ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

ВВЕДЕНИЕ

В результате освоения учебной дисциплины обучающиеся должны демонстрировать 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 демонстрировать следующие результаты образования:

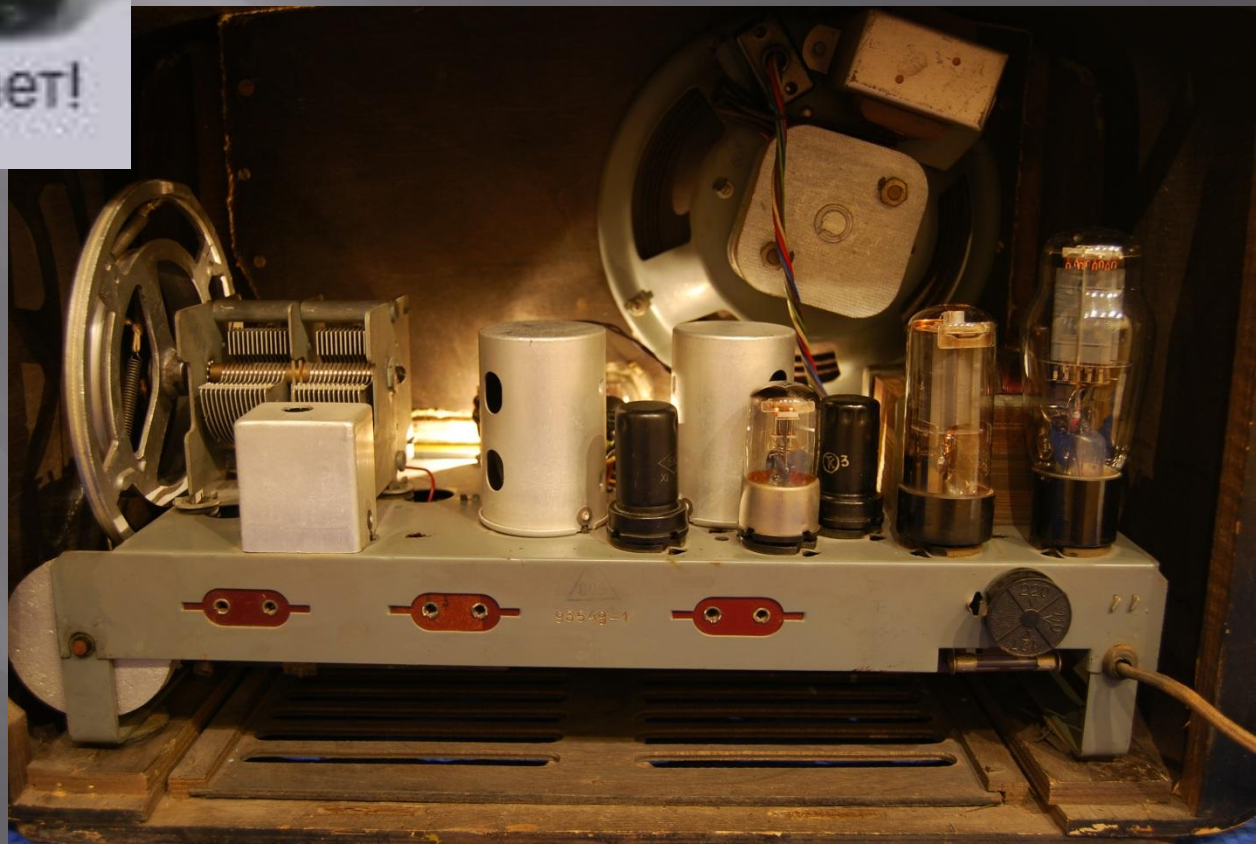
Уметь:

- 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!



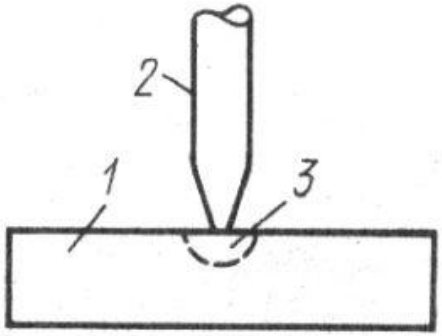
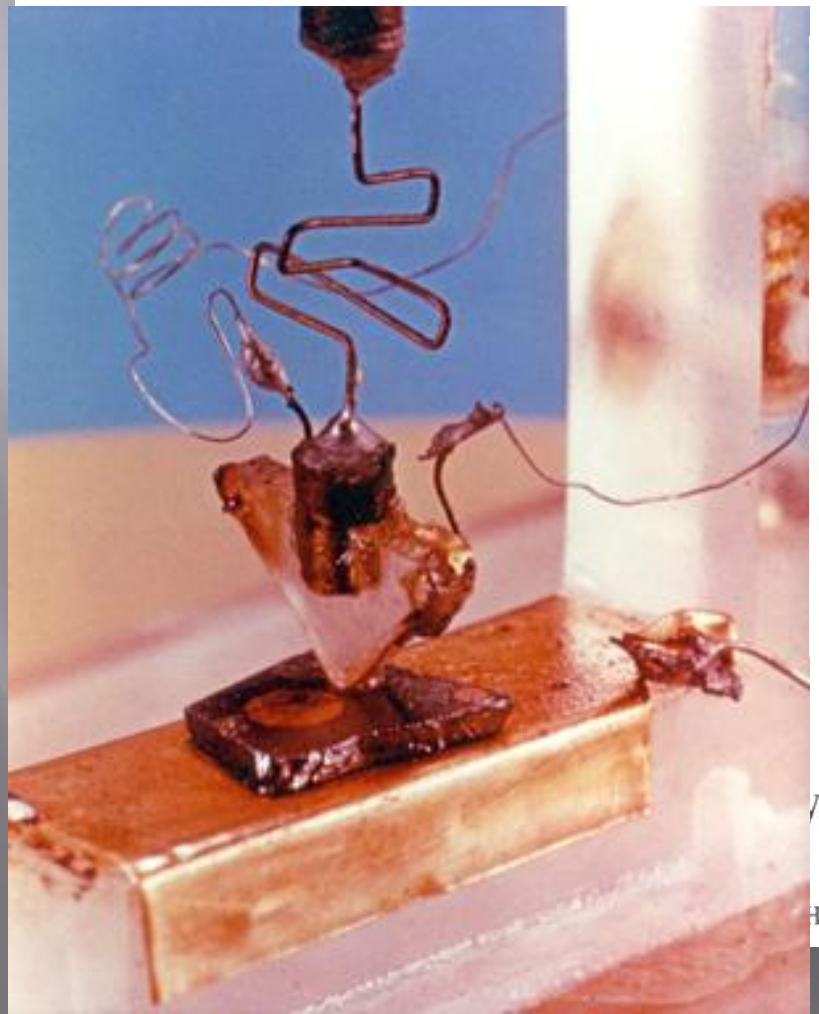
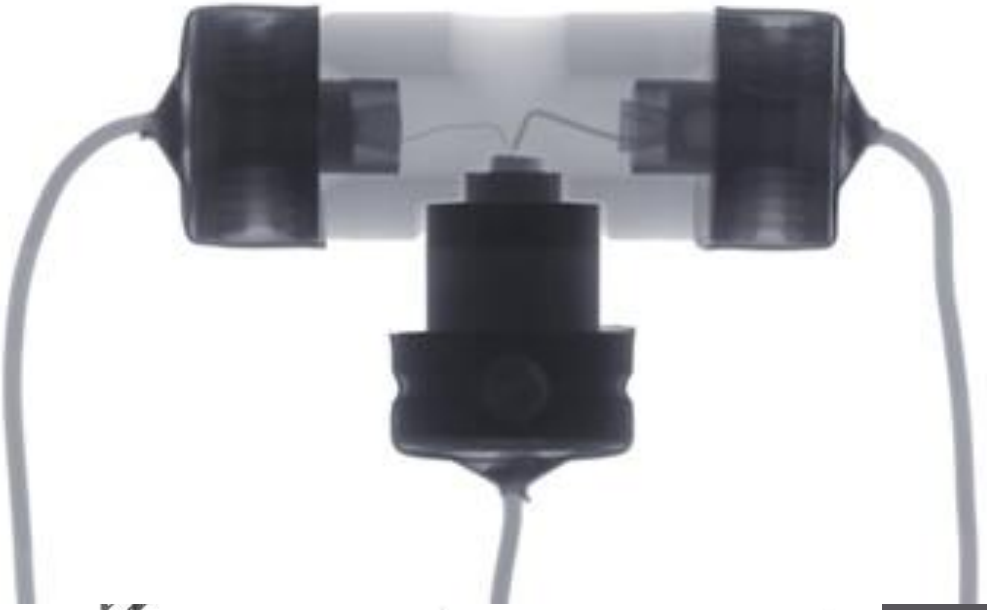


Рис. 1.2. Точечно-контактный *p-n* переход:

