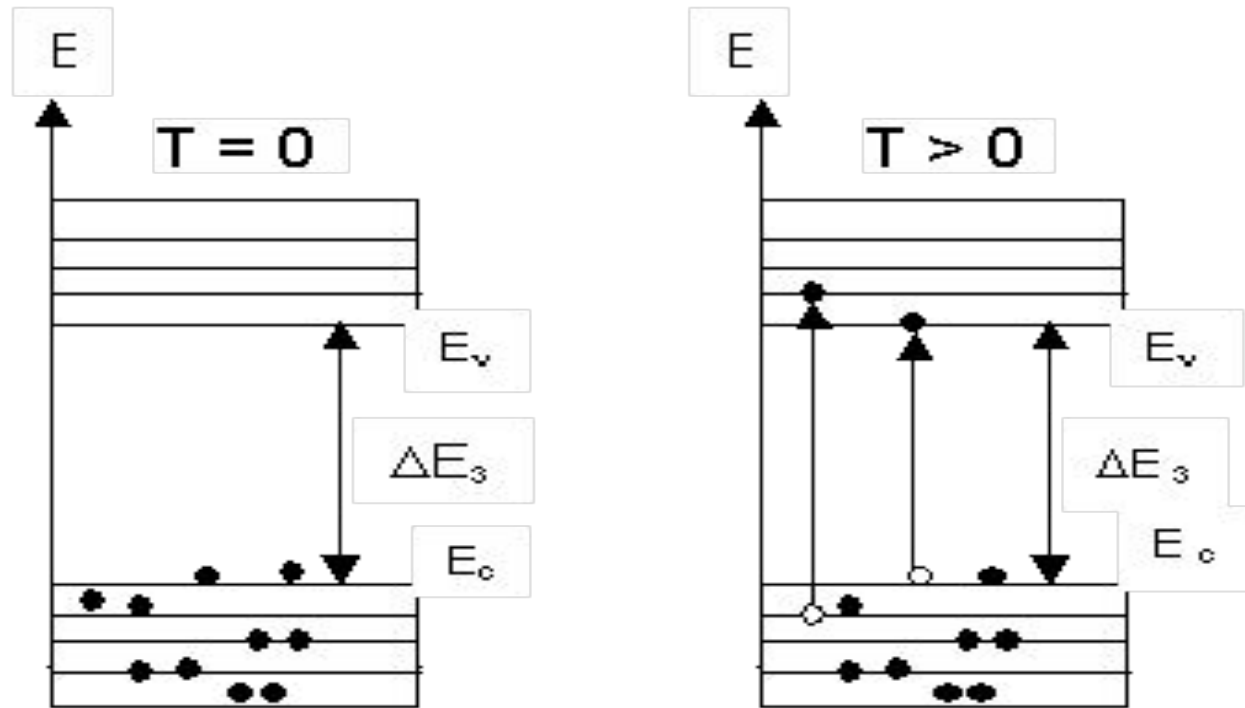
Образование свободного электрона и дырки

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 $10^3 < \sigma \leq 10^{-9} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.

