

# ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

**ВВЕДЕНИЕ**

**В результате освоения учебной дисциплины обучающиеся должны продемонстрировать следующие результаты образования:**

**Знать:**

- термины в области технологии электронной компонентной базы;
- основные технологические операции, используемые при производстве электронной компонентной базы;
- современные тенденции развития микроэлектроники.

**В результате освоения учебной дисциплины обучающиеся должны продемонстрировать следующие результаты образования:**

**Уметь:**

- выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе технологических операций;

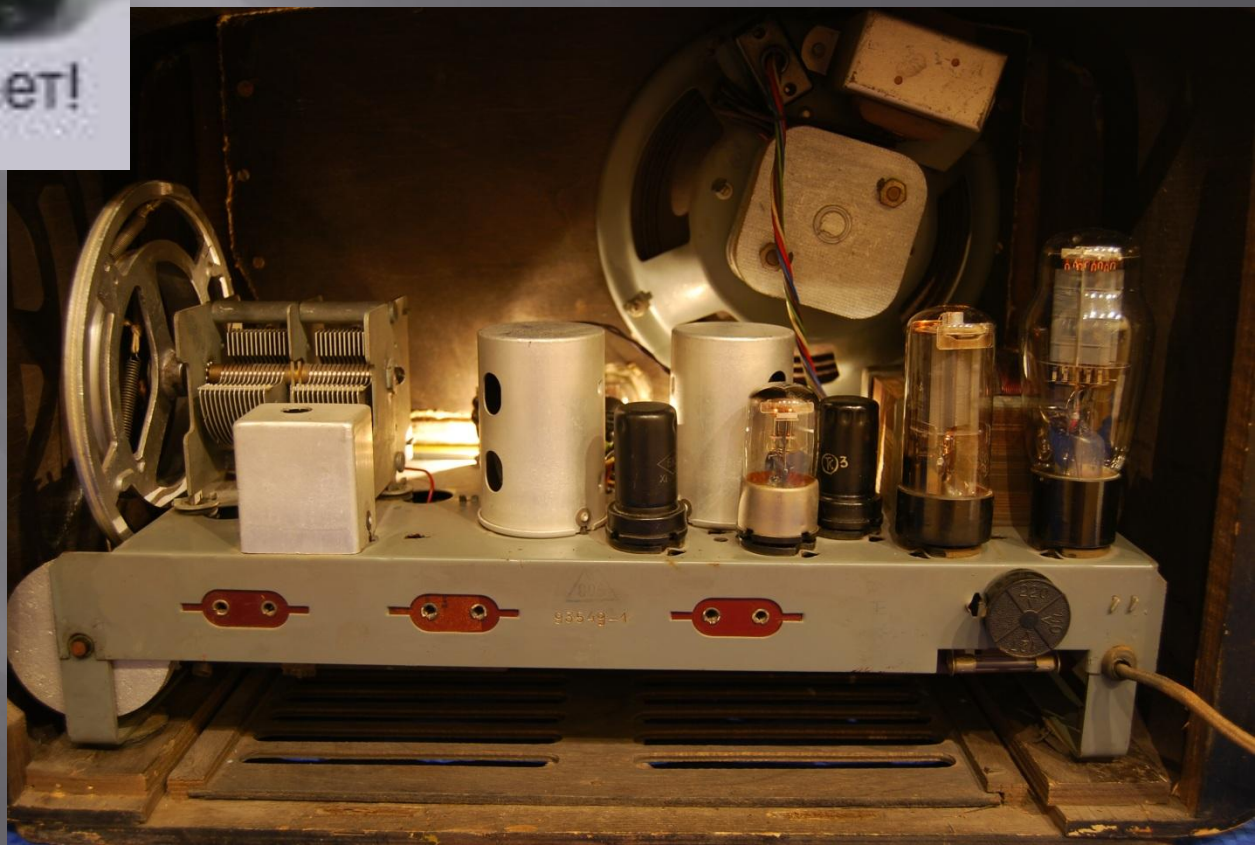
# ЛИТЕРАТУРА

- ▣ Коледов Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок. СПб.: Издательство «Лань», 2008.
- ▣ Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. СПб.: Издательство «Лань», 2001. (2003)
- ▣ Смирнов В.И. Физико-химические основы технологии электронных средств. Ульяновск, 2005.
- ▣ Технология СБИС под редакцией С. Зи, 1986

Ламповый раритет



спустя 50 лет работает!



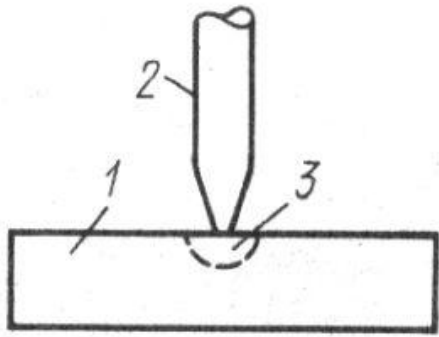
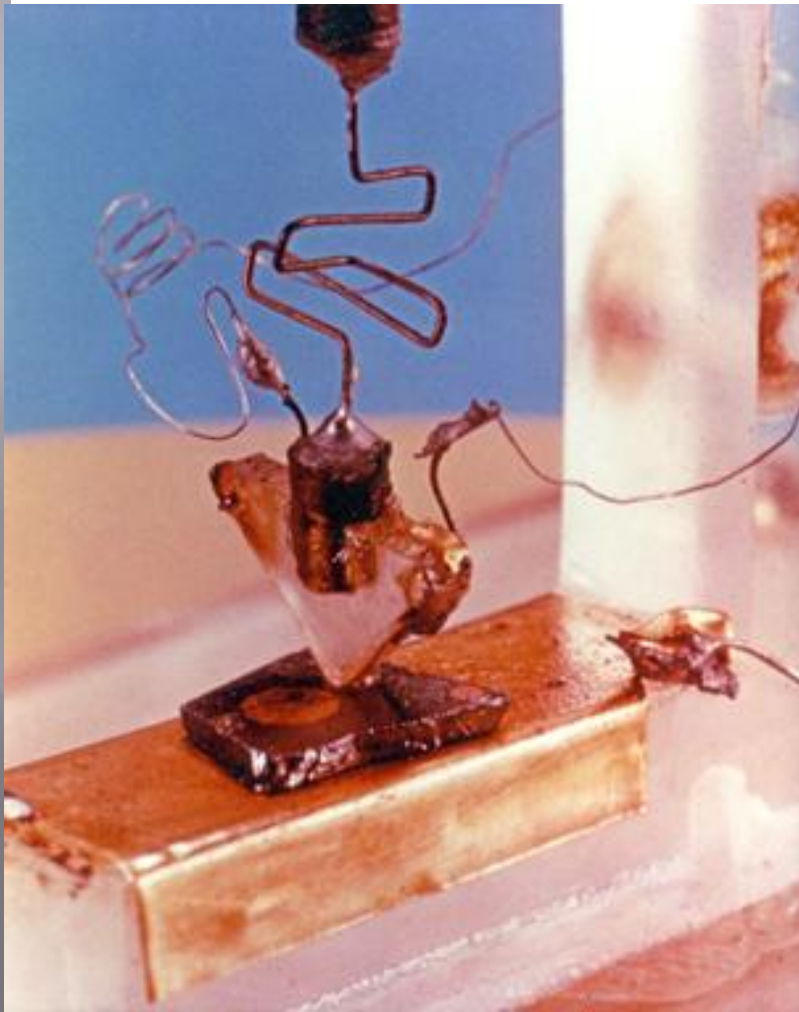


Рис. 1.2. Точечно-контактный  $p-n$  переход:  
 1— полупроводниковая пластина; 2— игла; 3— переход

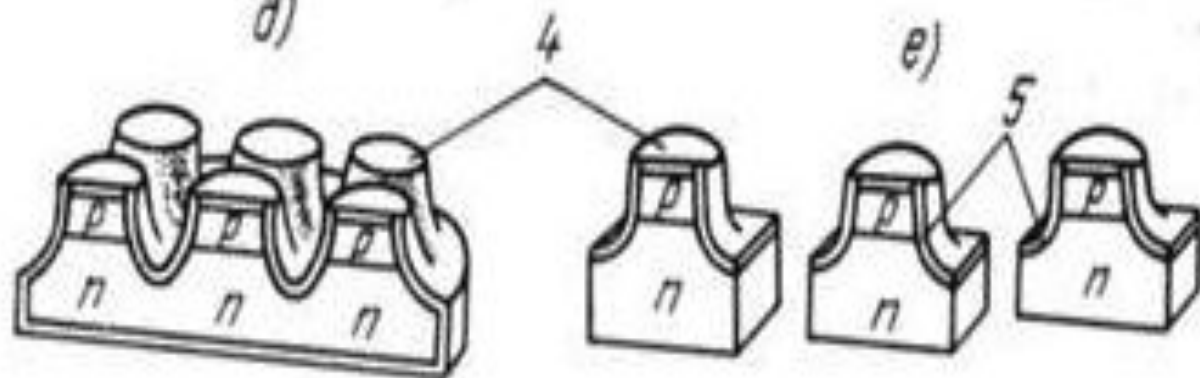
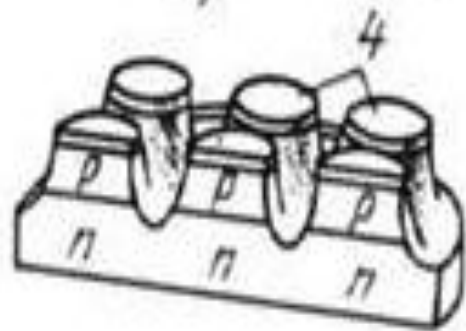
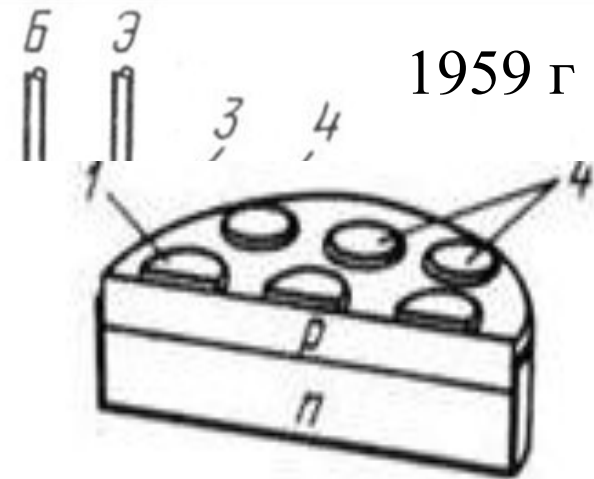
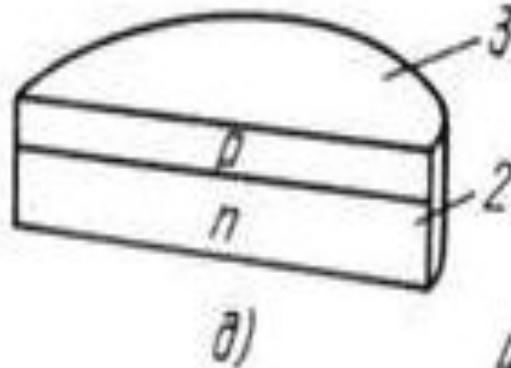
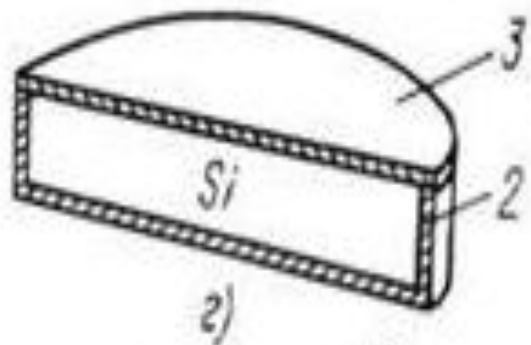