1— полупроводниковая пластина; *2*— игла; *3*— переход





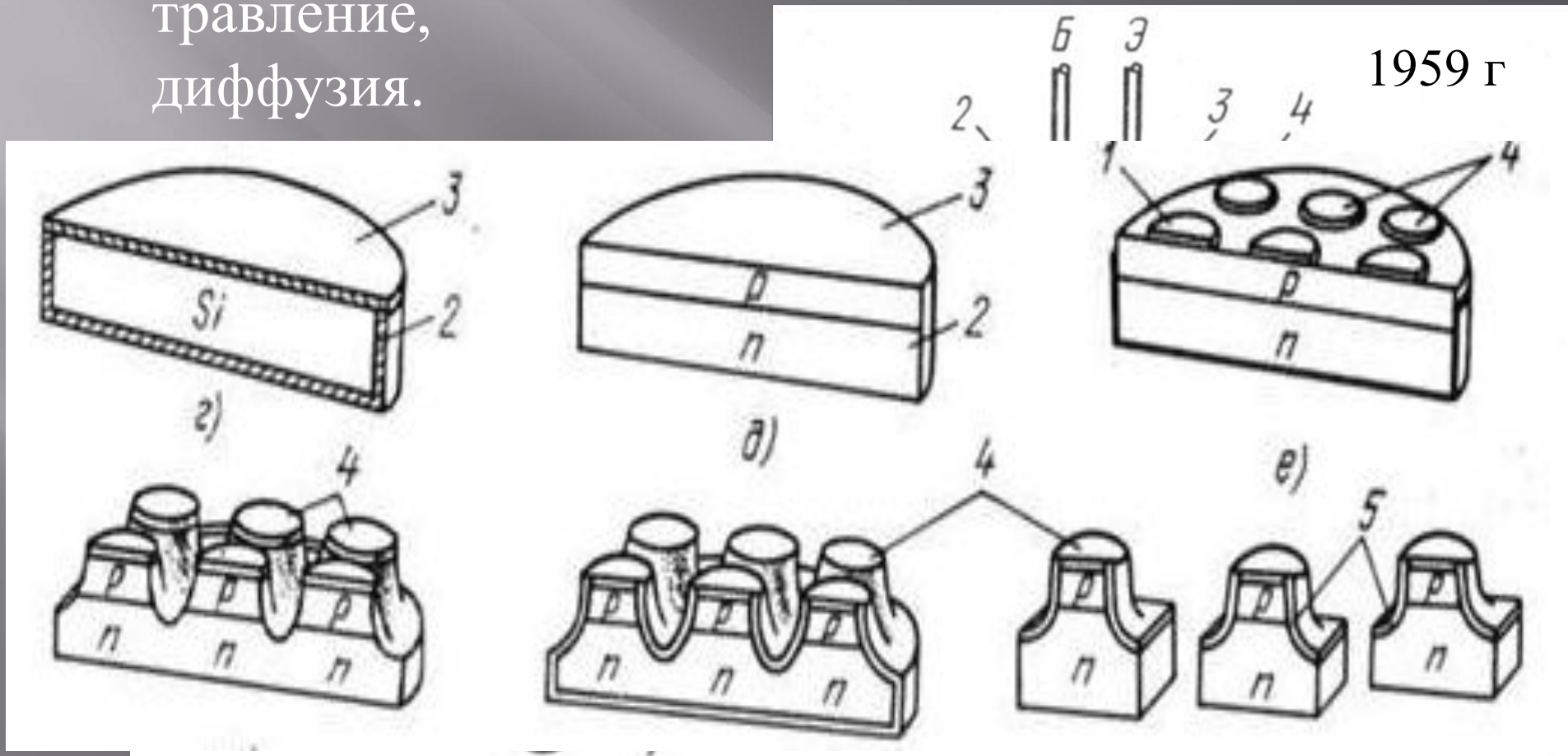
Иб

укция германиевого сплавного тран-

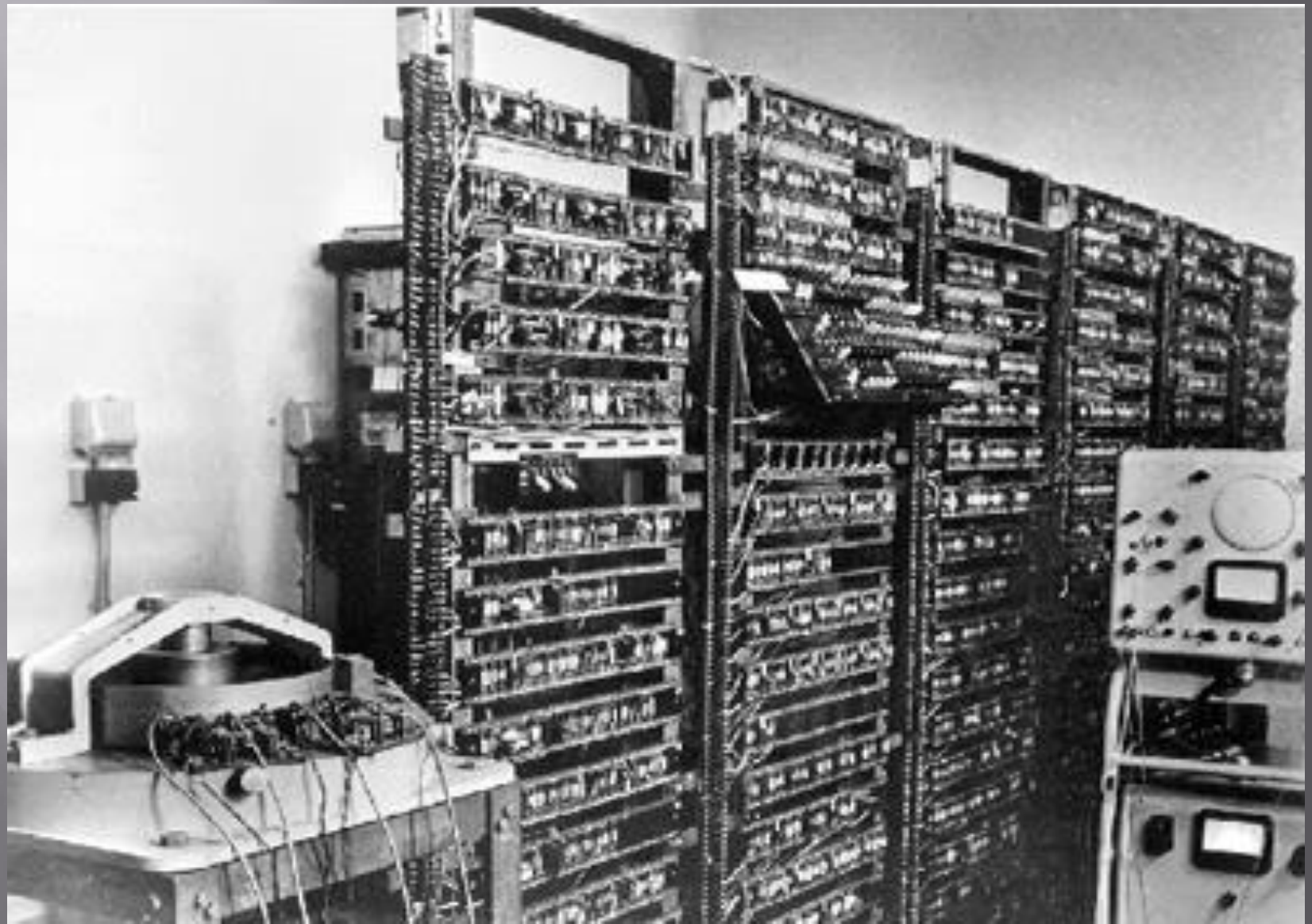
нные слои германия, обогащенные индием

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

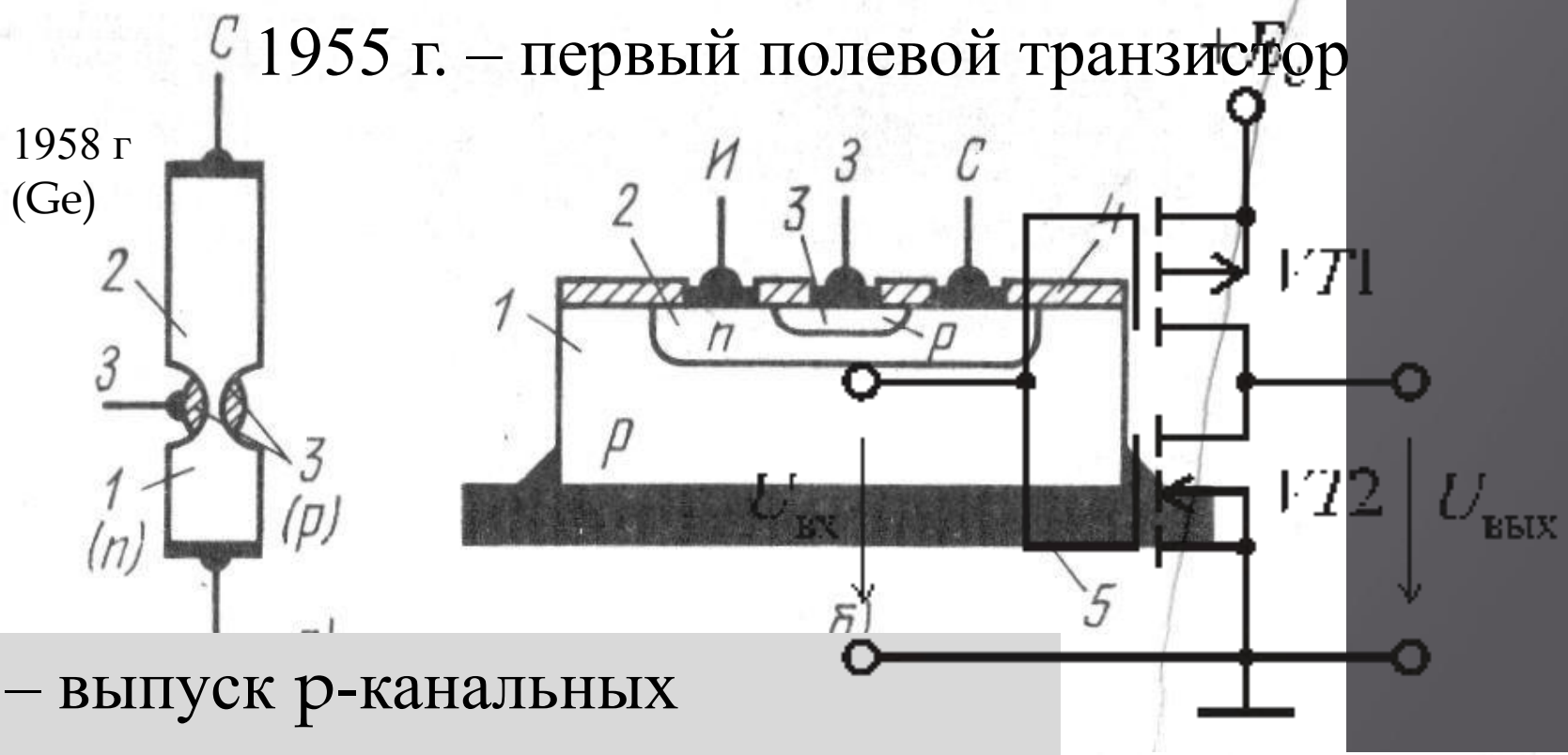


Прототип транзисторного компьютера в университете “Manchester TC” (1953 г.)



1955 г. – первый полевой транзистор

1958 г
(Ge)

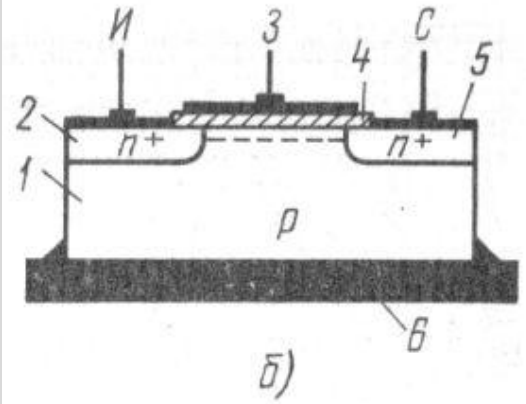


1962 г. – выпуск p-канальных транзисторов

n-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.

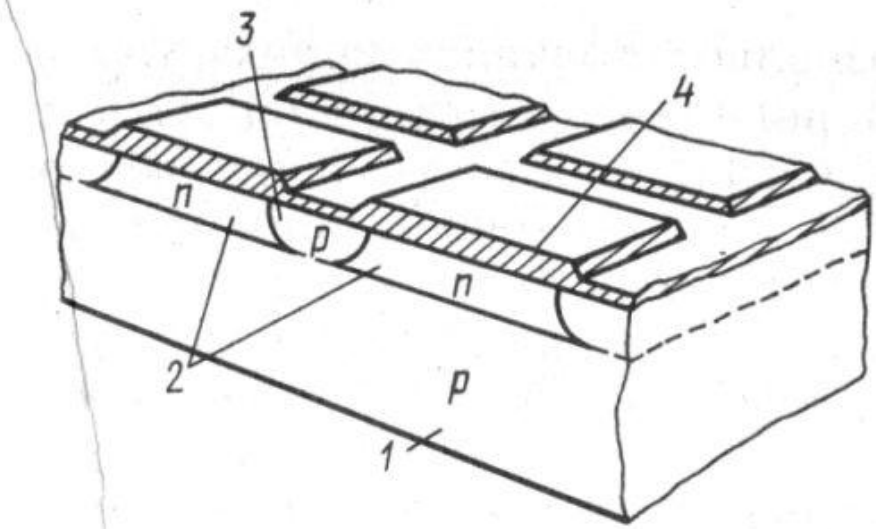


Рис. 1.10. Способ получения изолированных островков кремния *n*-типа путем проведения разделительной диффузии:

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

эпитаксия

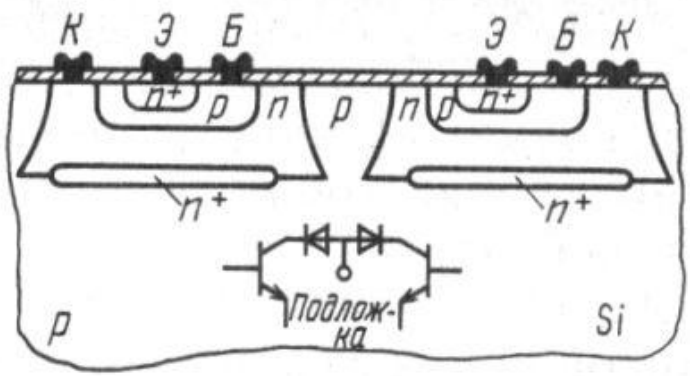
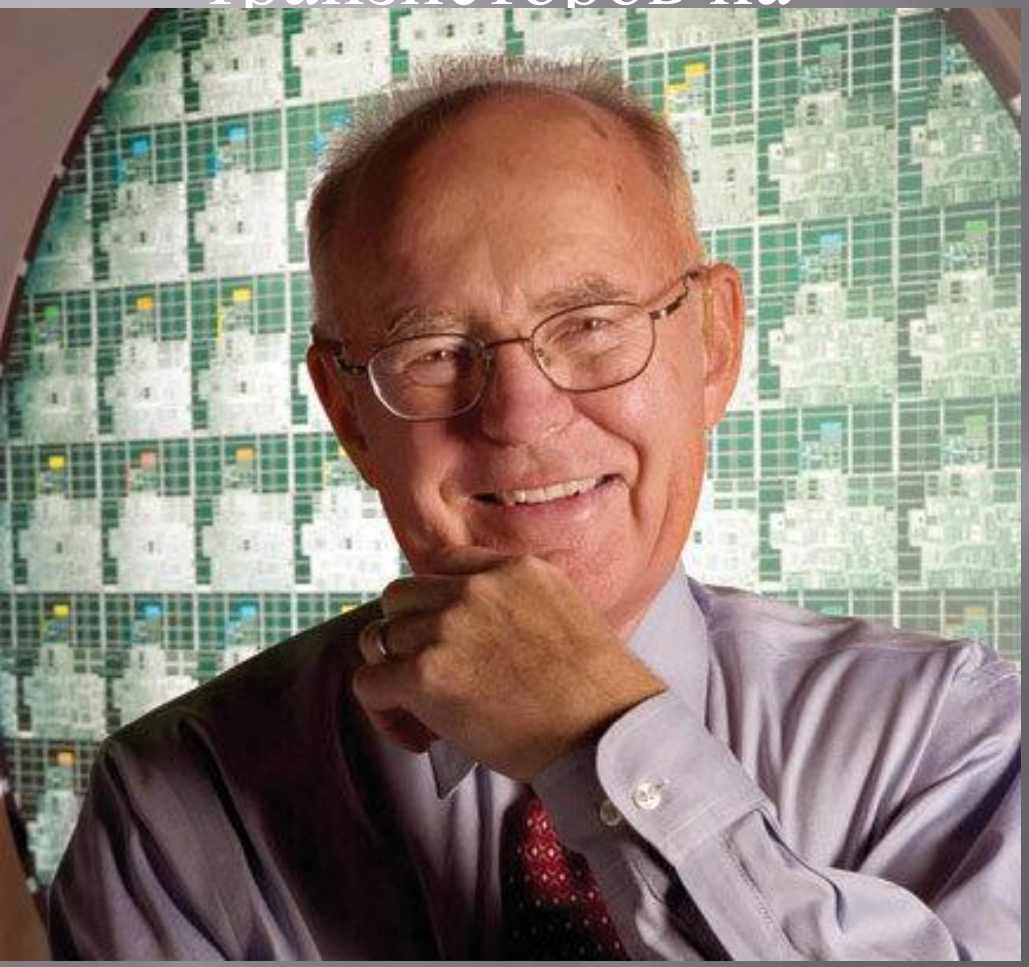


Рис. 1.11. Изоляция двух транзисторов интегральной микросхемы и эквивалентная схема изоляции

Интеграция и микроминиатюризация

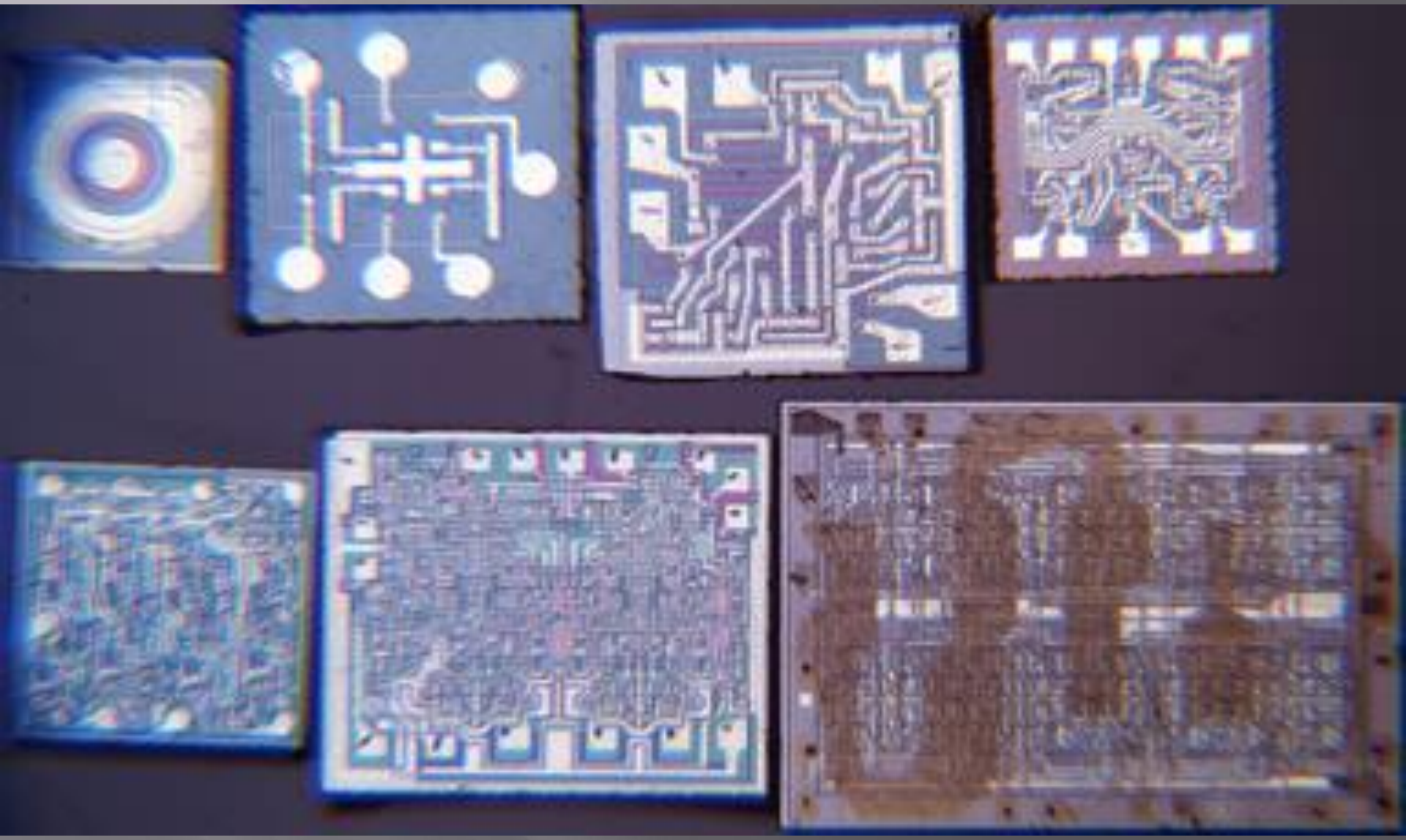
- Уменьшение потребляемой мощности
- Уменьшение себестоимости одного элемента
- **Повышение быстродействия**

- 1965 г «количество транзисторов на



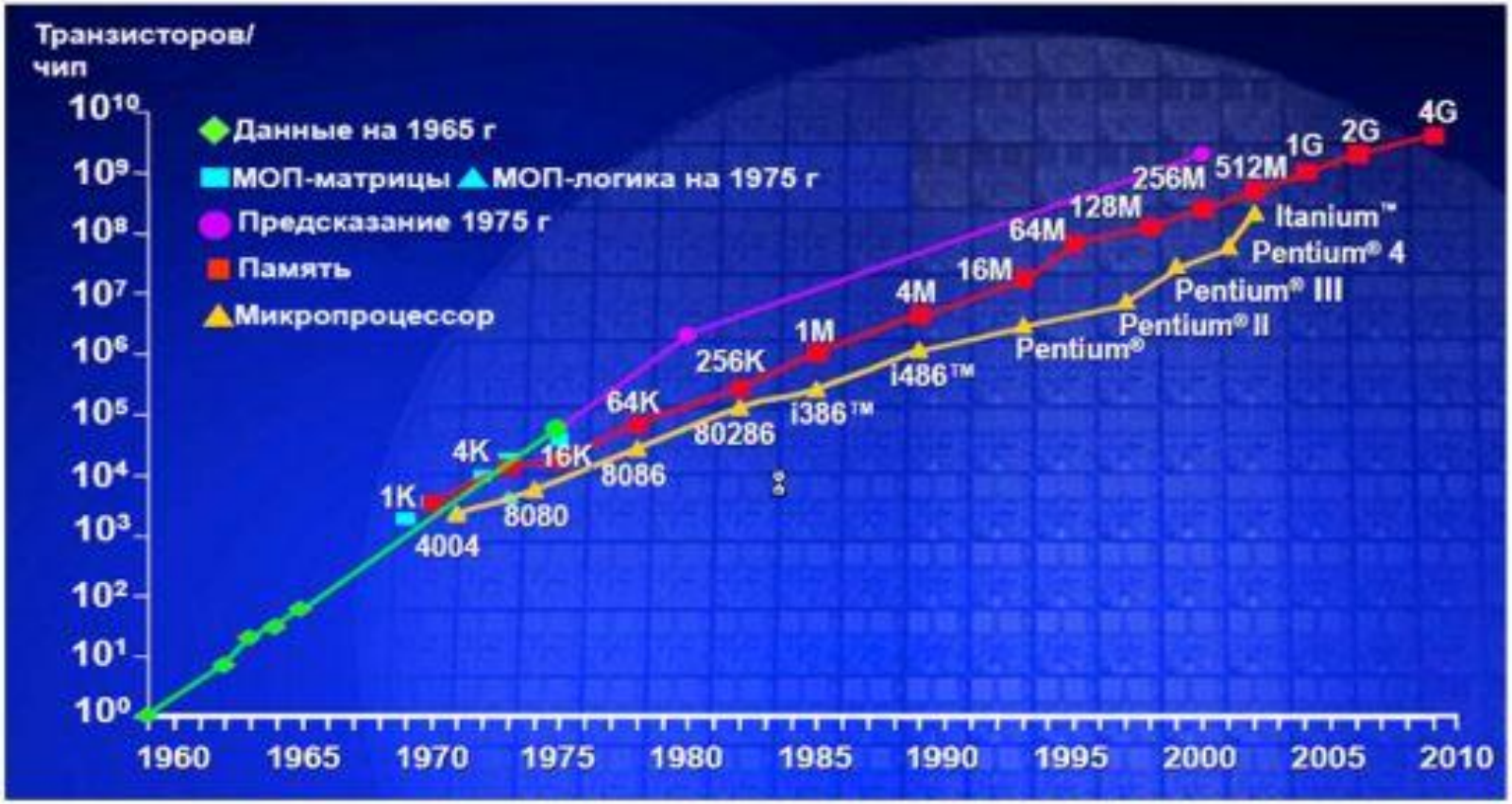
полтора-два года»

