

ПУТЬ К НАНОТЕХНОЛОГИЯМ: ЛИЦА И УСТРОЙСТВА

Рыжиков Сергей Борисович

доктор педагогических наук

доцент физического факультета

МГУ им. М.В. Ломоносова

2019

Рекомендуемая литература

Рыжиков С.Б.

Рыжикова Ю.В.

**Загадочные и
удивительные
способности зрения**

2018

www.sloletov.org

Вкладка «библиотека»



Литература

- У. Айзексон. Инноваторы. Как несколько гениев, хакеров и гиков совершили цифровую революцию. М. 2015.
- Г. Смолл, Г Ворган. Мозг онлайн. Человек в эпоху интернета.
- Рыжиков С.Б., Рыжикова Ю.В. В каком классе можно рассказывать школьникам о проблемах нанотехнологий? // Вестник Московского университета. Серия 20: Педагогическое образование, 2011, № 3, с. 20-23

НБИКС – образование будущего

Нанотехнологии

Биотехнологии

Информационные технологии

Когнитивные технологии

Социогуманитарные технологии

Основные проблемы

- Нанотехнологии развиваются очень быстро – любой учебник устареет пока выйдет
- Для понимания проблем нужны знания квантовой механики – далеко выходит за школьную программу
- Невозможно составить задачи для контроля усвоения материала

Возможные пути решения

- Обучать не тонкостям нанотехнологий, которые школьники не смогут понять, а показать историю становления современных технологий (кто стремится быть очень современным – неизбежно устаревает)
- Основное внимание уделять не хронологии событий, а логике развития идей
- Для большего интереса раскрыть тему: «Как делаются открытия?»
- О роли российских ученых

Когда начались нанотехнологии?

Вехи нанотехнологий:

- Полупроводники
- *p-n* переходы
- Транзисторы
- Микрочипы
- Микропроцессоры
- Flash – память
- Фотолитография

Как делаются открытия?

1. Не проходите мимо

**Наблюдение, готовность
увидеть новое**

- Шерлок Холмс: «Вы смотрите и не замечаете»

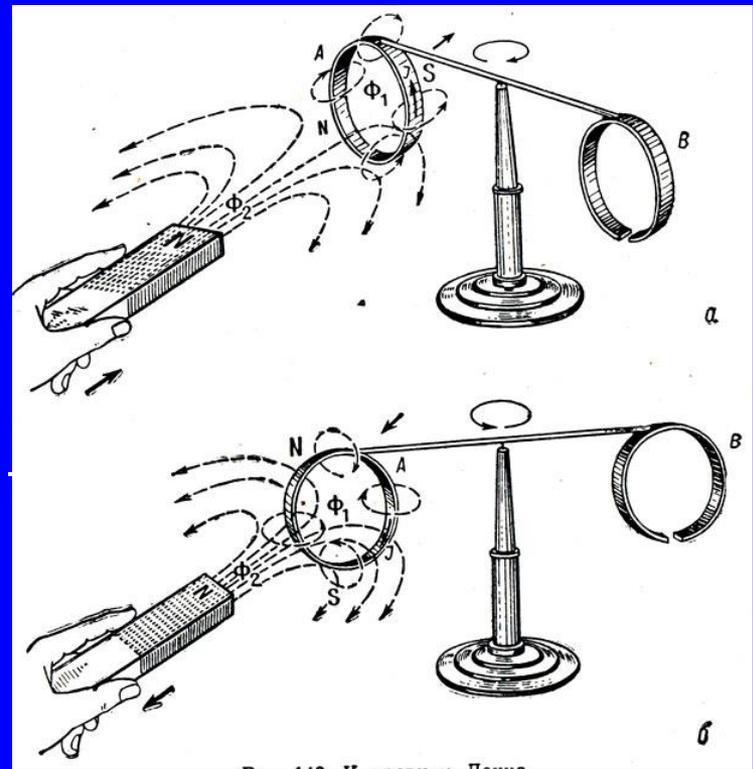
Наблюдение, готовность увидеть новое

- 1780 г. Болонский университет, Луиджи Гальвани. опыты с лягушкой и электрофорной машиной
- За 30 лет до него – Марко Антонио Кальдани, Болонский университет



Наблюдение, готовность увидеть новое

- 1831 – Майкл Фарадей, закон электромагнитной индукции
- 1822 – Андре-Мари Ампер слабое притягивание медного кольца