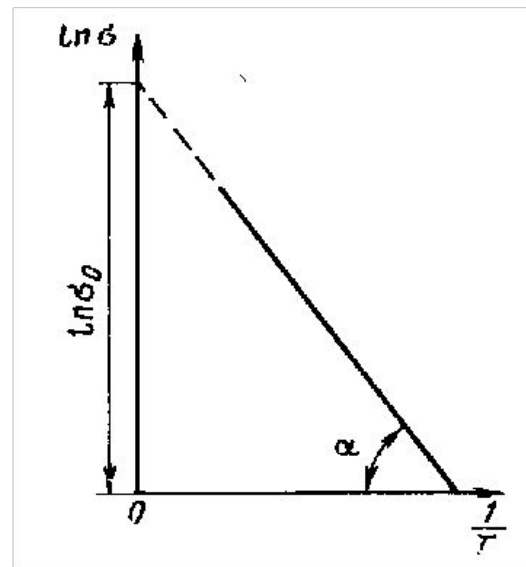
Полупроводники

Удельная электропроводность собственного полупроводника

Проводимость полупроводников также определяется соотношением

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

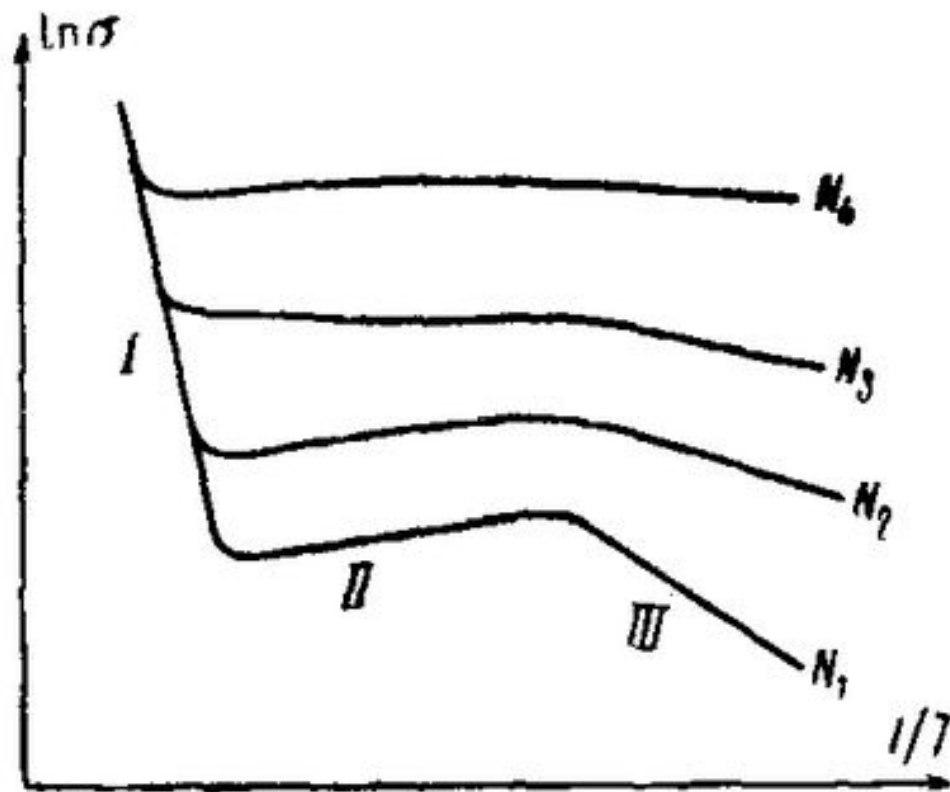
При $T \rightarrow \infty$ $\sigma \rightarrow \sigma_0$.



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 σ_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:

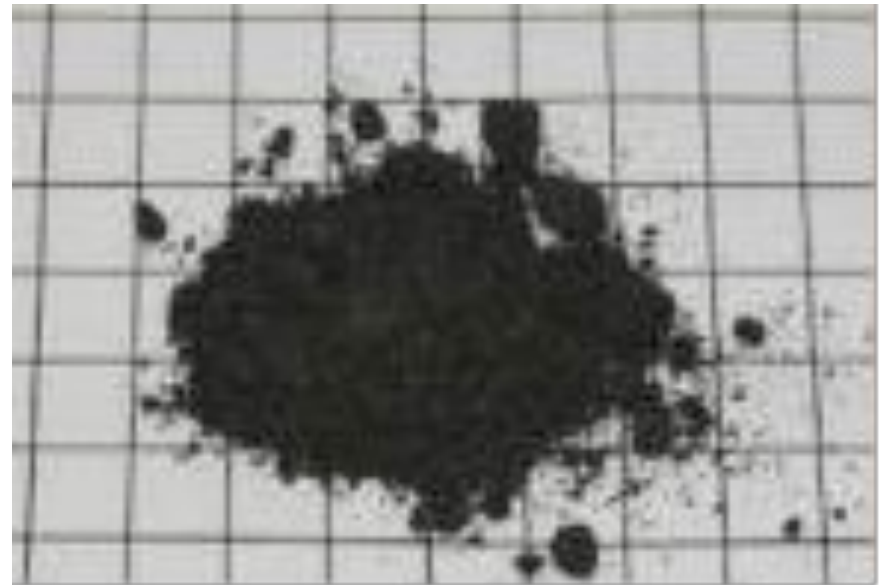
- по агрегатному состоянию: твердые и жидкие;
- по структуре: кристаллические и некристаллические;
- по физическим свойствам: магнитные и сегнетоэлектрические;
- по химическому составу: элементарные, соединения, органические.