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

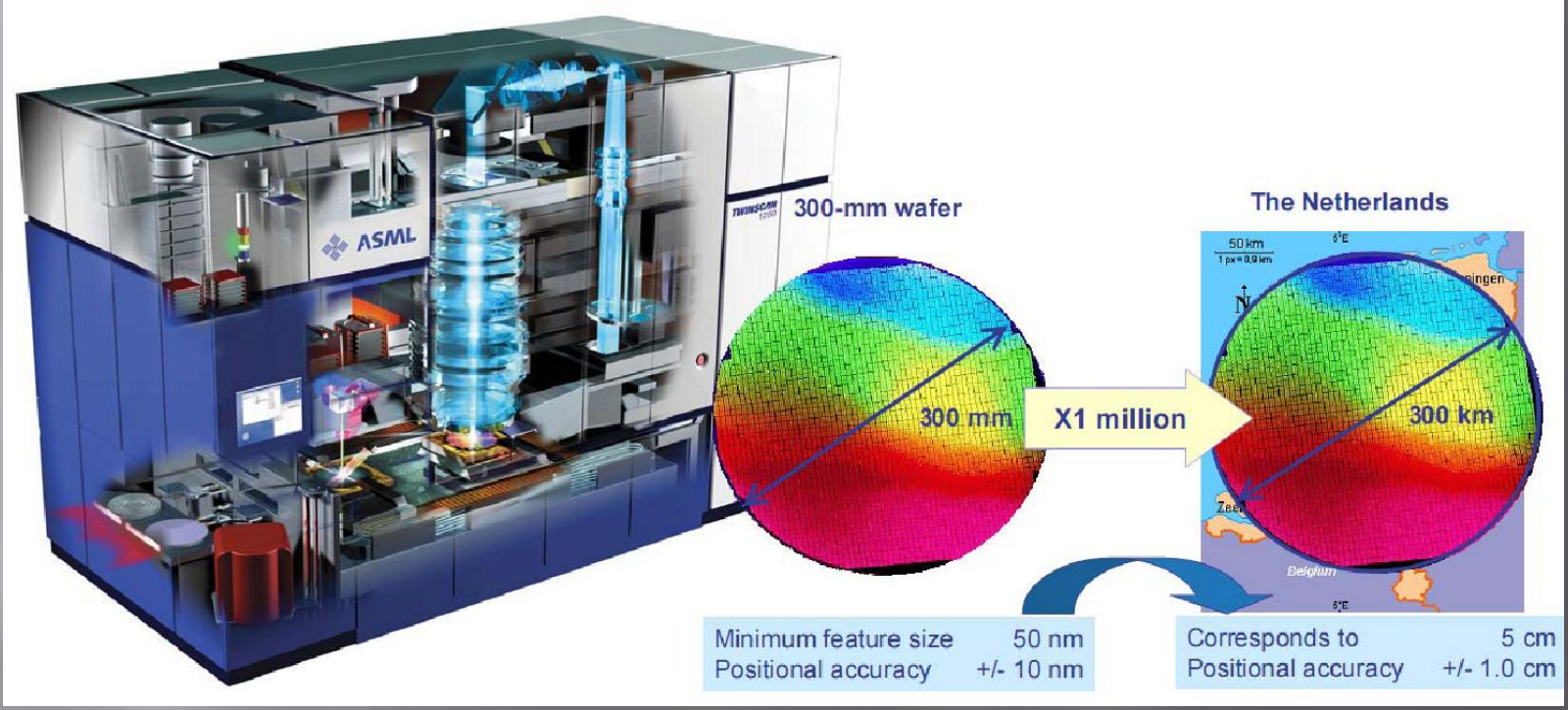


Закон Мура

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 ±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)

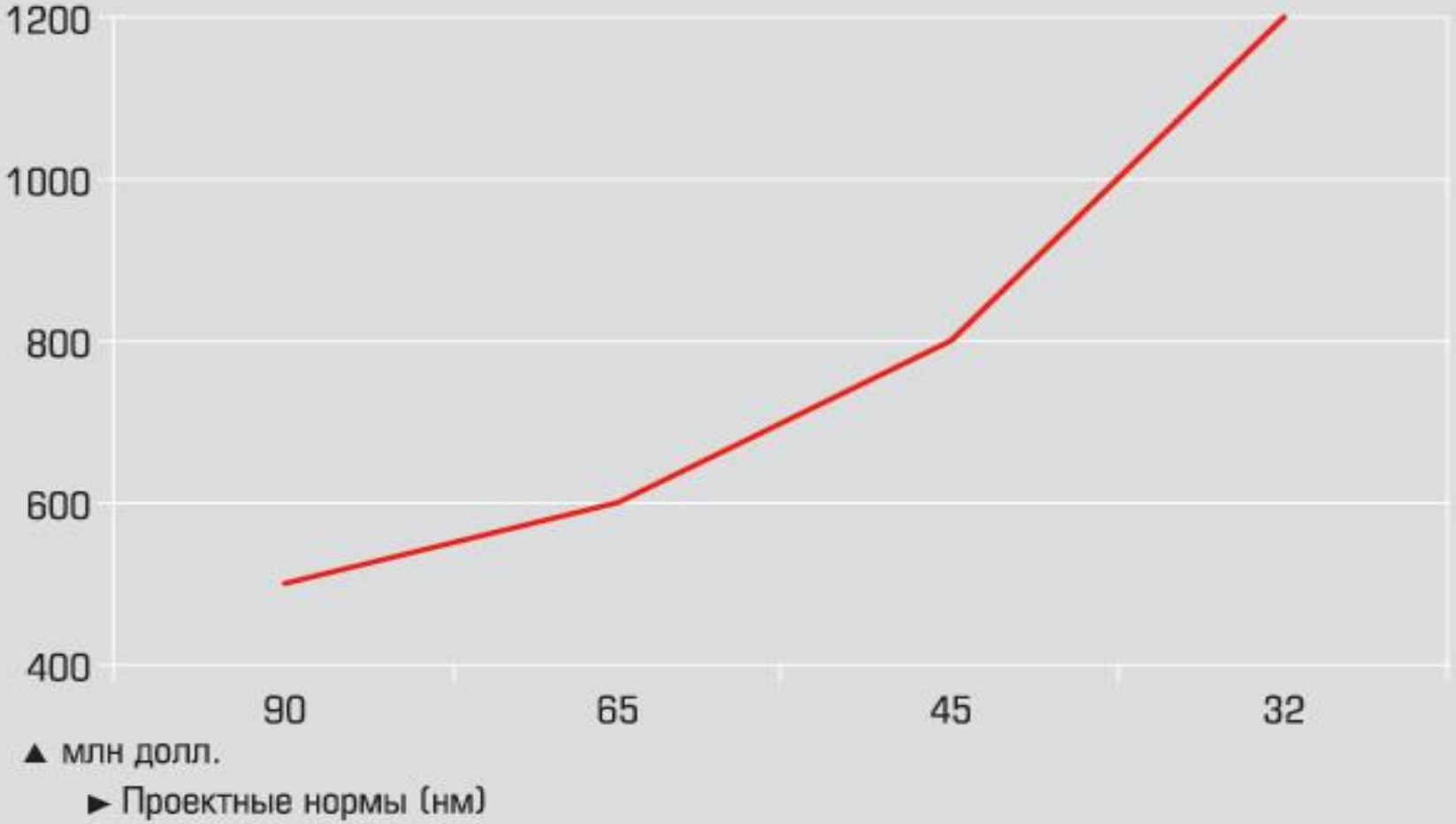
Технологические лидеры разработки и производства чипов

130 нм	90 нм	65 нм	45/40 нм	32/28 нм	22/20 нм
«Ситроникс»	«Ситроникс»	SMIC	SMIC	UMC	TSMC
Altis Semiconductor	Dongbu HiTek	UMC	UMC	TSMC	STMicroelectronics
Dongbu HiTek	Grace Semiconductor	TSMC	TSMC	Globalfoundries	Intel
Grace Semiconductor	SM C	Globalfoundries	Globalfoundries	STMicroelectronics	Samsung
SM C	UMC	Infineon	Renesas (NEC)	Intel	
UMC	TSMC	Sony	IBM	Samsung	
TSMC	Globalfoundries	Texas Instruments	Fujitsu		
Globalfoundries	Seiko Epson	Renesas (NEC)	Toshiba		
Seiko Epson	Freescale	IBM	STMicroelectronics		
Freescale	Infineon	Fujitsu	Intel		
Infineon	Sony	Toshiba	Samsung		
Sony	Texas Instruments	STMicroelectronics			
Texas Instruments	Renesas (NEC)	Intel			
Renesas (NEC)	IBM	Samsung			
IBM	Fujitsu				
Fujitsu	Toshiba				
Toshiba	STMicroelectronics				
STMicroelectronics	Intel				
Intel	Samsung				
Samsung					

Реализуемые проектные нормы

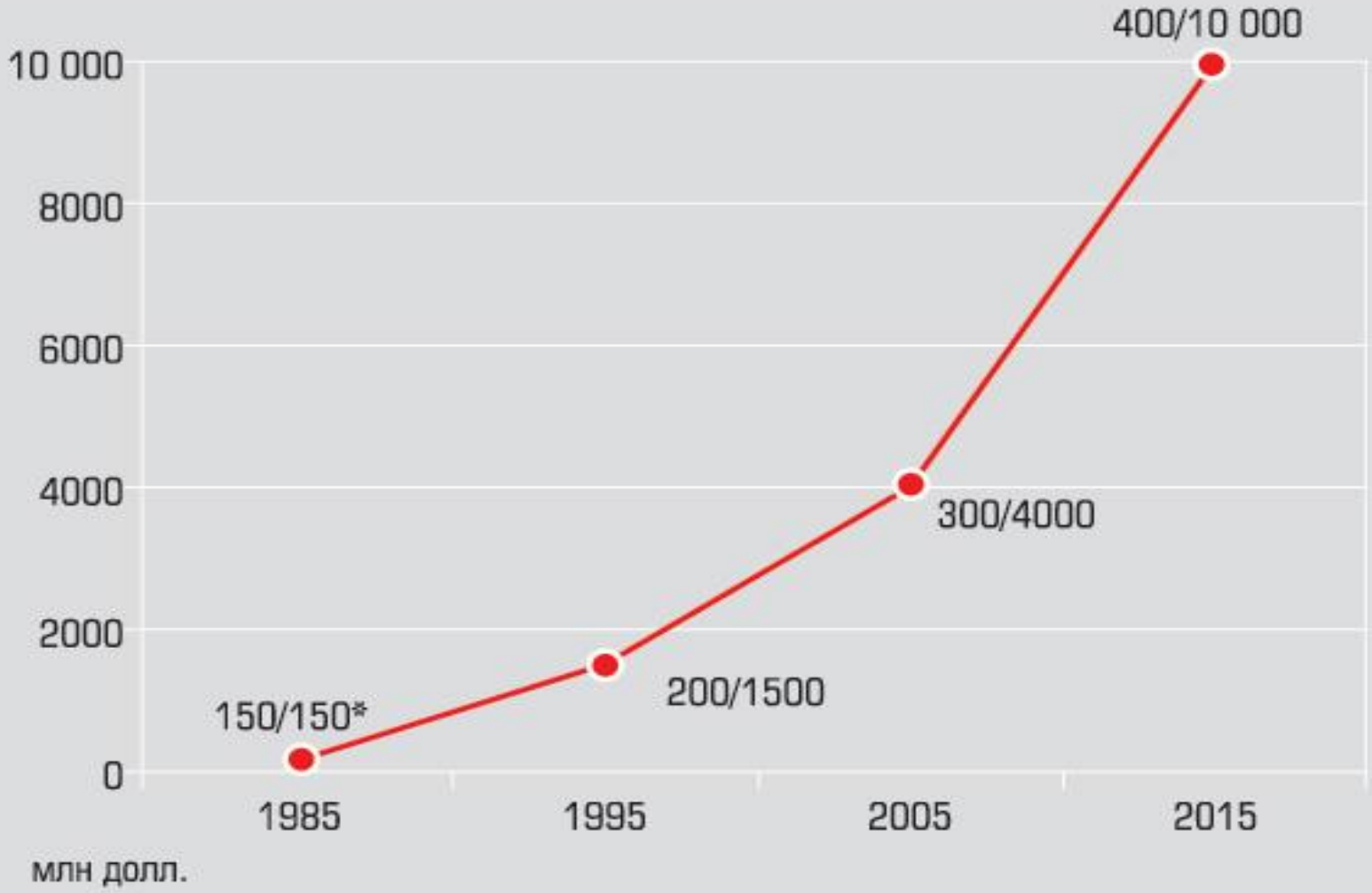
Менее известный «второй закон Мура», введённый в 1998 году Юджином Мейераном, гласит, что стоимость фабрик по производству микросхем экспоненциально возрастает с усложнением производимых микросхем.