ИБ

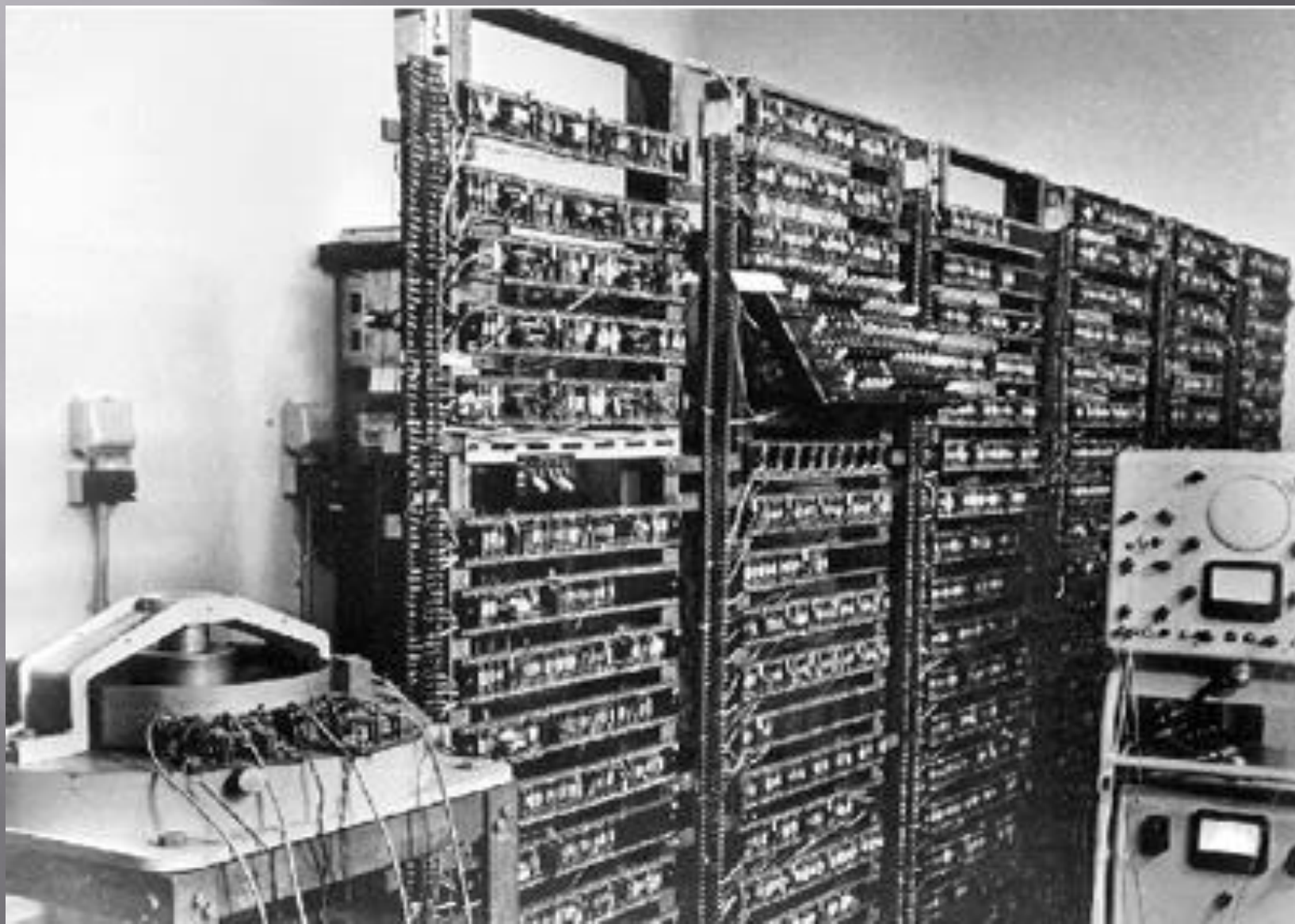
...кция германиевого сплавного тран-  
 ...нные слои германия, обогащенные индием

1952 г. – впервые получен кристаллический кремний  
1954 г. – кремниевый транзистор (Texas Instruments)  
1955 г. – почти все основные технологические операции: осаждение изолятора, фотолитография с масками (200 микрон), травление, диффузия.

1959 г



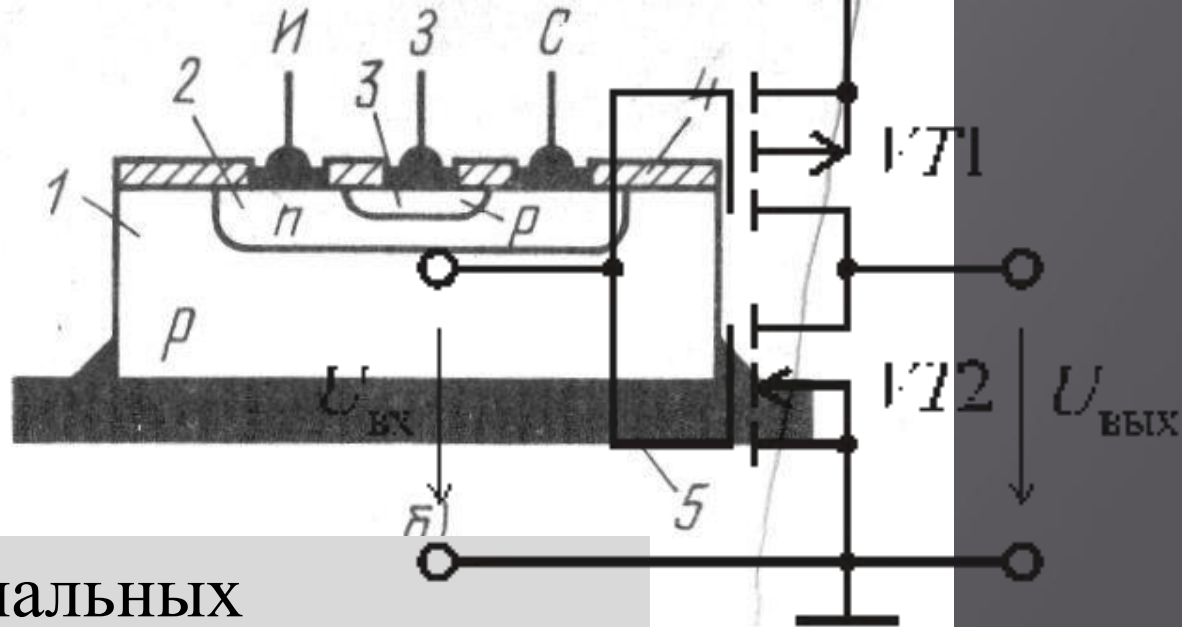
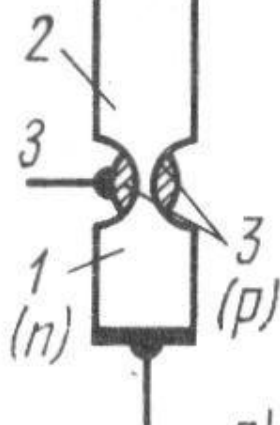
# Прототип транзисторного компьютера в университете “Manchester TC” (1953 г.)





1955 г. – первый полевой транзистор

1958 г  
(Ge)

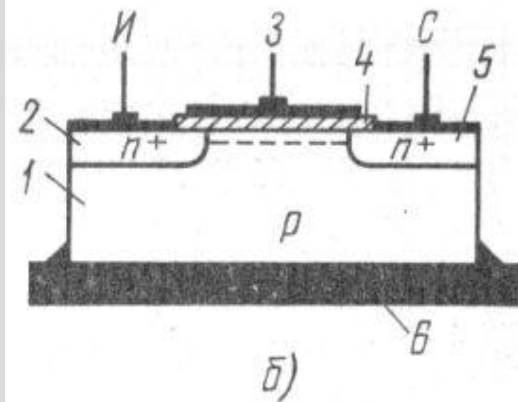


1962 г. – выпуск р-канальных транзисторов

п-канальные появились только в 1964 г.

1965 г. – комплементарная МОП (КМОП)

В 1968 г. в Bell Labs сменили материал затвора с алюминия на поликремний.



1959 г. – в Bell Labs изготовили полевой транзистор с изолированным затвором

В 1952 г. британский электронщик Джэффри Даммер опубликовал идею об интегральной схеме (ИС) как о «твёрдом бруске без соединяющих проводов».

В 1958 г. молодой инженер Джэк Килби (Texas Instruments) построил первую ИС из пяти элементов, выполняющую роль генератора.

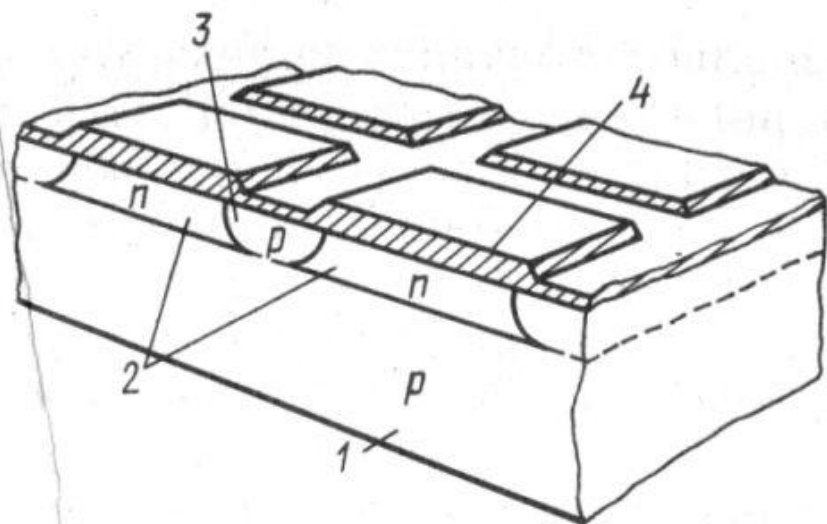


Рис. 1.10. Способ получения изолированных островков кремния  $n$ -типа путем проведения разделительной диффузии:

1— кремниевая подложка  $p$ -типа; 2— изолированные друг от друга островки кремния  $n$ -типа; 3— область разделительной диффузии; 4— окисел кремния

## ЭПИТАКСИЯ

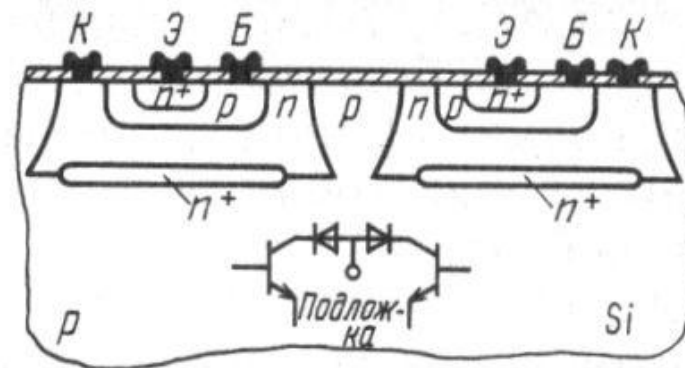
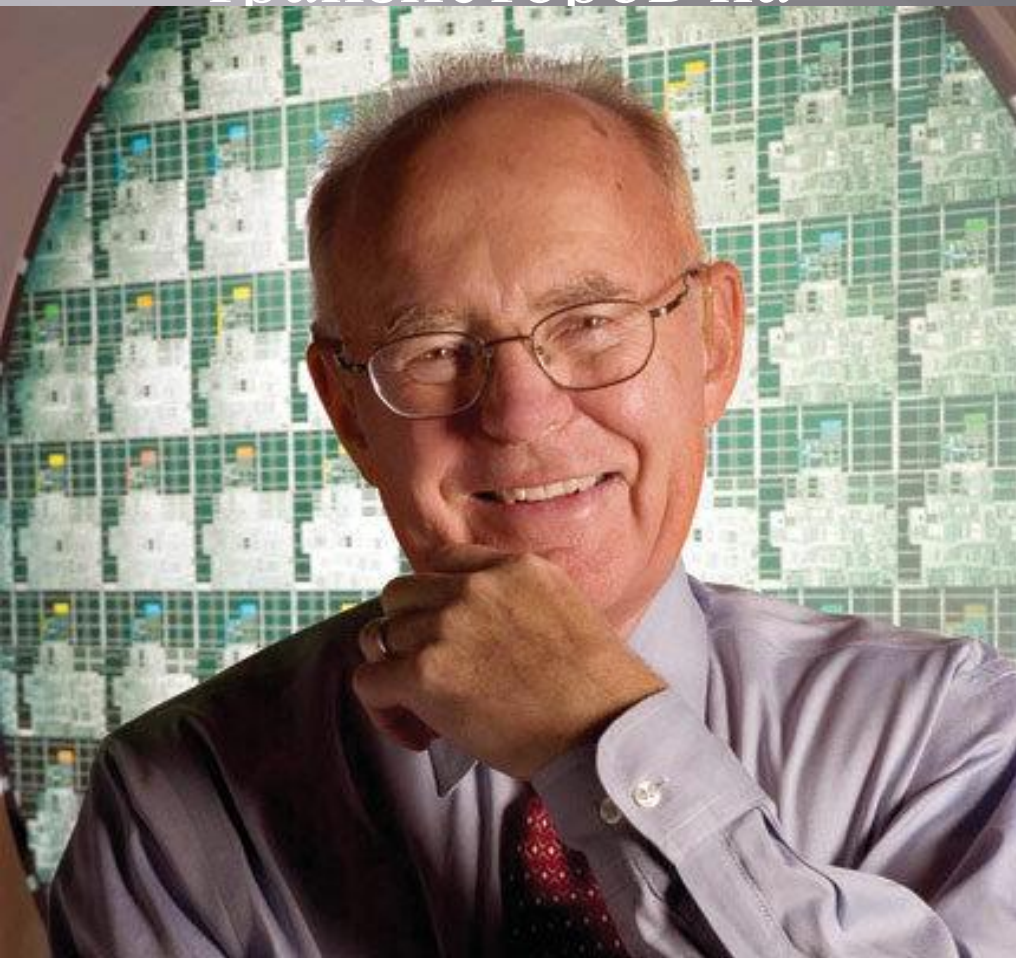