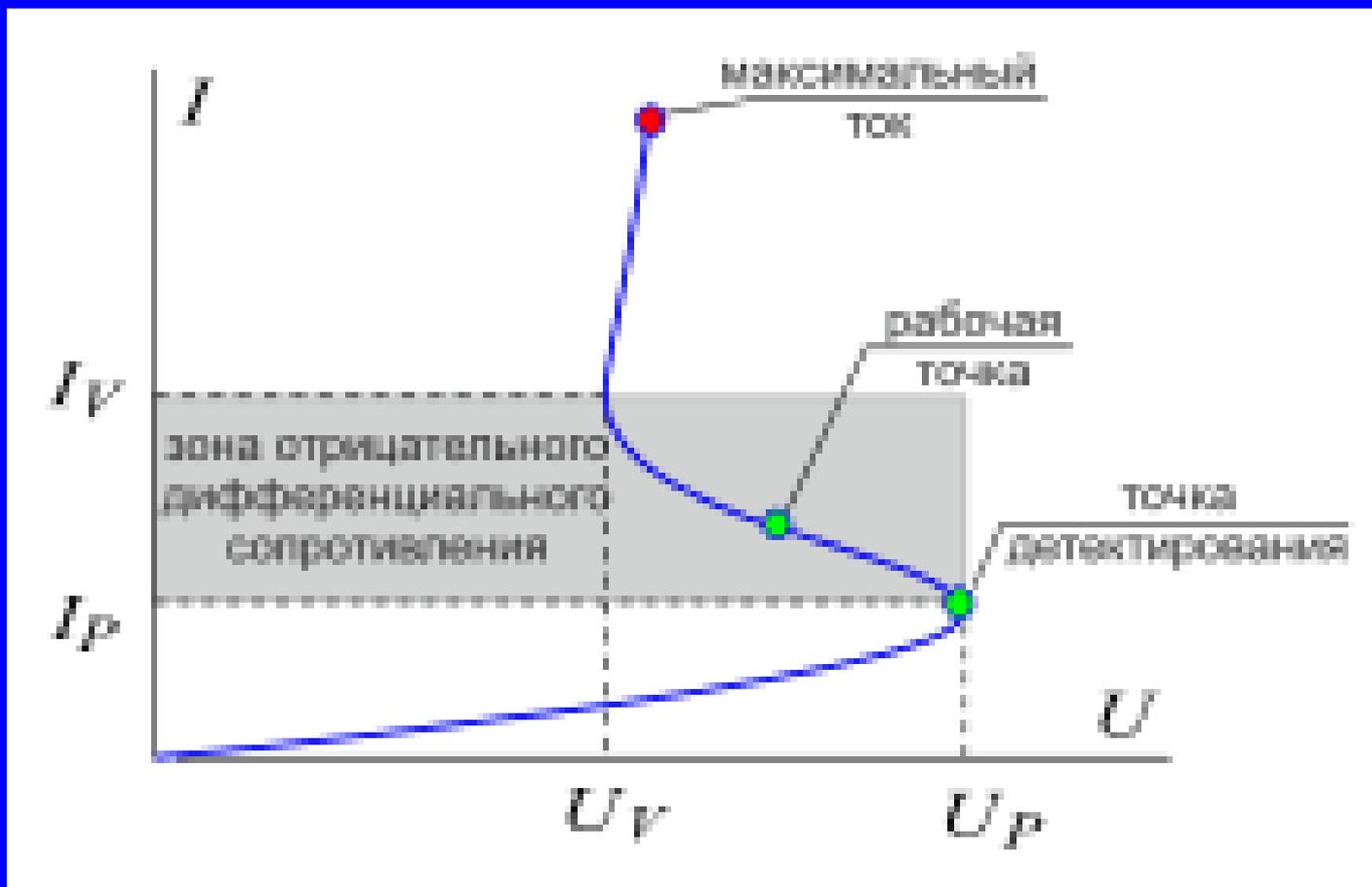
Наблюдение, готовность увидеть новое

- Лосев Олег Владимирович
1903, Тверь – 1942,
Ленинград,
- 1922 - «кристадин»,
открытие отрицательного
сопротивления: угольный
волосок – минерал
«цинкит» (ZnO)



Наблюдение, готовность увидеть новое

- Кристадин – отрицательное сопротивление



2. Случайность и настойчивость

- 1791 г. – Луиджи Гальвани – опыт с двумя металлами
- 1752 – Иоанн Зульцер (Германия) – олово+медь
- Алессандро Вольта – несколько лет подбирал пары металлов, 1799 – создание батарейки



2. Случайность и настойчивость

- 1843 – создание первой линии электрического телеграфа (Вашингтон – Балтимор)
- 1865 – первая удачная попытка соединить телеграфом Америку и Европу
- Уиллоуби Смит (1828 – 1891) использование селена для изоляции кабелей – открытие фотоэлектричества (1873)
- Чарльз Фриттс (США, 1850 – 1903) – фотоэлементы (1883)

2. Случайность и настойчивость

- Карл Фердинанд Браун – (Германия, 1850 – 1918), изобретатель трубки Брауна – кинескопа, 1874 – односторонняя проводимость – контакт сульфида свинца с металлом;
- Патент 1899 года (!), нобел. (с Маркони 1909)