Рост стоимости разработки микрочипов



Источник: STMicroelectronics

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.

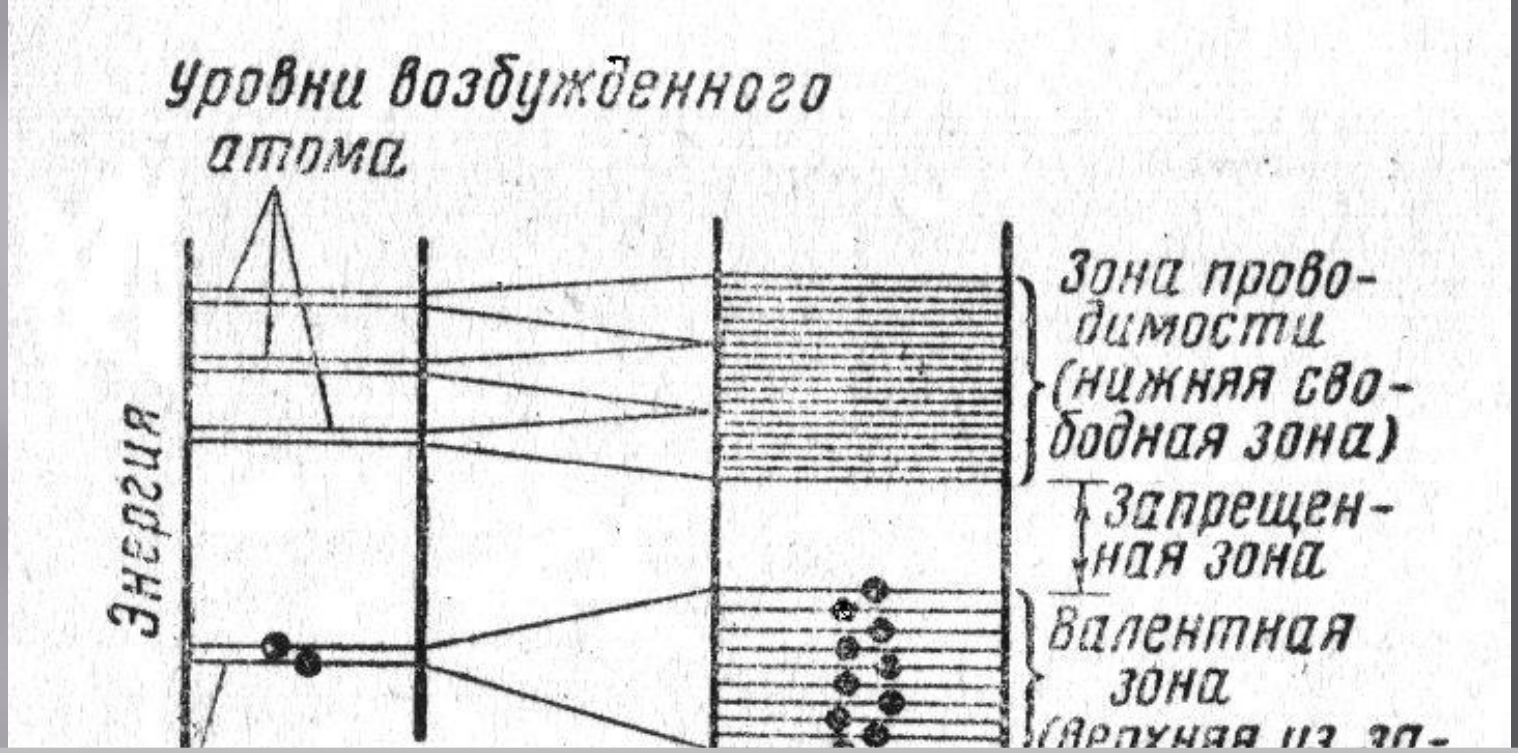
Классификация материалов

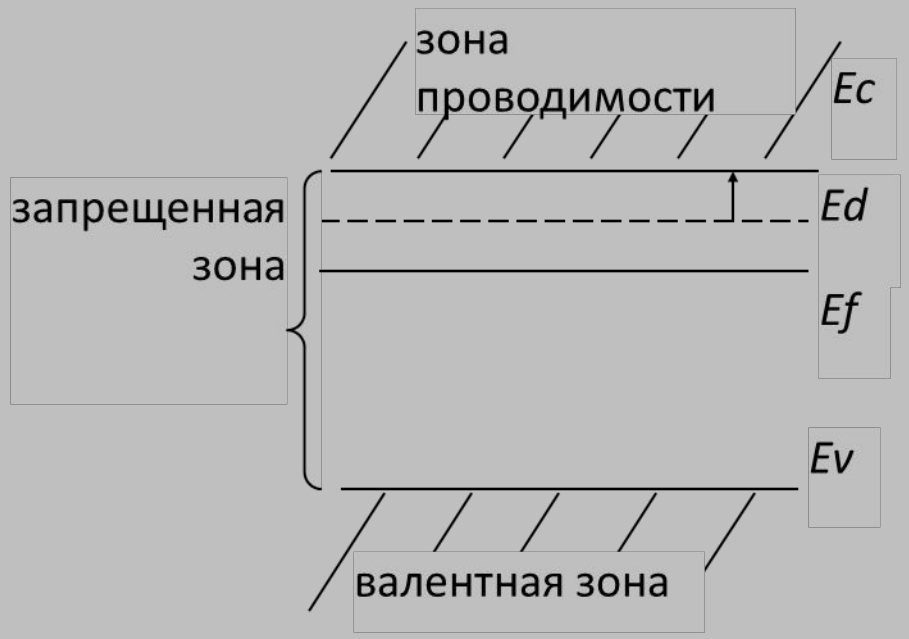
По назначению:

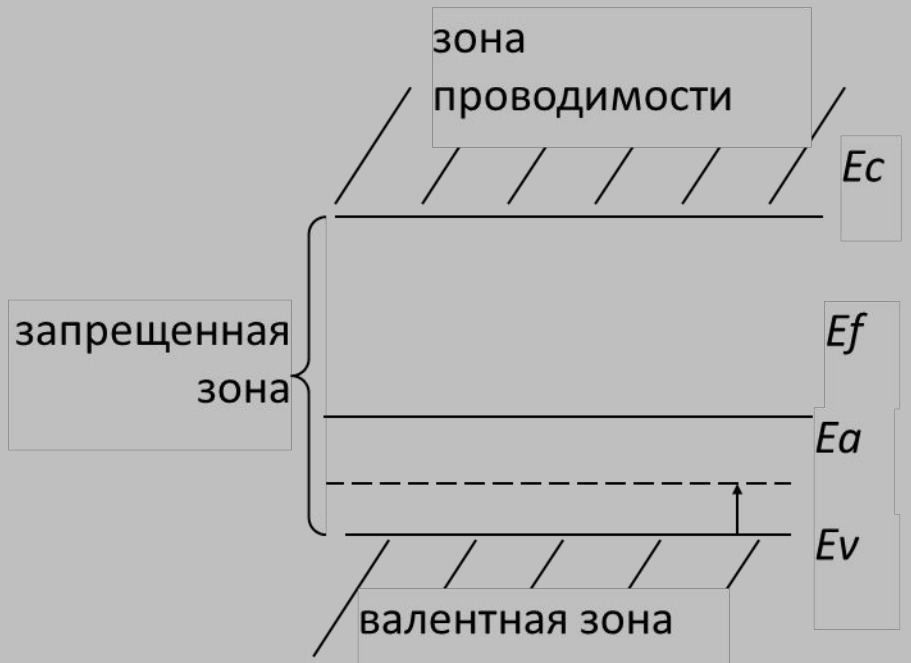
- **основные (**полупроводники**)**,
- **технологические** (абразивные материалы, химические материалы, реагенты, диффузанты, фоторезисты, ренгено- и электронорезисты, лаки, эмали, компаунды и др),
- **конструкционные** (металлы, сплавы, стекла, керамика, пластмассы и клеи для изготовления корпусов),
- **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
Энергия
Зона проводимости (нижняя свободная зона)
Запрещенная зона
Валентная зона


зона проводимости
Ec
запрещенная зона
Ed
Ef
Ev
валентная зона


зона проводимости
Ec
запрещенная зона
Ef
Ea
Ev
валентная зона

Стекла

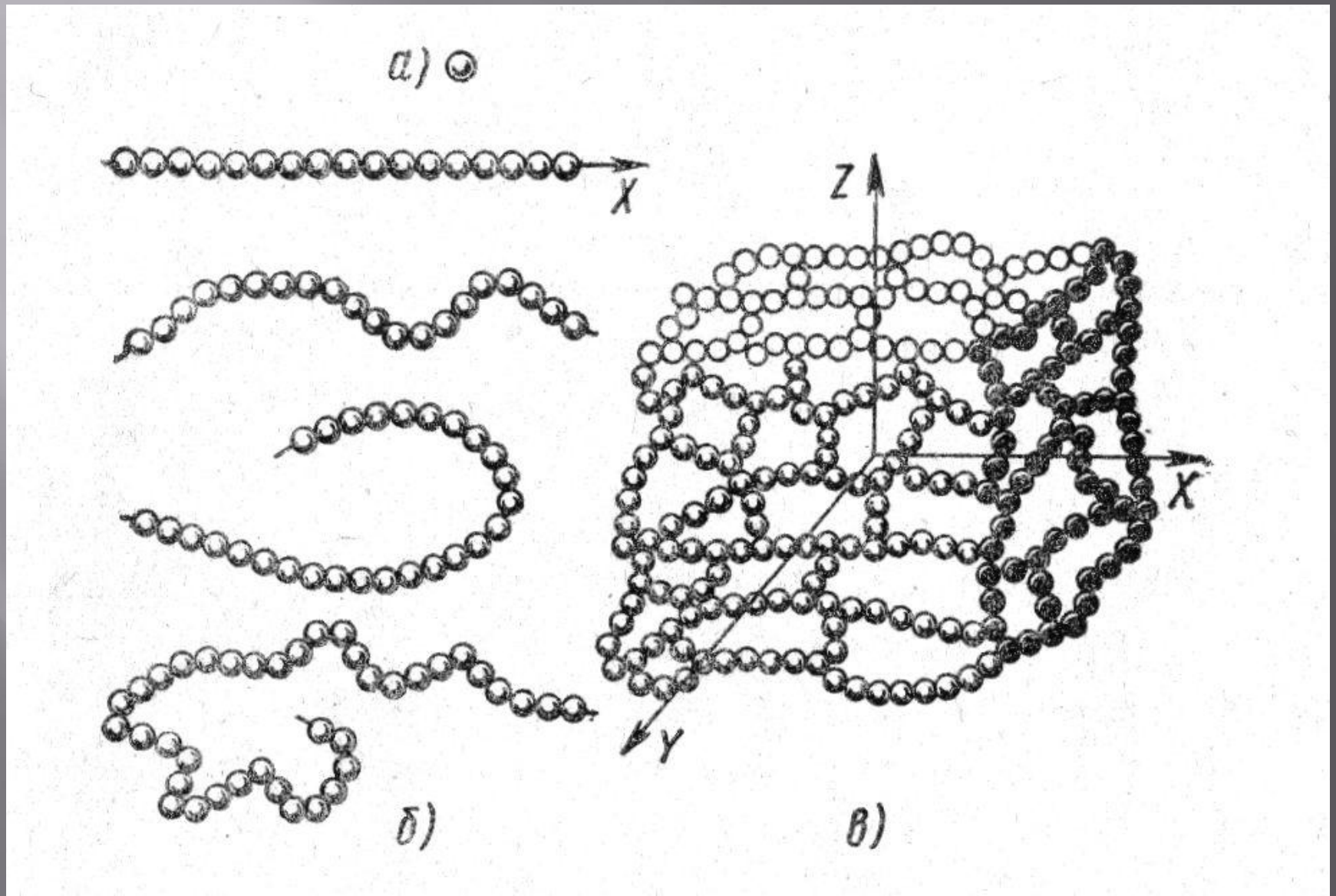
Тугоплавкие стекла имеют боросиликатную или алюмосиликатную основу, обладают высокими диэлектрическими свойствами, большими термостойкостью, температурой размягчения и механической прочностью. *Легкоплавкие стекла* имеют свинцовый, баритовый или магнезиальный состав.