Рис. 1.11. Изоляция двух транзисторов интегральной микросхемы и эквивалентная схема изоляции

# Интеграция и микроминиатюризация

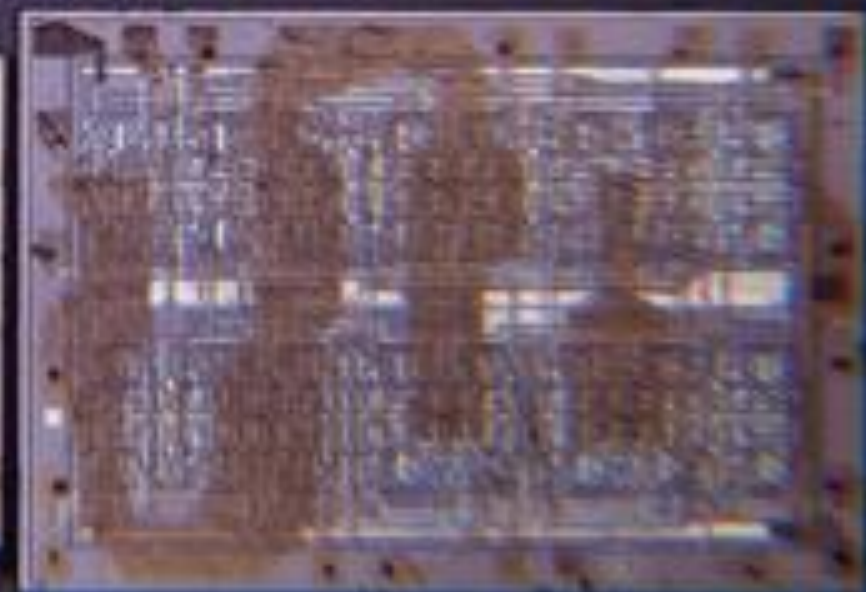
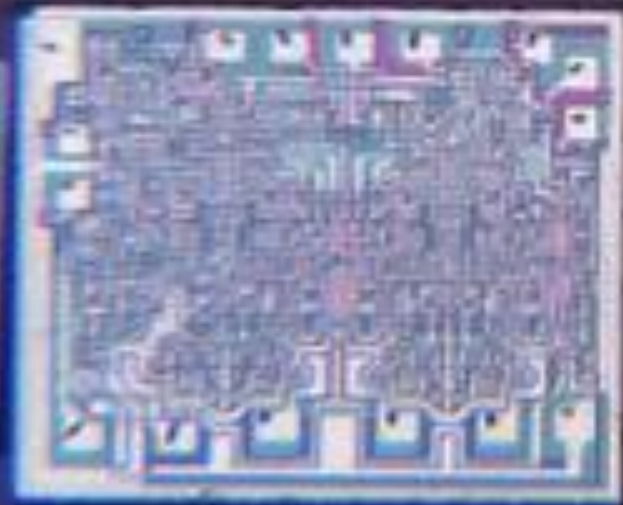
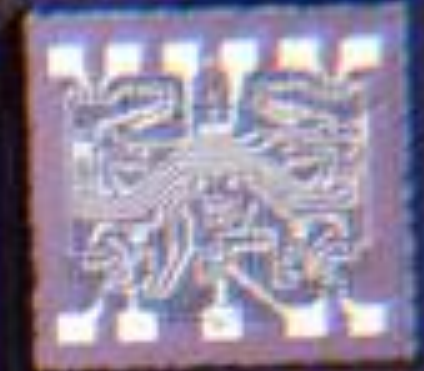
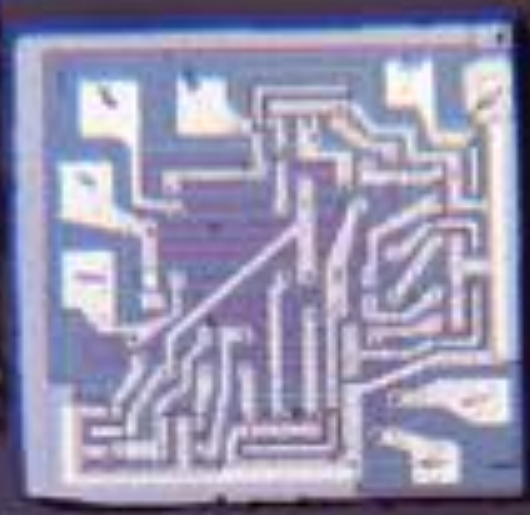
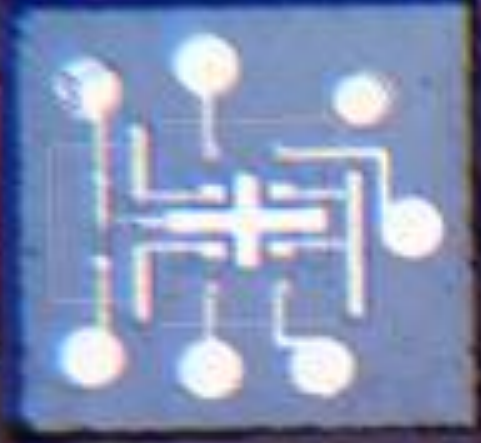
- Уменьшение потребляемой мощности
- Уменьшение себестоимости одного элемента
- Повышение быстродействия

▣ 1965 г «количество транзисторов на



полтора-два года»

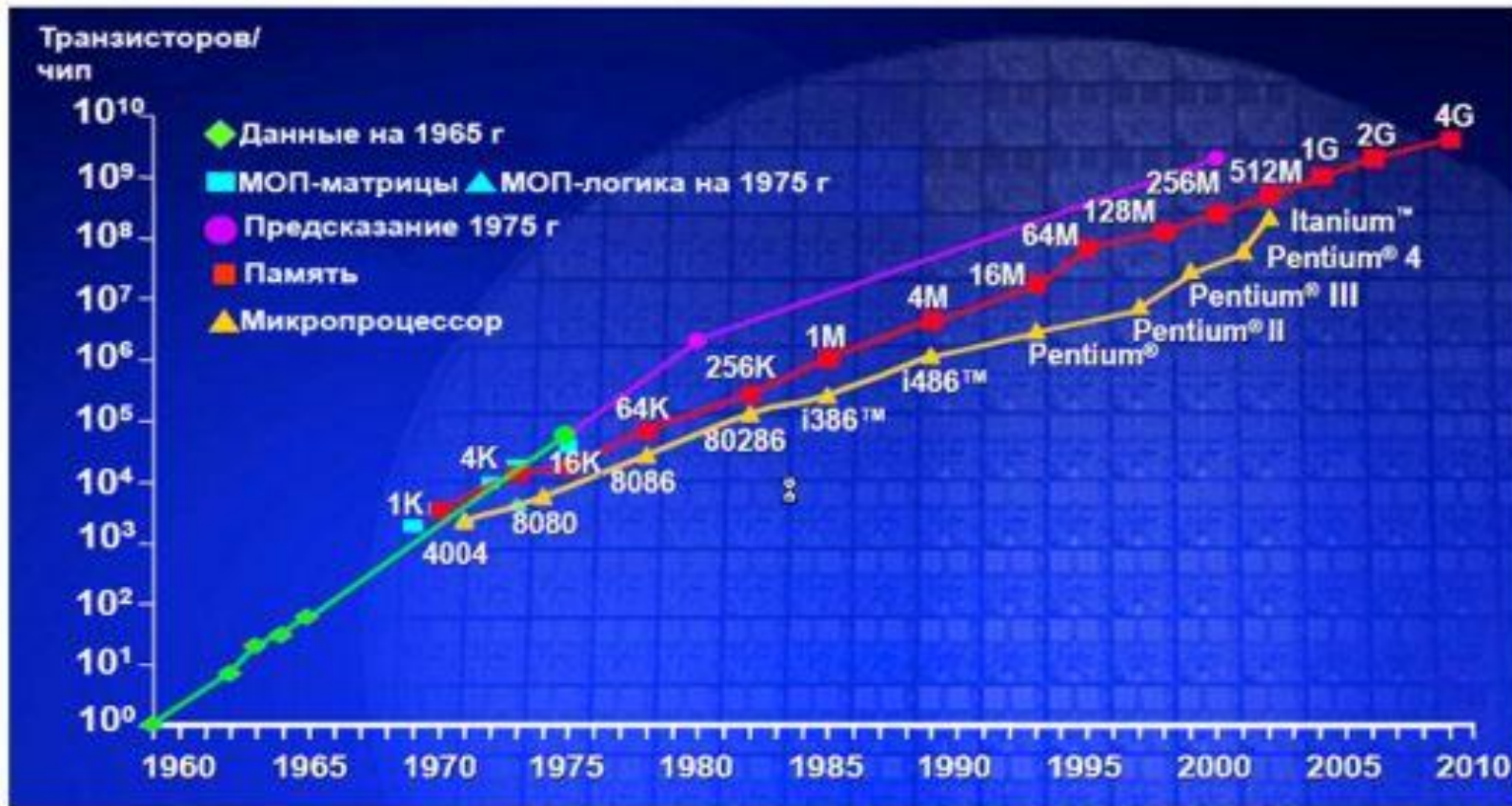
**Гордон Мур — американский инженер, химик и электронщик, один из руководителей корпорации Fairchild, производящей электронные комплектующие, один из основателей компании Intel**