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

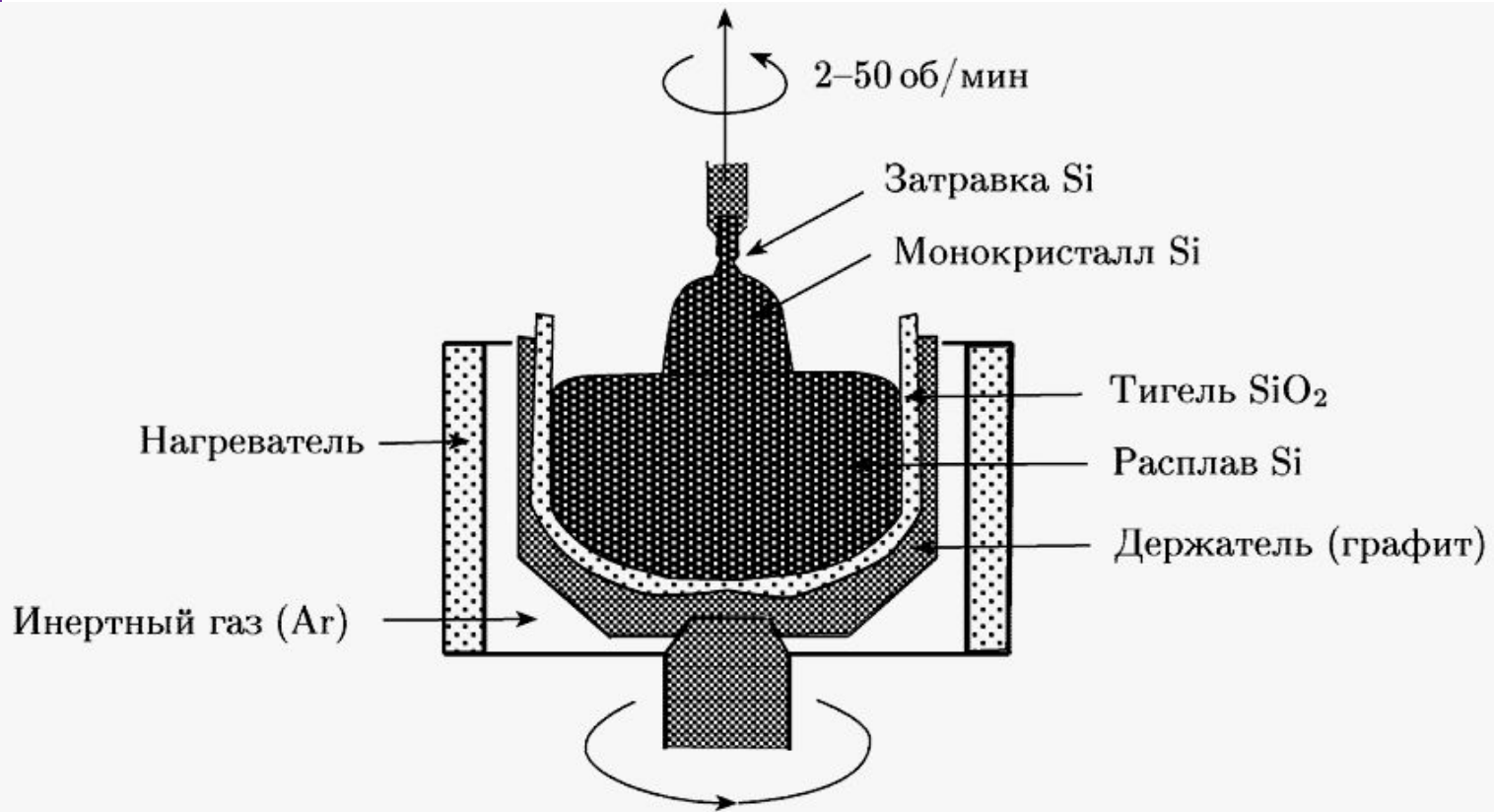
Полиацетилен $(CH_2)_n$, полидиацетилен. Преимущество – легко получать с необходимыми свойствами.

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

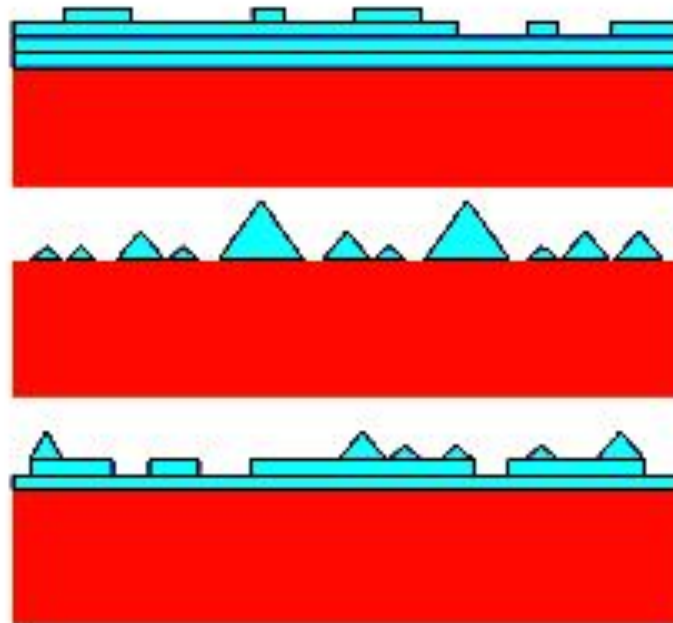
Эпитаксия

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!**