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



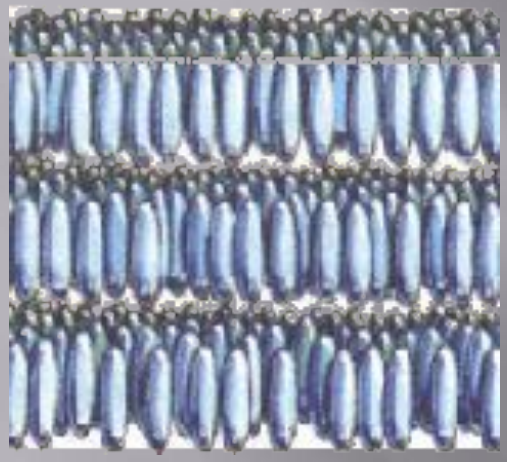
Пластмассы – материалы, получаемые на основе природных или синтетических смол (полимеров) и способные под действием нагрева и давления формироваться в изделия нужной формы, а затем устойчиво ее сохранять.

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.

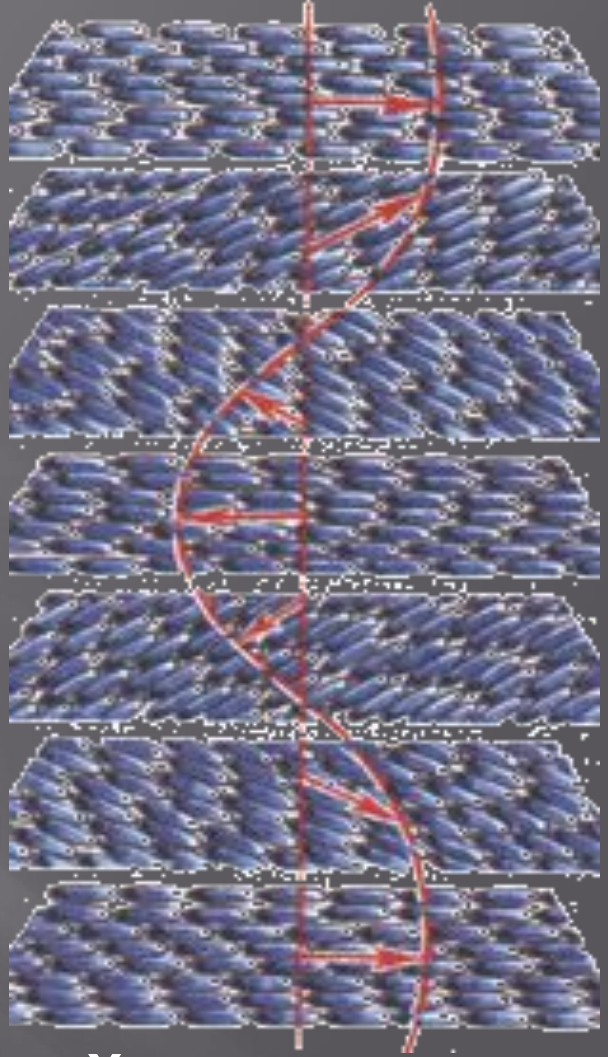
Термореактивные пластмассы под действием температуры переходят из жидкого состояния в твёрдое (при охлаждении), но при повторном нагреве не переходят из твердого состояния в жидкое, т.е. являются термонеобратимыми.

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)

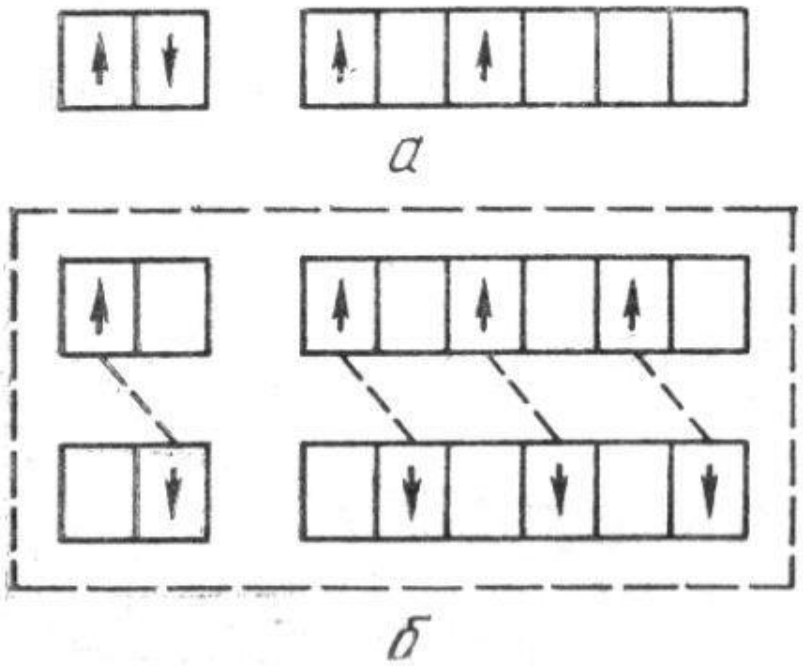
Кремний

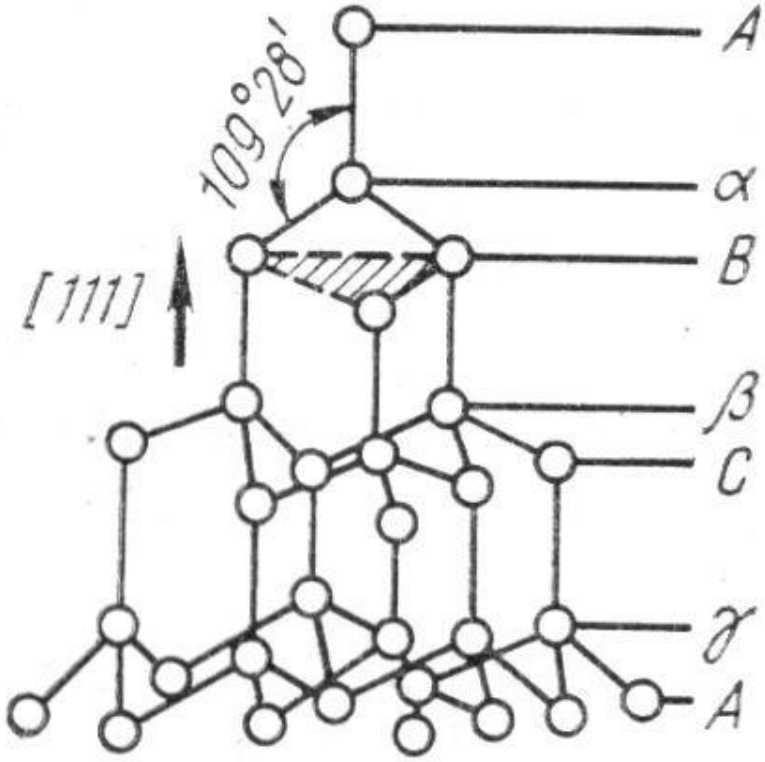
состоит из трех стабильных изотопов: $^{28}_{14}Si$ (92,27%), $^{29}_{14}Si$ (4,68%) и $^{30}_{14}Si$ (3,05%). Кремний после кислорода — самый распространенный элемент в земной коре. В свободном состоянии кремний в природе не встречается. Наиболее распространенными его соединениями являются оксид кремния (IV) SiO_2 и соли кремниевых кислот — *силикаты*.

полевой шпат $K_2O \times Al_2O_3 \times 6SiO_2$,
асбест $3MgO \times 2SiO_2 \times 2H_2O$,
слюда $K_2O \times 3Al_2O_3 \times 6SiO_2 \times 2H_2O$,
каолинит $3Al_2O_3 \times 2SiO_2 \times 2H_2O$.

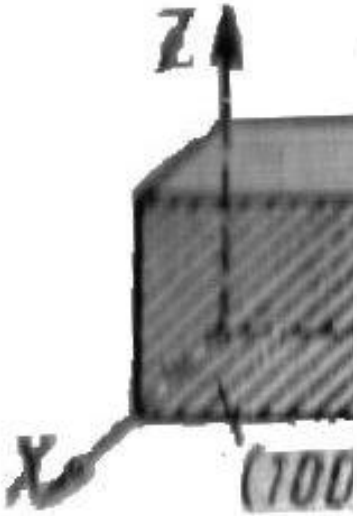
Химические свойства

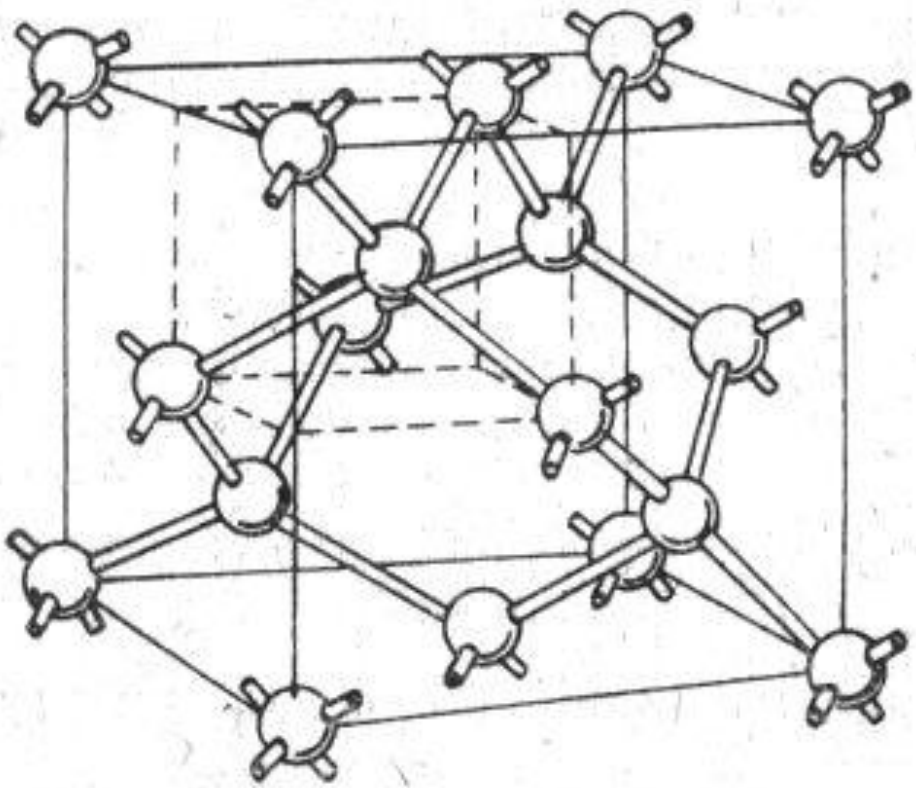
- Для атомов кремния является характерным состояние **sp^3-гибридизации** орбиталей. В соединениях обычно проявляет себя как четырёхвалентный элемент со степенью окисления +4 или −4. Встречаются двухвалентные соединения, например, SiO.