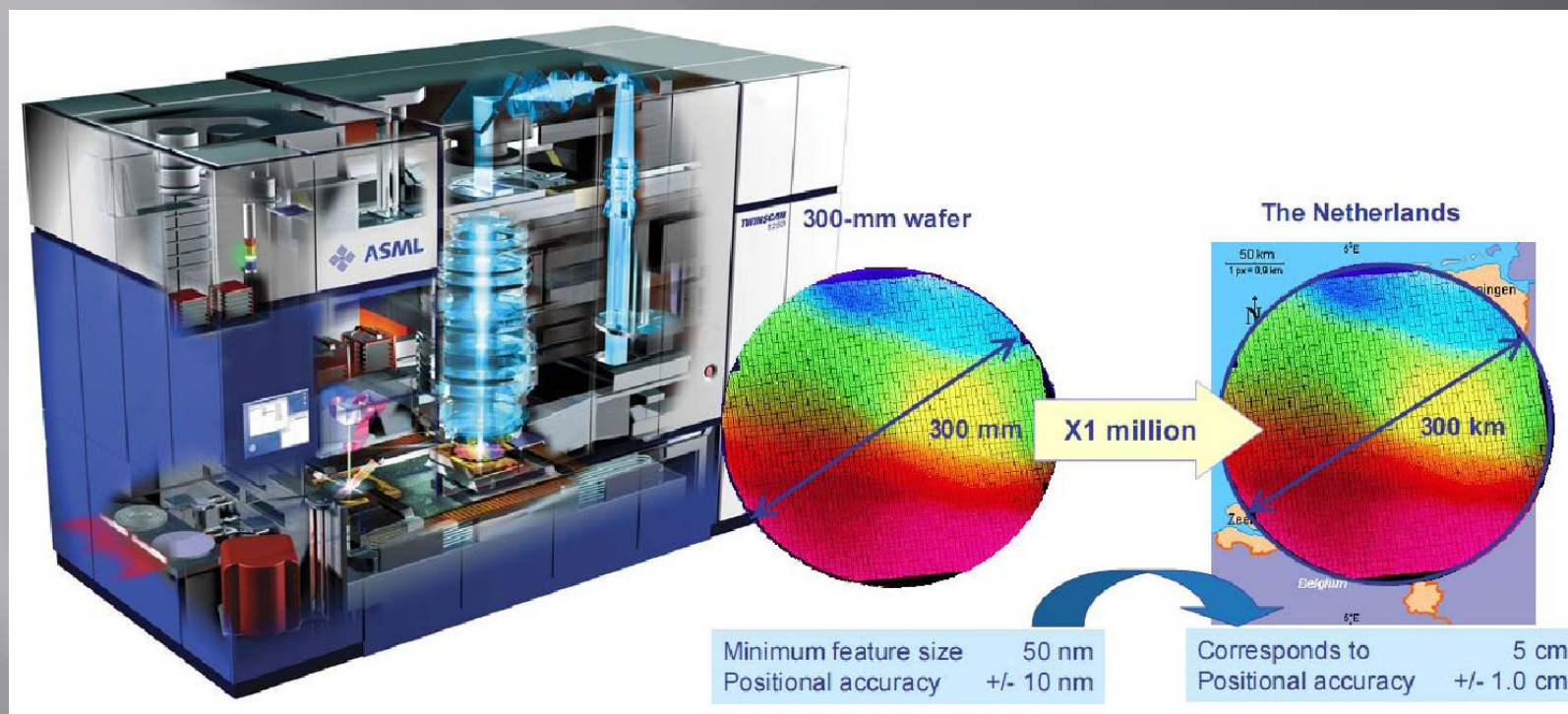
# Закон Мура



Сам Мур так оценивает выполнение своего правила. Как видно, имеется расхождение на 1-2 порядка. Много это или мало?



# Иммерсионный оптический литограф (степпер-сканер) Twinscan 1250 фирмы ASML (Нидерланды)

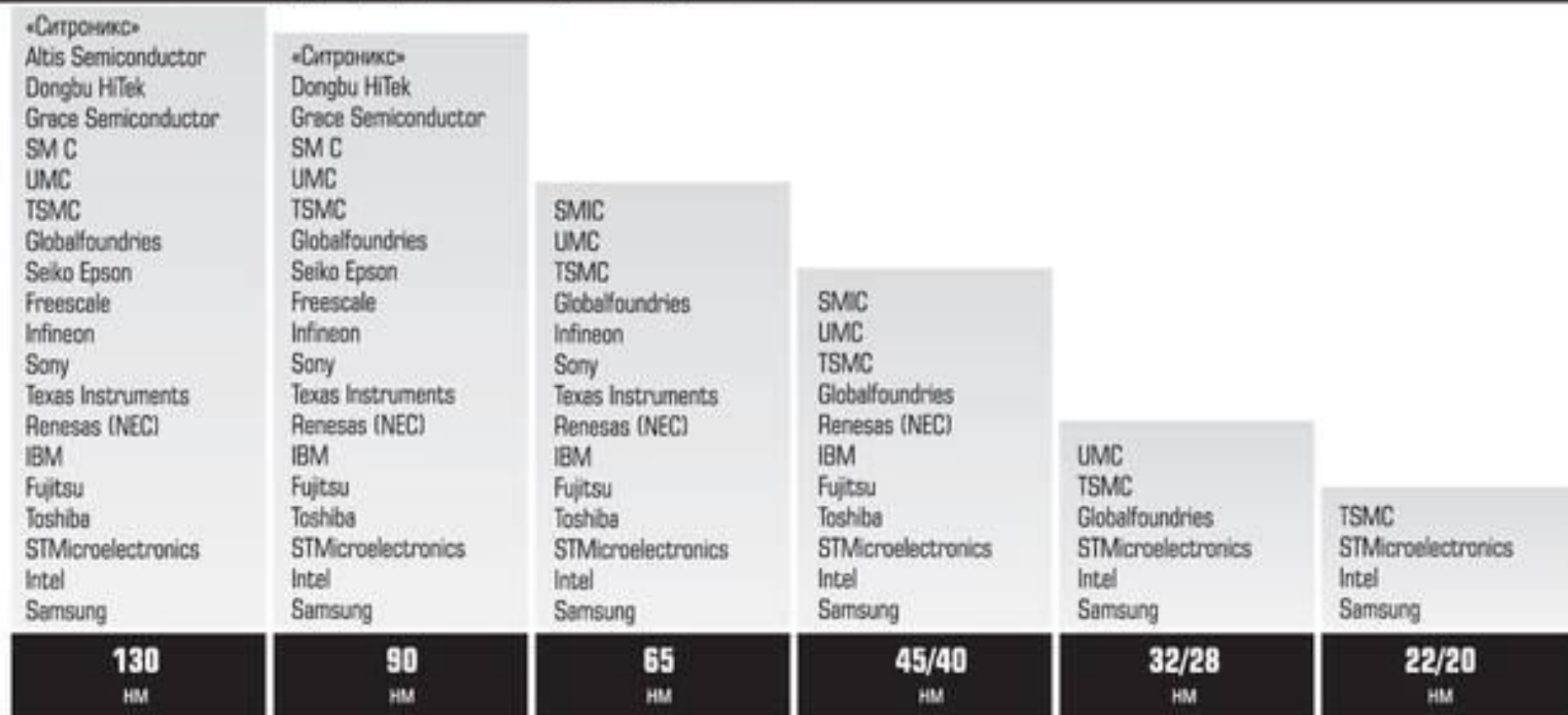


В качестве сравнения: это соответствует ситуации, если бы за одну минуту(!) вся территория Нидерландов была покрыта рисунком с размером элемента 5 см с точностью  $\pm 1$  см по всей площади рисунка (то есть, при формировании этого воображаемого рисунка от края и до края Голландии может «набежать ошибка» в 1 см!).

# STMicroelectronics

(сотрудничает с компанией «Ситроникс» — участвует в создании фабрик по производству микросхем с проектными нормами 180 и 90 нм)