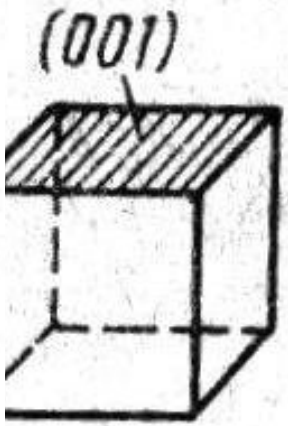


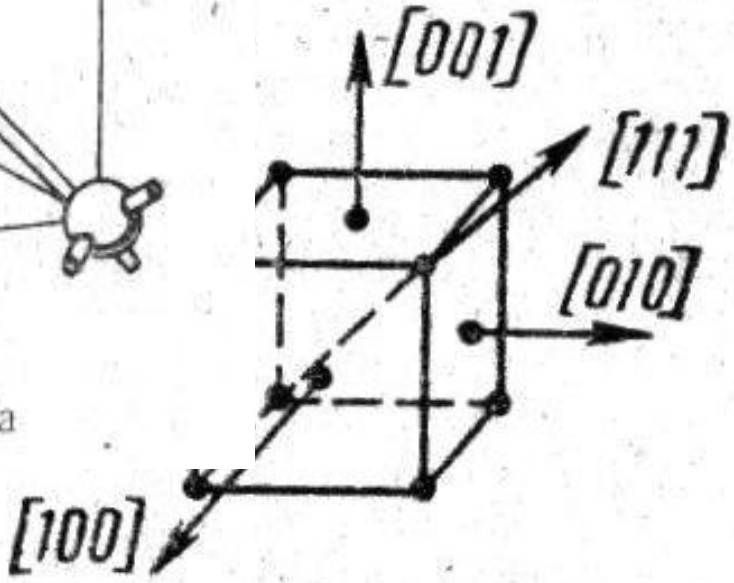
Элементарная ячейка кремния





Структура алмаза





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 7×10^{-4}% по массе. Собственные минералы германия встречаются исключительно редко. Почти все они представляют собой сульфосоли:

германит $Cu_2(Cu, Fe, Ge, Zn)_2 (S, As)_4$ (6 — 10 % Ge),

аргиродит Ag_8GeS_6 (3,6 — 7 % Ge),

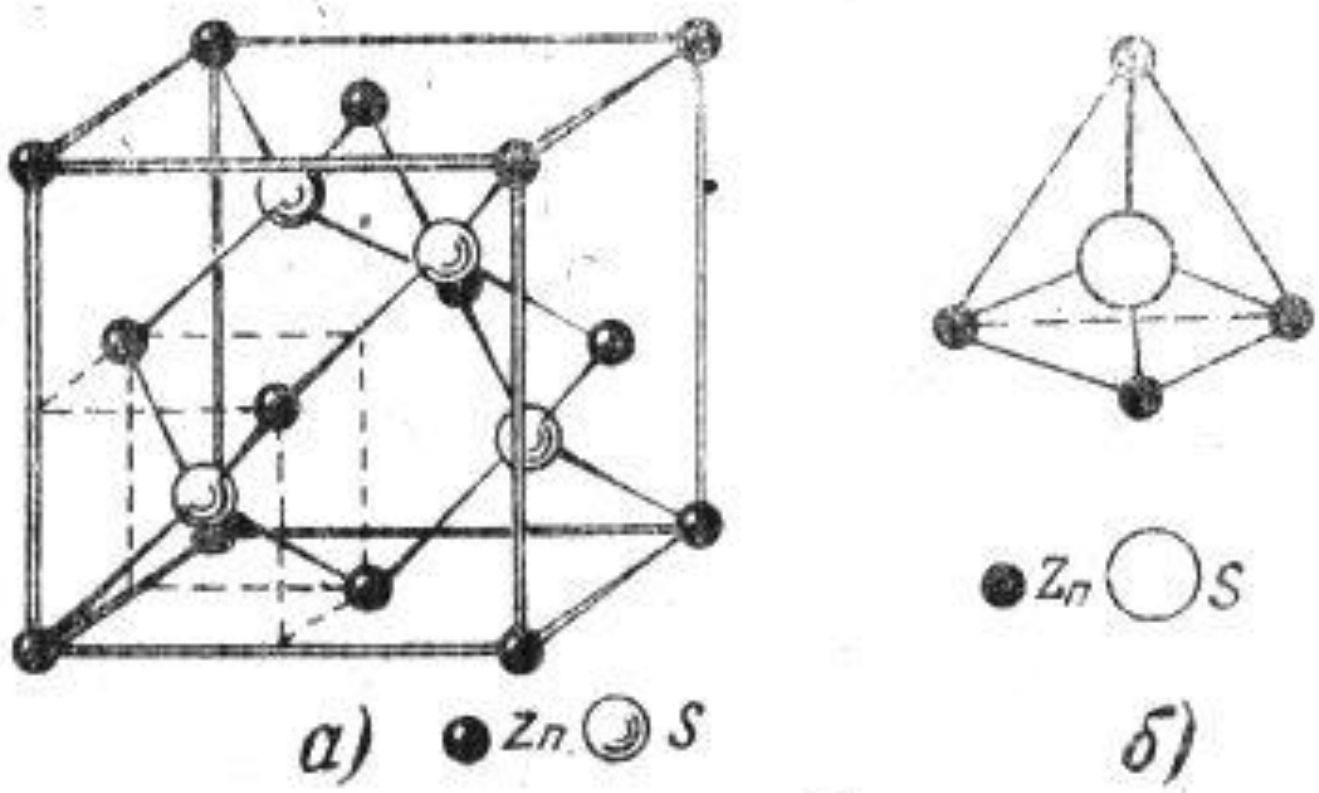
конфильдит $Ag_8(Sn, Ge) S_6$ (до 2 % Ge) и др.

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**.

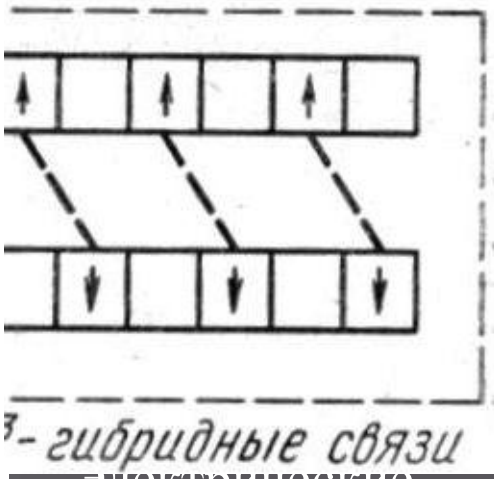
Соединения $A^{III}B^{V}$

Свойство	Соединение						
	GaN	GaAs	GaP	InP	InAs	GaSb	InSb

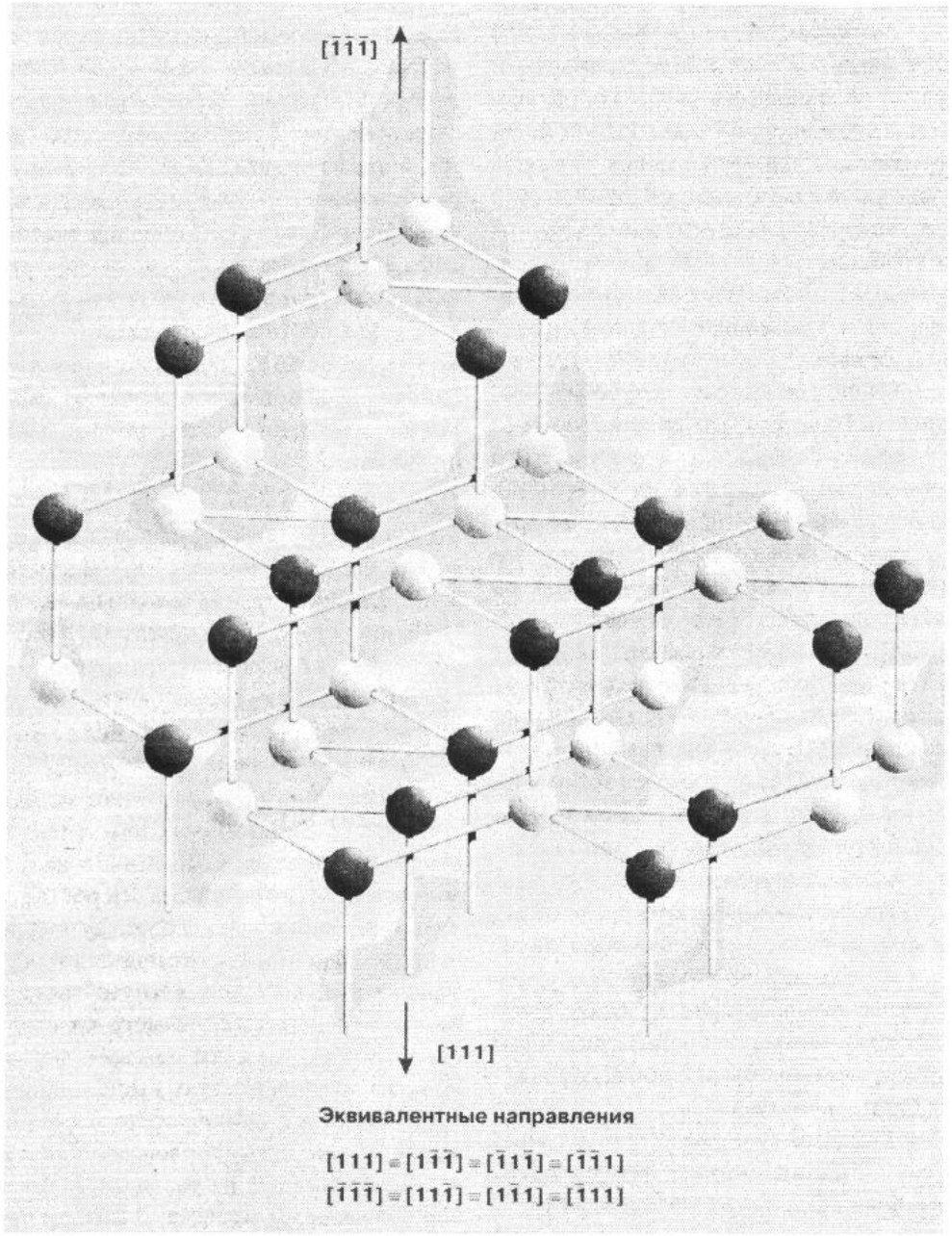


Структура сфалерита

Структура цинковой обманки кубического типа



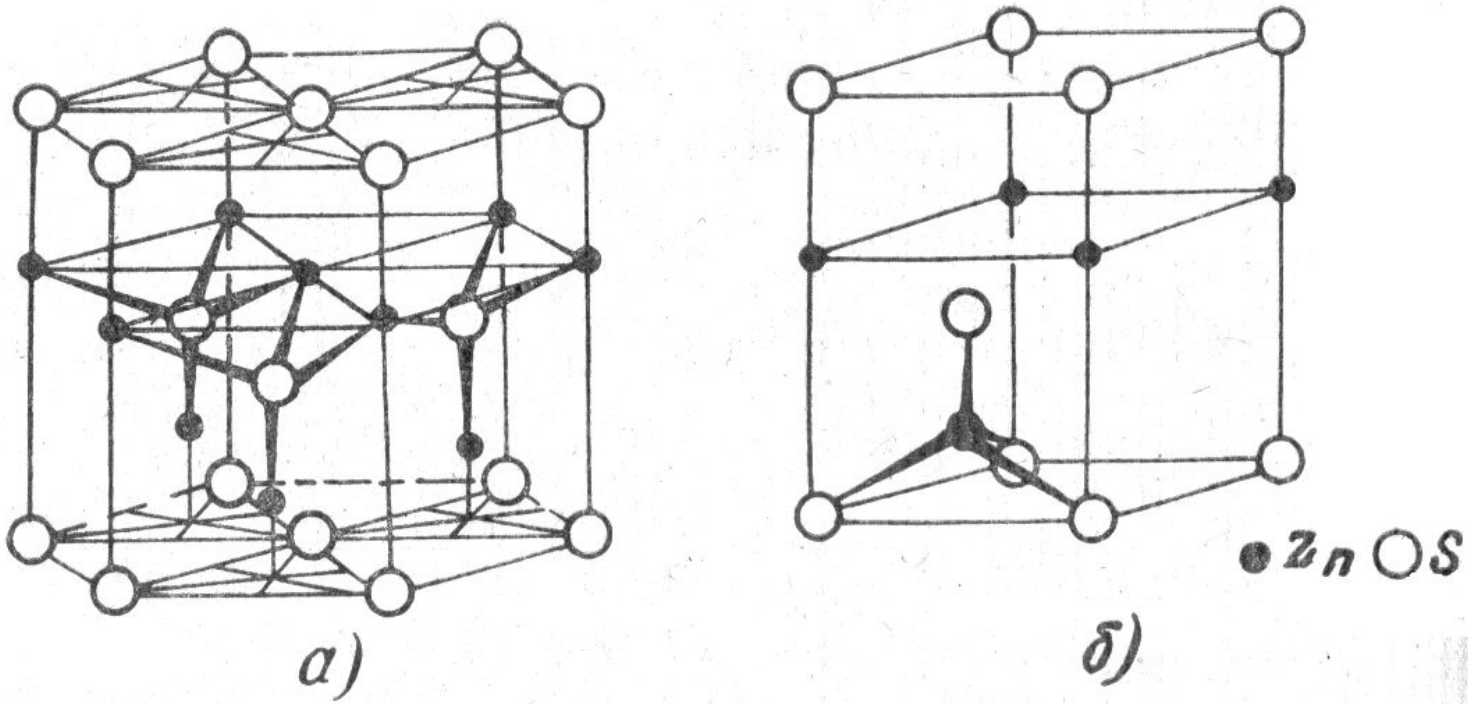
Электрические свойства зависят от избытка или недостатка компонентов 3 5 групп



Фрагмент кристаллической структуры соединений AIIBVI (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



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 $A^{IV}B^{VI}$

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

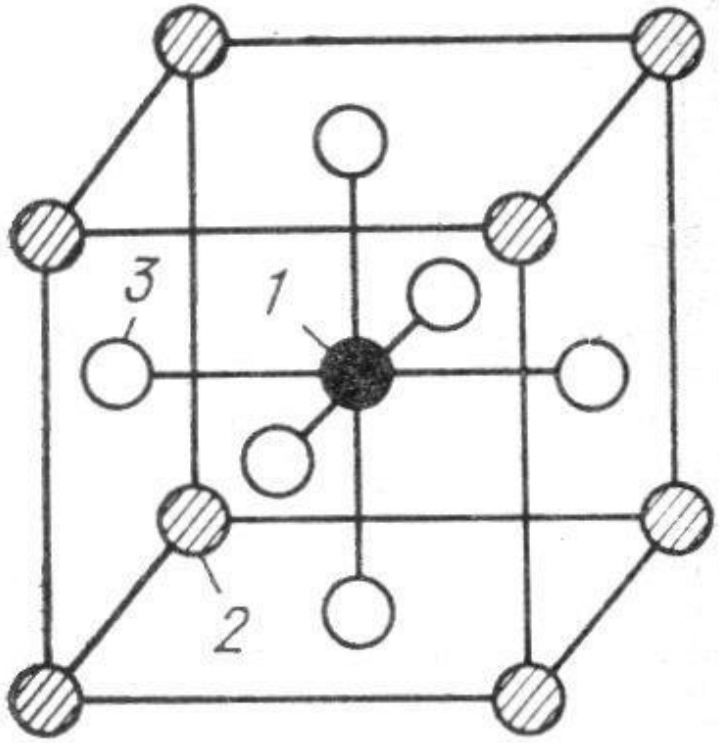
Кубическая кристаллическая решетка. Электрические свойства зависят от состава (избыток Pb – *n*-тип, избыток халькогена *p*-тип).

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

Трехвалентные металлы (Bi) и VII группа – доноры.

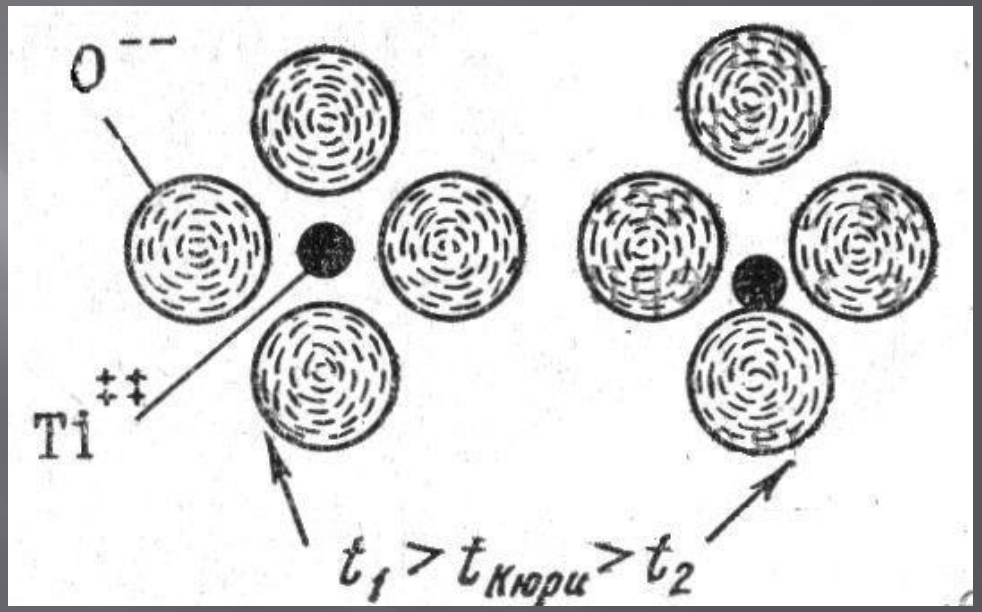
Кроме неорганических веществ полупроводниковыми свойствами обладают также и некоторые **органические** вещества, такие как бензол, нафталин и т. д.

Сегнетоэлектрики

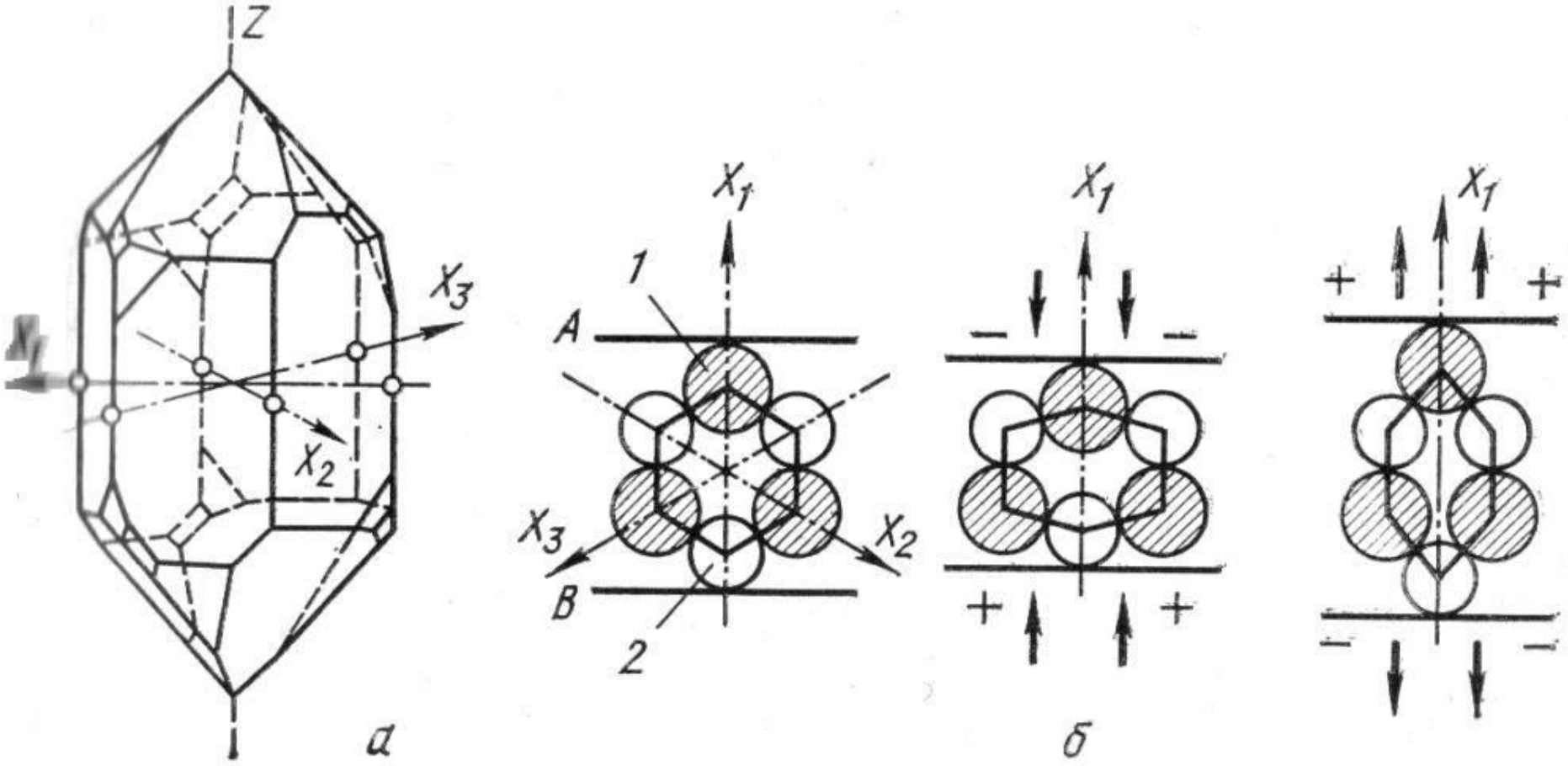


Элементарная ячейка титаната бария $BaTiO_3$:

1 — титан; 2 — барий; 3 — кислород

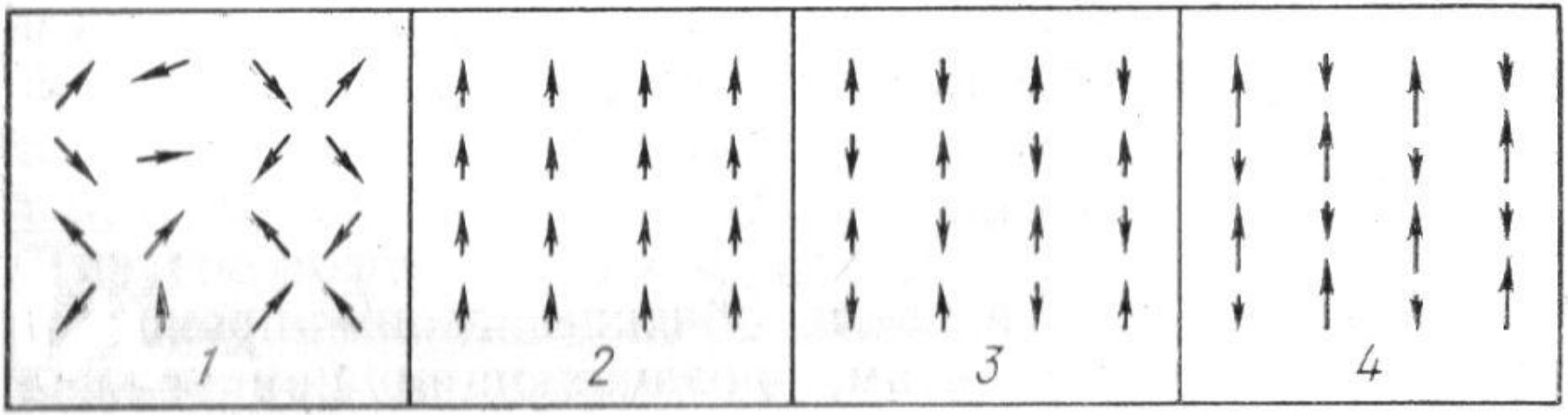


Пьезоэлектрические материалы



Кристалл кварца:

а — 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.