## Технологические лидеры разработки и производства чипов

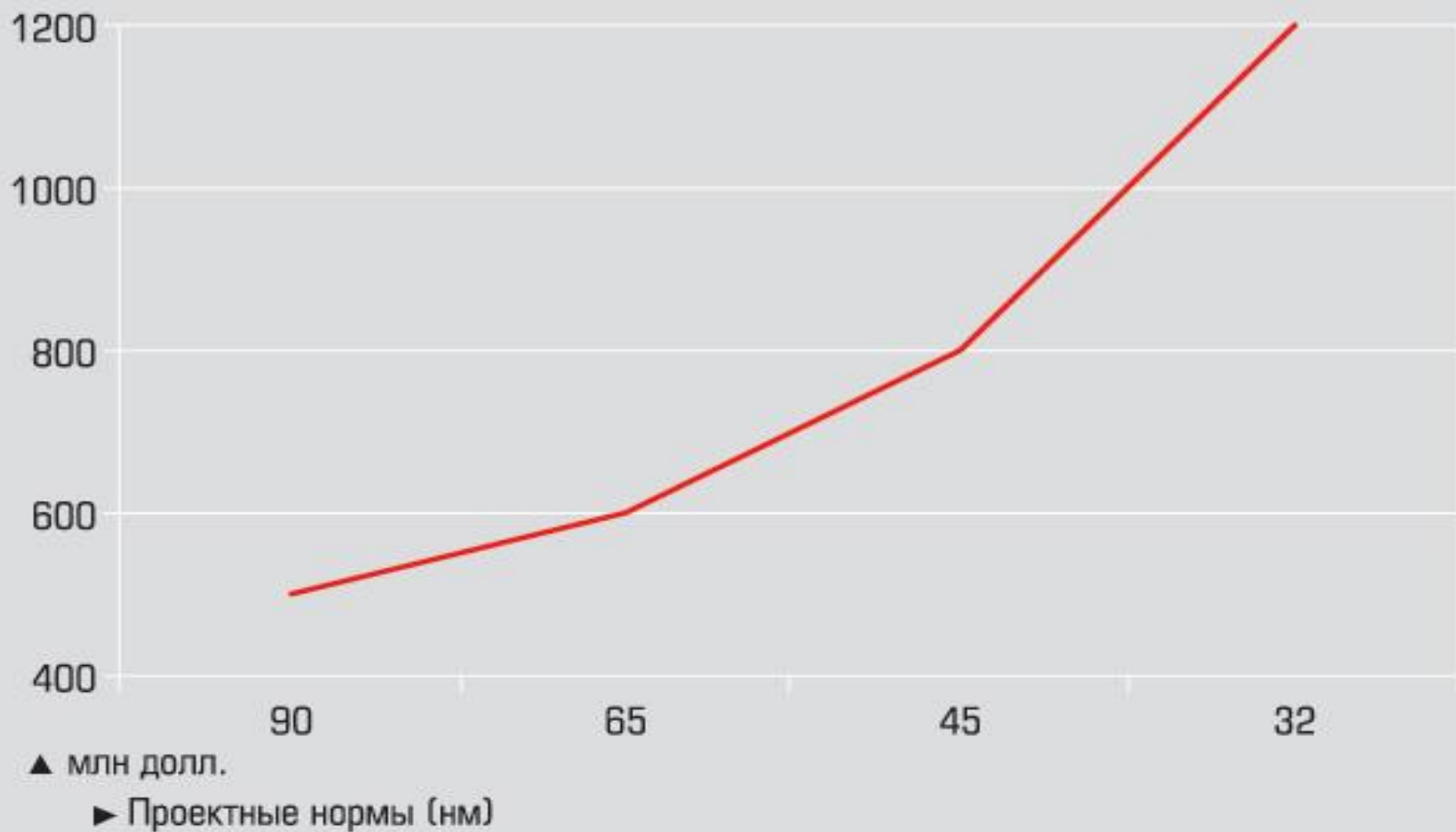


Реализуемые проектные нормы

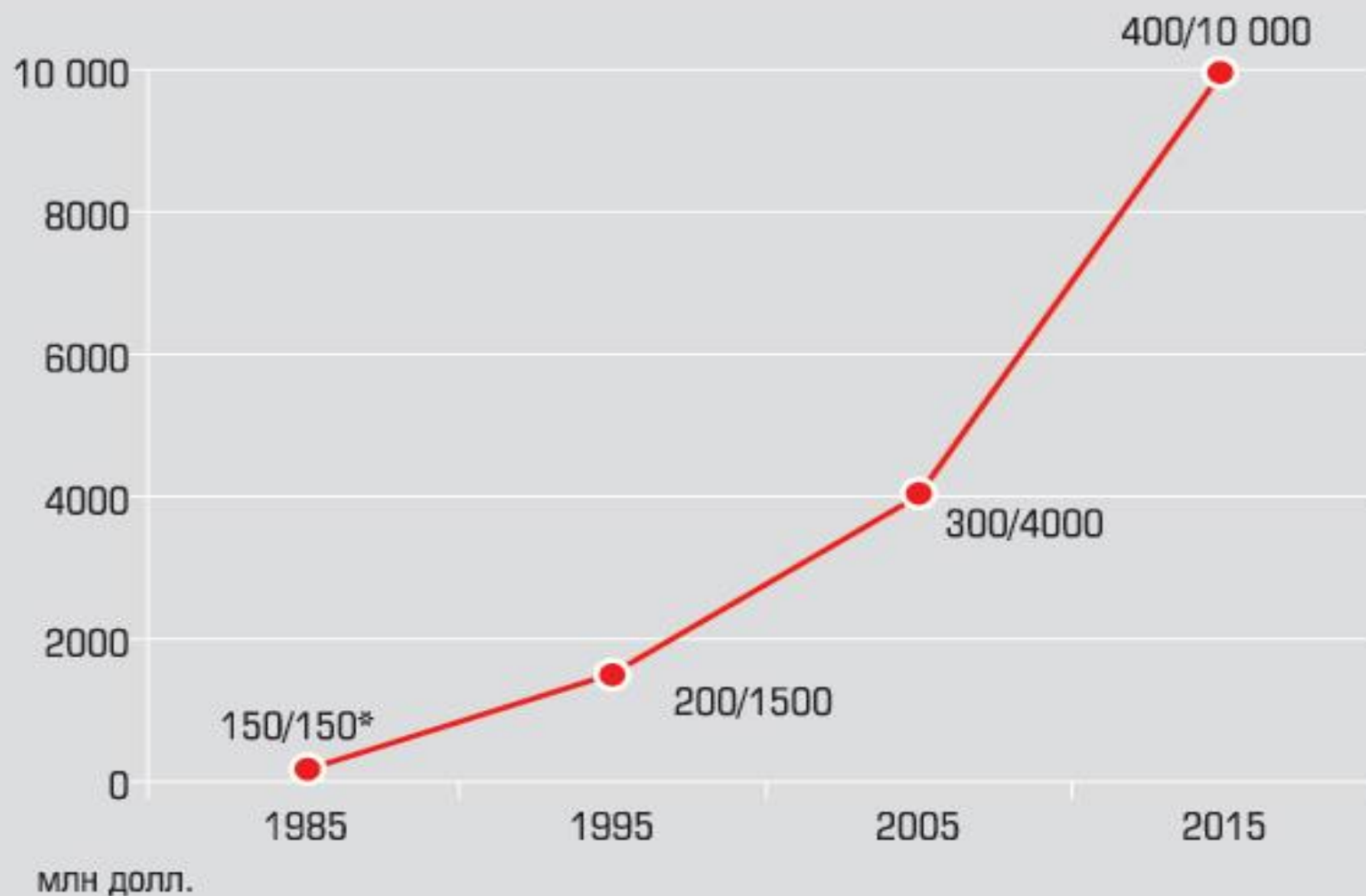


Менее известный «второй закон Мура», введённый в 1998 году Юджином Мейераном, гласит, что стоимость фабрик по производству микросхем экспоненциально возрастает с усложнением производимых микросхем.

# Рост стоимости разработки микрочипов



## Рост стоимости фабрик по производству микрочипов



\*Размер пластины/Стоимость фабрики (мм/млн долл.).

Источник: STMicroelectronics

# Завод Микрон (Зеленоград) — 90нм

- Основное коммерческое направление — RFID метки, чипы для sim-карт, документов
- На месте получают чистую воду, газы — продукты разделения воздуха. Все остальное — практически всю химию, «чистые» пластины, и прочие материалы — импортируют.
- Мелкосерийное производство фотошаблонов под 90-180нм есть, но фотошаблоны для критических слоев (с самыми мелкими деталями) приходится изготавливать за рубежом.
- Поставщик базовой технологии 180 и 90нм — французская компания STMicroelectronics. Дальнейшие модификации технологии делают уже на Микроне (например SiGe, кремний-на-изоляторе и проч.).
- Оборудование — импортное.

# Классификация материалов

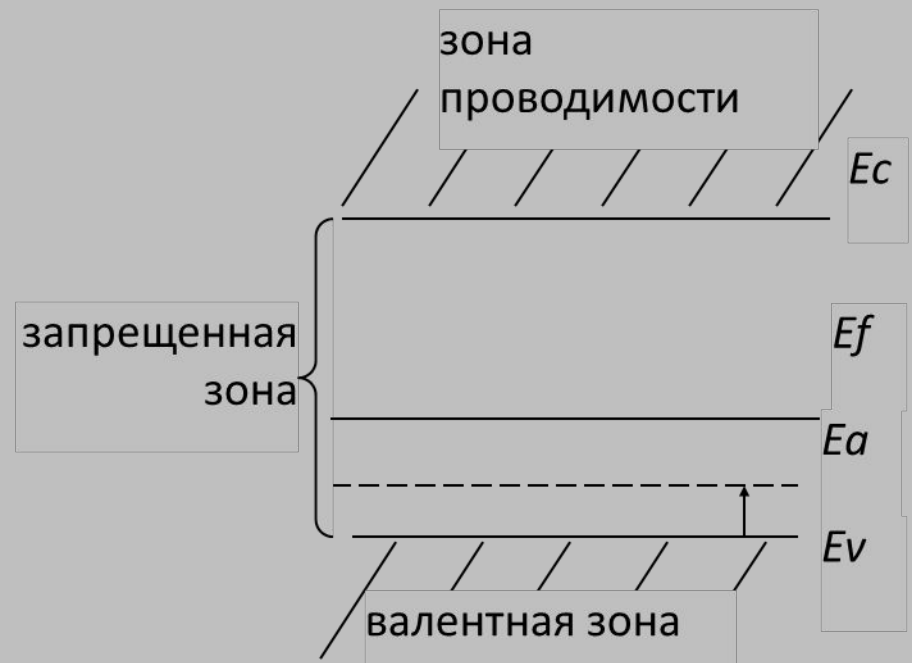
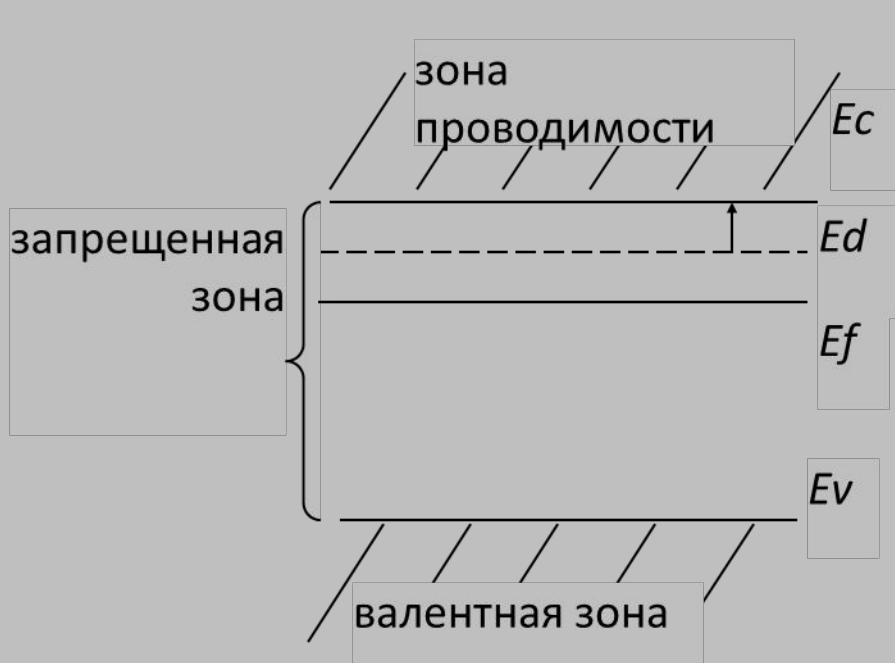
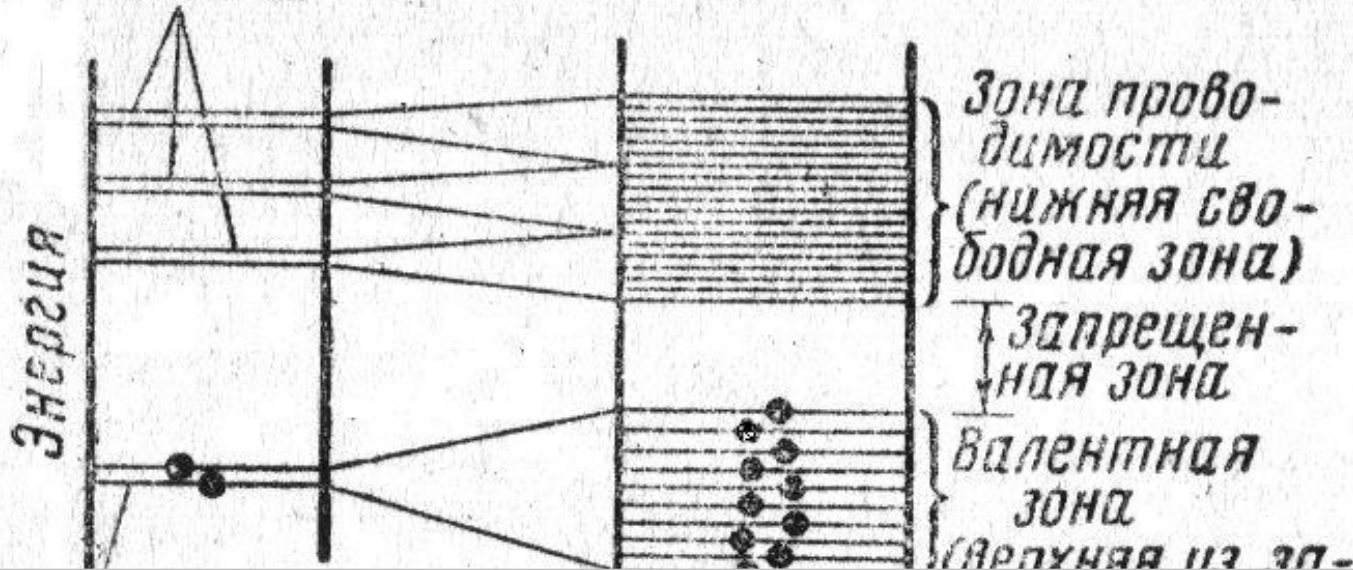
По назначению:

- **основные** (полупроводники),
- **технологические** (абразивные материалы, химические материалы, реагенты, диффузаны, фоторезисты, рентгено- и электронорезисты, лаки, эмали, компаунды и др),
- **конструкционные** (металлы, сплавы, стекла, керамика, пластмассы и клеи для изготовления корпусов),
- **вспомогательные** (для обеспечения необходимых газовых сред, для изготовления приспособлений и оснастки, для придания готовым изделиям товарного вида, особо чистая вода).

# Твердые вещества:

- Монокристаллические
- Поликристаллические
- Аморфные

# Уровни возбужденного атома



# Стекла

*Тугоплавкие стекла* имеют боросиликатную или алюмосиликатную основу, обладают высокими диэлектрическими свойствами, большими термостойкостью, температурой размягчения и механической прочностью. *Легкоплавкие стекла* имеют свинцовый, баритовый или магнезиальный состав.

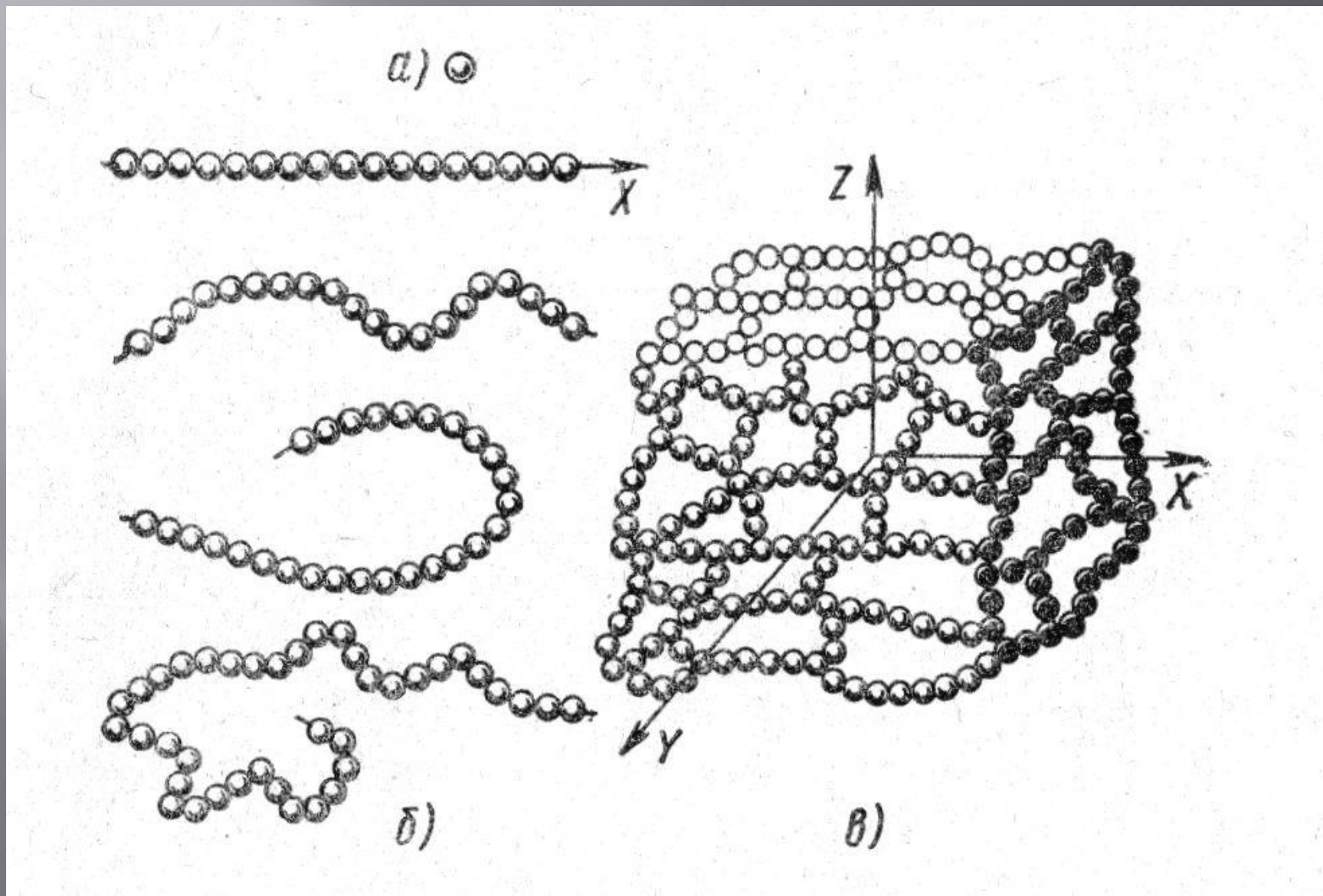


# Керамика

Получают спеканием неорганических солей с различными минералами или оксидами металлов.

Кристаллообразующими (непластичными) компонентами являются неорганические соли, минералы (кварц, глинозем и др.), оксиды металлов и карбонаты, а пластичными – различные глинистые материалы, облегчающие оформление заготовок и деталей.

# Молекулы органических веществ



Пластмассы – материалы, получаемые на основе природных или синтетических смол (полимеров) и способные под действием нагрева и давления формироваться в изделия нужной формы, а затем устойчиво ее сохранять.

Пластмассы состоят из основы (связующего вещества), наполнителя, отвердителя, пластификатора и смазывающих добавок. В качестве *связующего вещества* используют различные эпоксидные, кремнийорганические и полиэфирные смолы. *Наполнитель* обеспечивает требуемые механические свойства пластмасс и представляет собой порошок из стекла, талька, асбеста графита или других материалов.

Термопластичные пластмассы под действием температуры могут переходить из жидкого состояния в твёрдое (при охлаждении) и из твердого в жидкое (при повторном нагреве), т.е. являются термообратимыми.

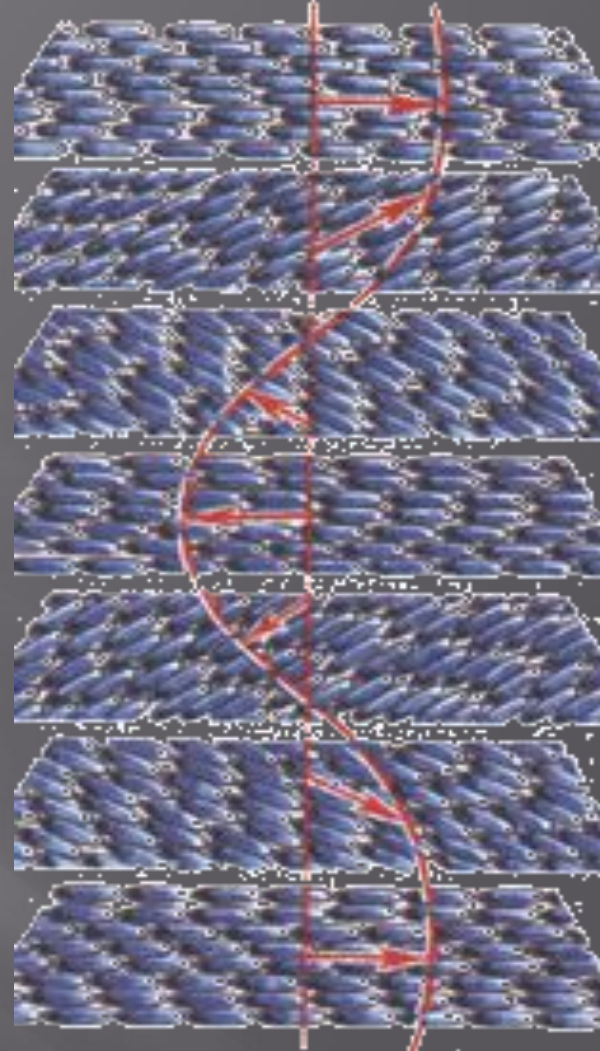
Терморезистивные пластмассы под действием температуры переходят из жидкого состояния в твёрдое (при охлаждении), но при повторном нагреве не переходят из твердого состояния в жидкое, т.е. являются термонеобратимыми.

# Жидкие кристаллы



**Смектические**  
(молекулы имеют вытянутую форму, ориентированы параллельно друг другу и образуют тонкий слой)

**Нематические**  
(содержат нитевидные частицы, направленные параллельно друг другу)



**Холестерические**  
(соседние молекулярные слои немного повернуты друг относительно друга, стопка слоев описывает в пространстве спираль)

# Кремний

состоит из трех стабильных изотопов:

$^{28}_{14}\text{Si}$  (92,27%),  $^{29}_{14}\text{Si}$  (4,68%) и  $^{30}_{14}\text{Si}$  (3,05%).

Кремний после кислорода — самый распространенный элемент в земной коре. В свободном состоянии кремний в природе не встречается. Наиболее распространенными его соединениями являются оксид кремния (IV)  $\text{SiO}_2$  и соли кремниевых кислот — *силикаты*.

**полевой шпат**  $\text{K}_2\text{O} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 6\text{SiO}_2$ ,

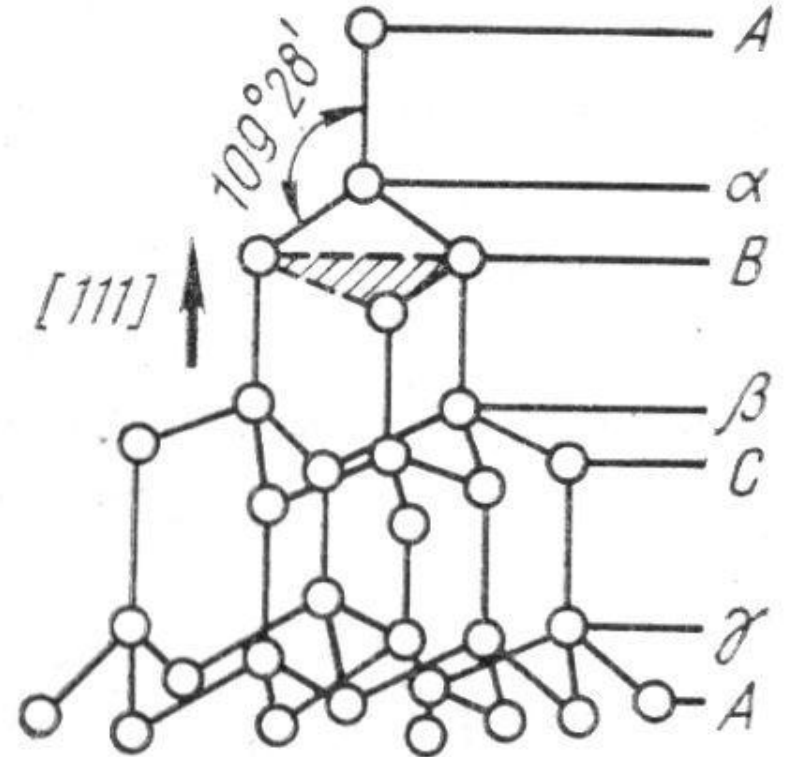
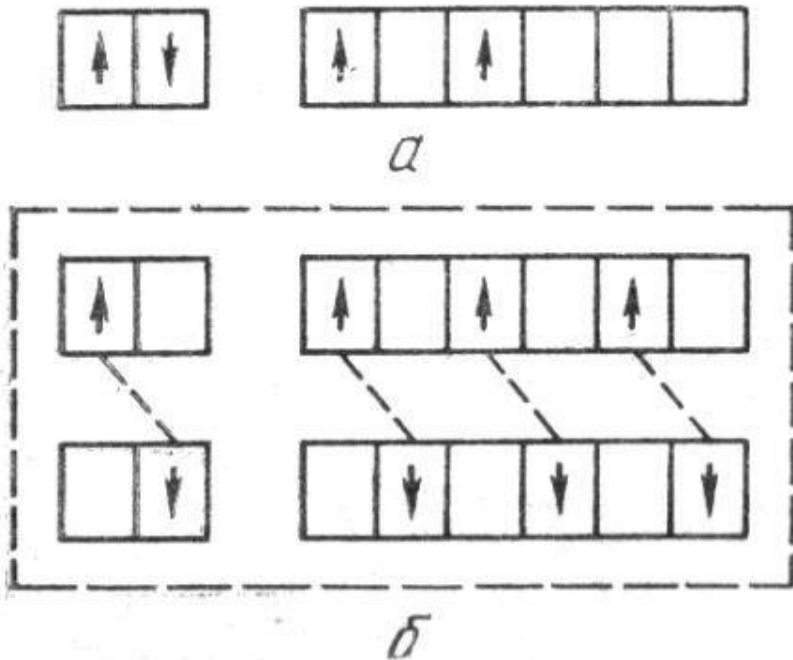
**асбест**  $3\text{MgO} \times 2\text{SiO}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ,

**слюда**  $\text{K}_2\text{O} \times 3\text{Al}_2\text{O}_3 \times 6\text{SiO}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ,

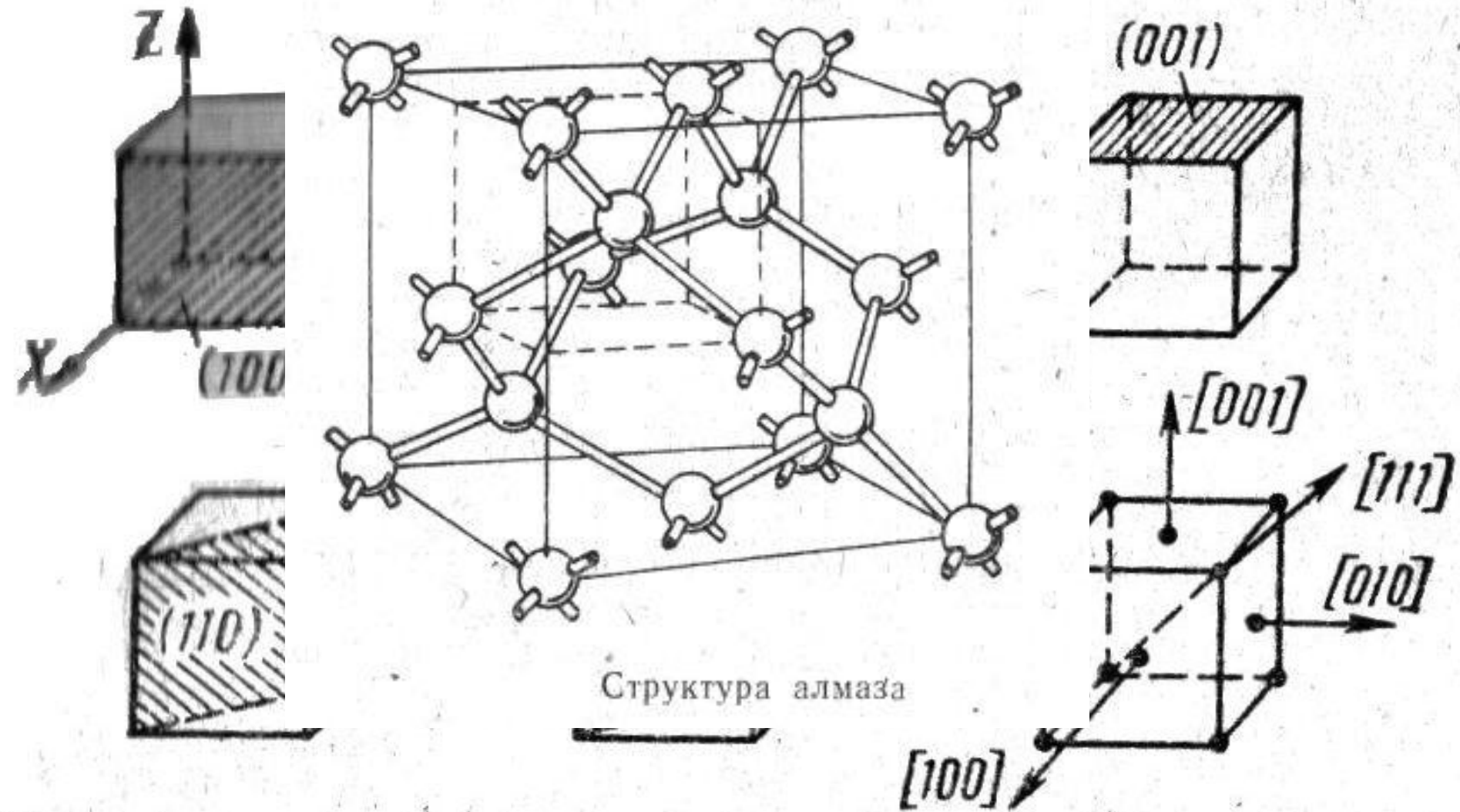
**каолинит**  $3\text{Al}_2\text{O}_3 \times 2\text{SiO}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ .

# Химические свойства

- Для атомов кремния является характерным состояние  $sp^3$ -гибридизации орбиталей. В соединениях обычно проявляет себя как четырёхвалентный элемент со степенью окисления +4 или -4. Встречаются двухвалентные соединения, например,  $SiO$ .



# Элементарная ячейка кремния





# Германий

Элемент был предсказан Д. И. Менделеевым (как эка-кремний) и открыт в 1885 году немецким химиком Клеменсом Винклером.

Общее содержание германия в земной коре  $7 \times 10^{-4}\%$  по массе. Собственные минералы германия встречаются исключительно редко. Почти все они представляют собой сульфосоли:

германит  $\text{Cu}_2(\text{Cu, Fe, Ge, Zn})_2(\text{S, As})_4$  (6 — 10 % Ge),

аргиродит  $\text{Ag}_8\text{GeS}_6$  (3,6 — 7 % Ge),

конфильдит  $\text{Ag}_8(\text{Sn, Ge})\text{S}_6$  (до 2 % Ge) и др.

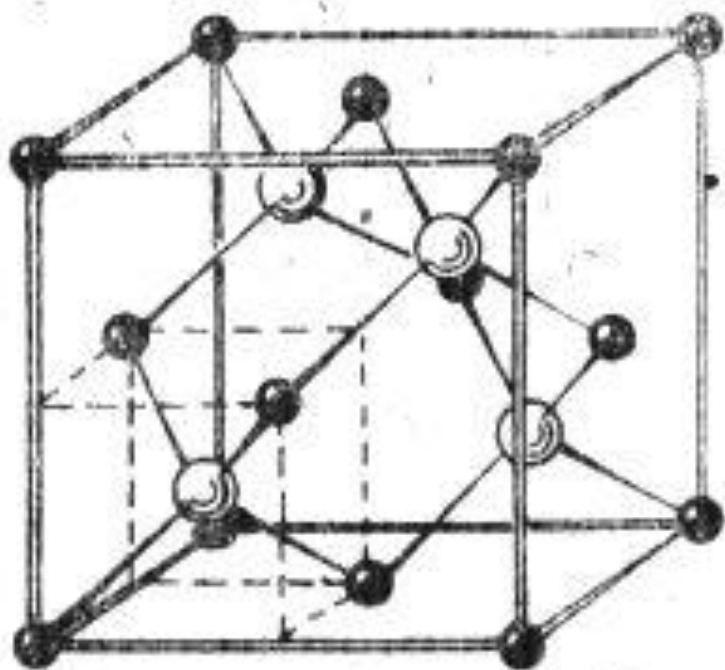
В химических соединениях германий обычно проявляет валентности 4 или 2. Соединения с валентностью 4 стабильнее.

При нормальных условиях устойчив к действию воздуха и воды, щелочей и кислот, растворим в царской водке (смесь концентрированных азотной и соляной кислот) и в щелочном растворе перекиси водорода.

# Соединения $A^{III}B^V$

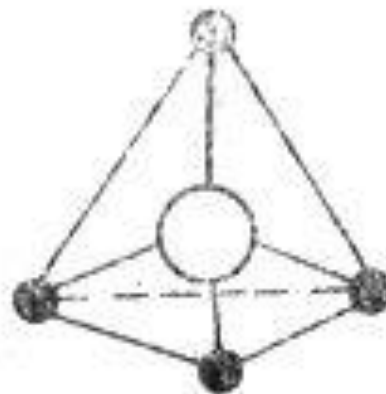
Структура  
цинковой  
обманки  
кубического  
типа

| Свойство | Соединение |      |     |     |      |      |      |
|----------|------------|------|-----|-----|------|------|------|
|          | GaN        | GaAs | GaP | InP | InAs | GaSb | InSb |



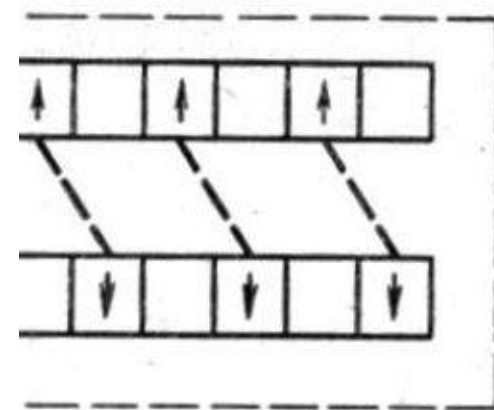
а) ● Zn ○ S

Структура сфалерита



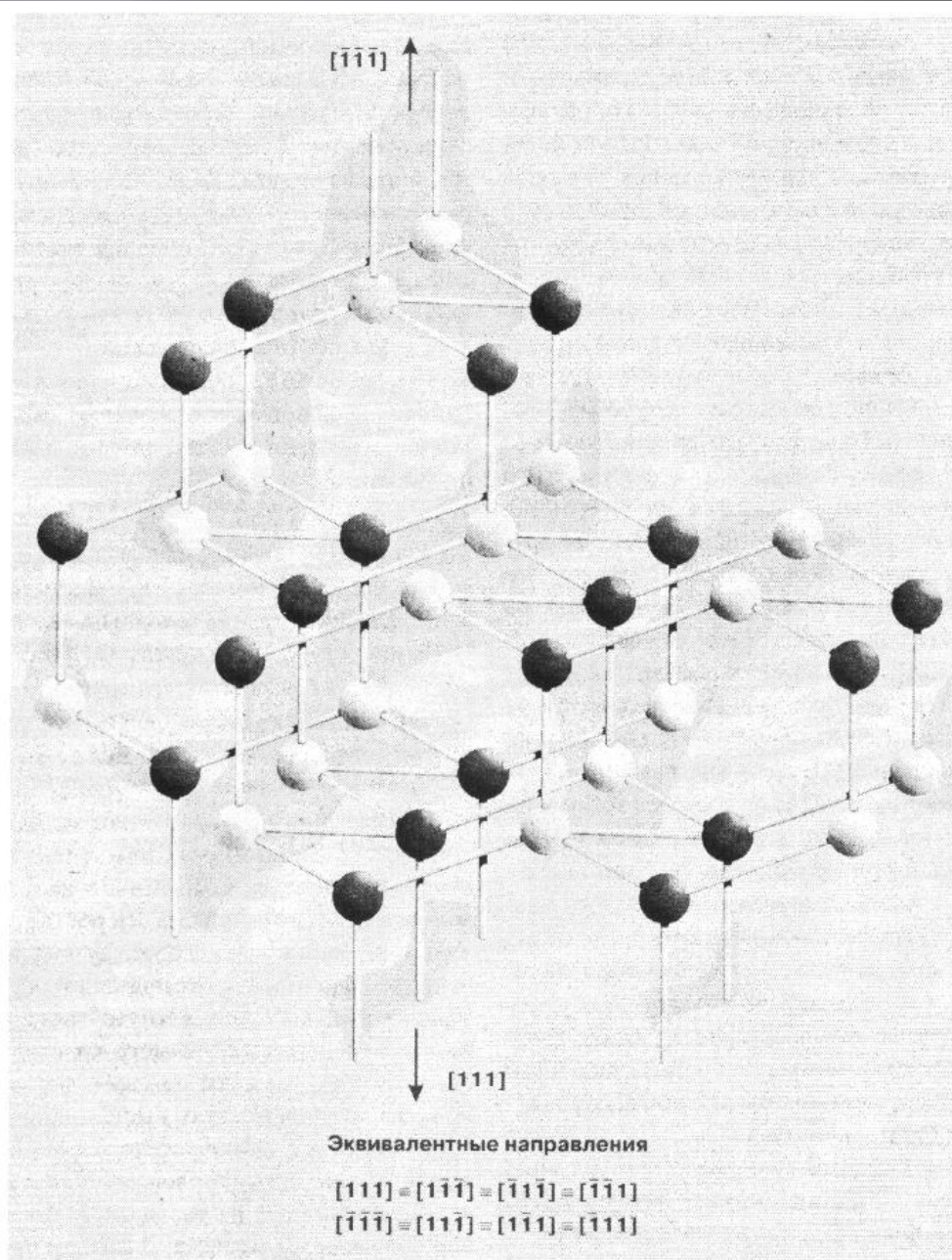
● Zn ○ S

б)



3- гибридные связи

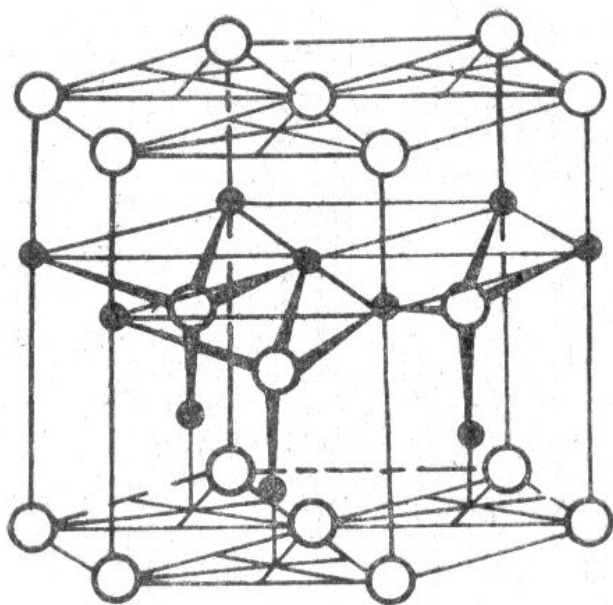
Электрические  
свойства  
зависят от  
избытка или  
недостатка  
компонентов 3  
5 групп



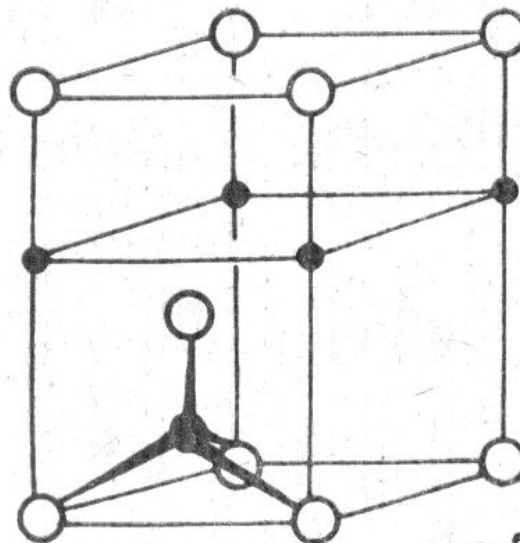
Фрагмент кристаллической структуры соединений АПВVI (структура типа сфалерита), иллюстрирующий расположение атомов вдоль направлений  $\langle 111 \rangle$  и  $\langle \bar{1}\bar{1}\bar{1} \rangle$ , а также природу полярности этой кристаллической структуры.

# Соединения $A^{II}B^{VI}$

| Свойство | Соединение |      |      |     |      |      |
|----------|------------|------|------|-----|------|------|
|          | CdS        | CdSe | CdTe | ZnS | ZnSe | ZnTe |



a)



b)

● Zn ○ S

Структура вюрцита

Структура  
сфалерита  
или вюрцита.

I группа  
(Cu, Ag, Au) и  
V группа –  
акцепторы,

III группа  
(Al, Ga, In) и  
VII группа –  
доноры.

# Соединения A<sup>IV</sup>B<sup>VI</sup>

| Свойство                                 | Соединение |      |      |
|--|------------|------|------|
|  | PbS        | PbSe | PbTe |
| Постоянная решетки, нм                   | 0,59       | 0,61 | 0,64 |
| Плотность, г/см <sup>3</sup>             | 7,6        | 8,1  | 6,4  |
| Температура плавления, °С                | 1114       | 1076 | 917  |
| Ширина запрещенной зоны, эВ              | 0,39       | 0,27 | 0,32 |
| Подвижность, см <sup>2</sup> / (В · с) : |            |      |      |
| электронов                               | 600        | 1200 | 1800 |
| дырок                                    | 600        | 1000 | 900  |

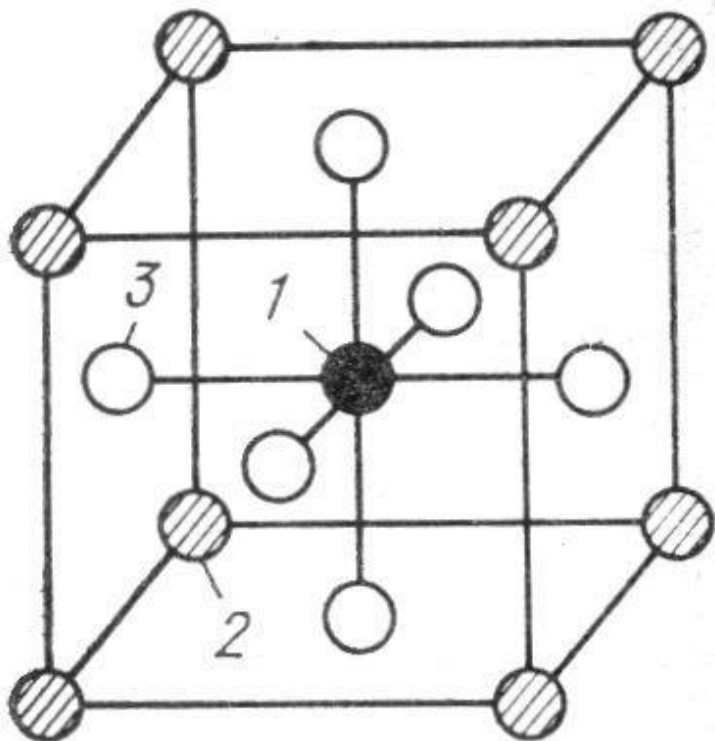
Кубическая кристаллическая решетка. Электрические свойства зависят от состава (избыток Pb – *n*-тип, избыток халькогена *p*-тип).

I группа (Cu, Ag) – акцепторы (замещают Pb),

Трехвалентные металлы (Bi) и VII группа – доноры.

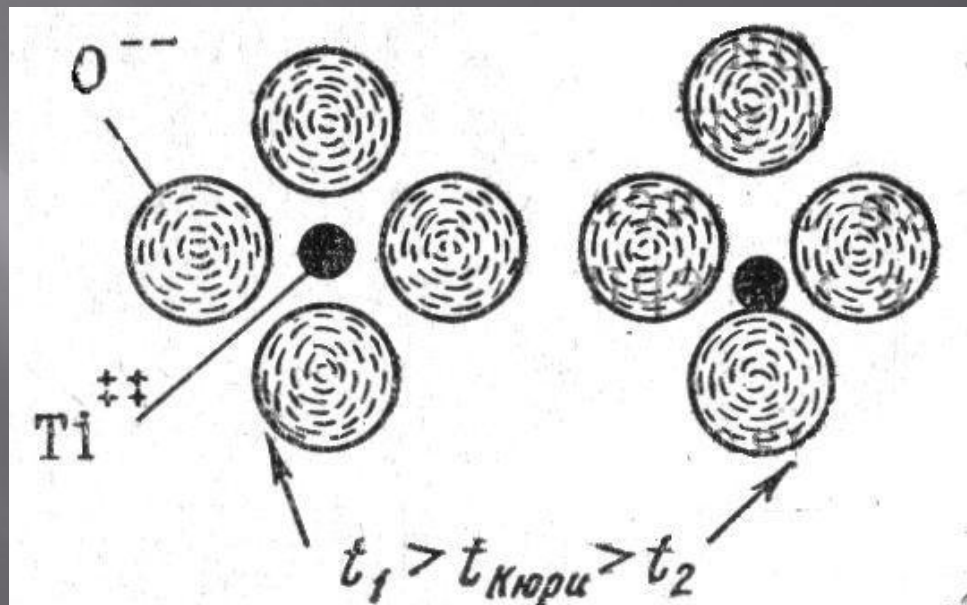
Кроме неорганических веществ полупроводниковыми свойствами обладают также и некоторые органические вещества, такие как бензол, нафталин и т. д.

# Сегнетоэлектрики

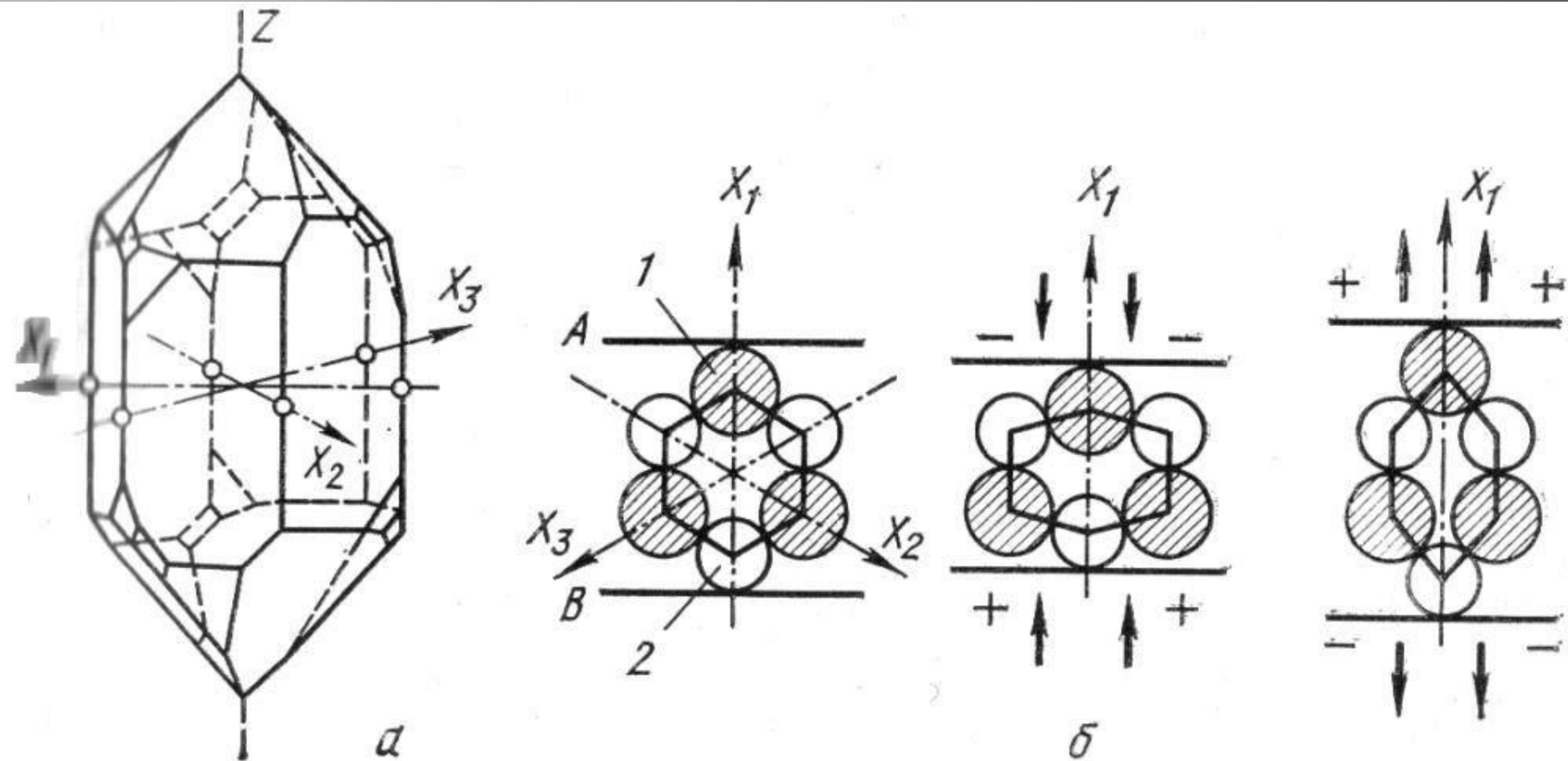


Элементарная  
ячейка титаната бария  
 $\text{BaTiO}_3$ :

1 — титан;      2 — барий;  
3 — кислород



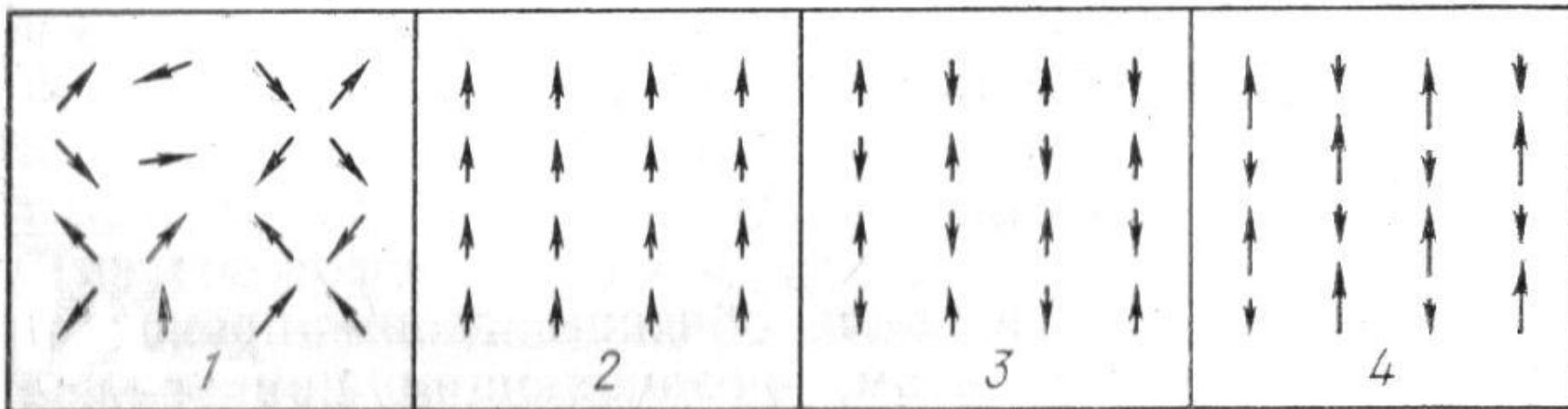
# Пьезоэлектрические материалы



Кристалл кварца:

*a* — ограненный кристалл кварца; *б* — элементарная ячейка, схемы возникновения электрических диполей в результате сжатия и растяжения кристалла вдоль оси  $X_1$  соответственно





Ориентация магнитных моментов соседних атомов при 0 К в веществах разной магнитной природы:

1 — парамагнетик; 2 — ферромагнетик; 3 — антиферромагнетик; 4 — ферримагнетик

Восприимчивость значительно зависит от напряженности внешнего магнитного поля и температуры. Способны намагничиваться в слабых магнитных полях.

**Антиферромагнетики** — небольшая положительная магнитная восприимчивость значительно зависит от температуры. При нагревании они переходят в парамагнитное состояние.

**Ферримагнетики** — высокая магнитная восприимчивость зависит от магнитного поля и температуры.