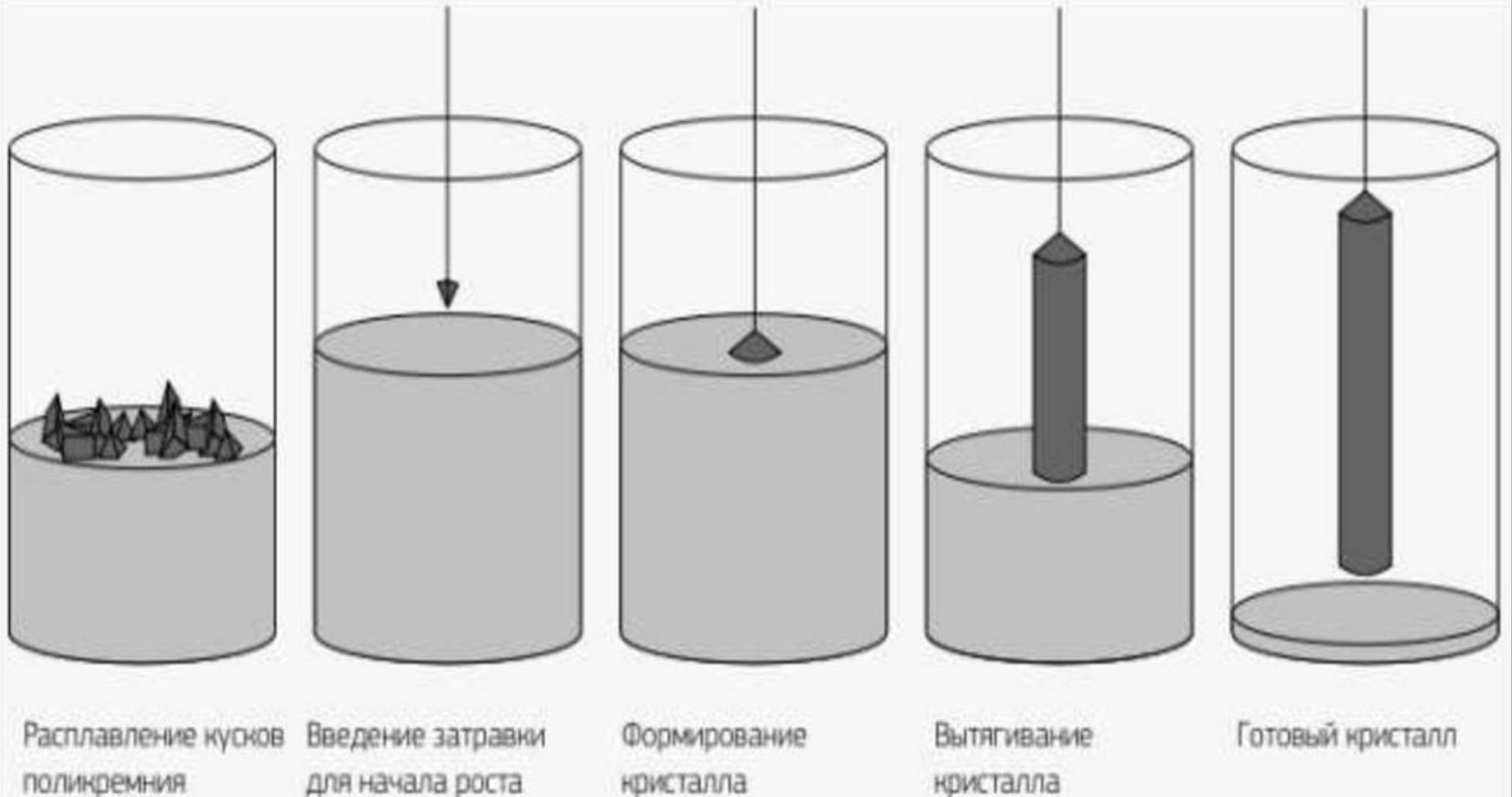


2. Случайность и настойчивость

- Ян Чохральский –
(Польша, 1885 – 1953)
- 1916 метод очистки металлов из расплава алюминий, свинец...
- 1950 *Bell Labs* – германий



Метод Чохральского



2. Случайность и настойчивость

- 1939 – *Bell Labs*
- Рассел Ол
(1898 – 1987) –
открытие *p-n*
перехода,
- 1946 – патент
солнечных
батарей



3. Публикация результатов

- Работай. Закончи. Опубликуй.
М.Фарадей

- Открытие полупроводников
- Майкл Фарадей «Экспериментальные исследования по электричеству» (1831 – 1835): при увеличении температуры сопротивление сернистого серебра сильно уменьшается

3. Публикация результатов

- Изобретение транзистора, патент 1926 г.
- Юлий Эдгар Лилиенфельд (1882, Львов, Австро-Венгрия – 1963, США), изобрел электролитические конденсаторы (1931)



3. Публикация результатов

Jan. 28, 1930.

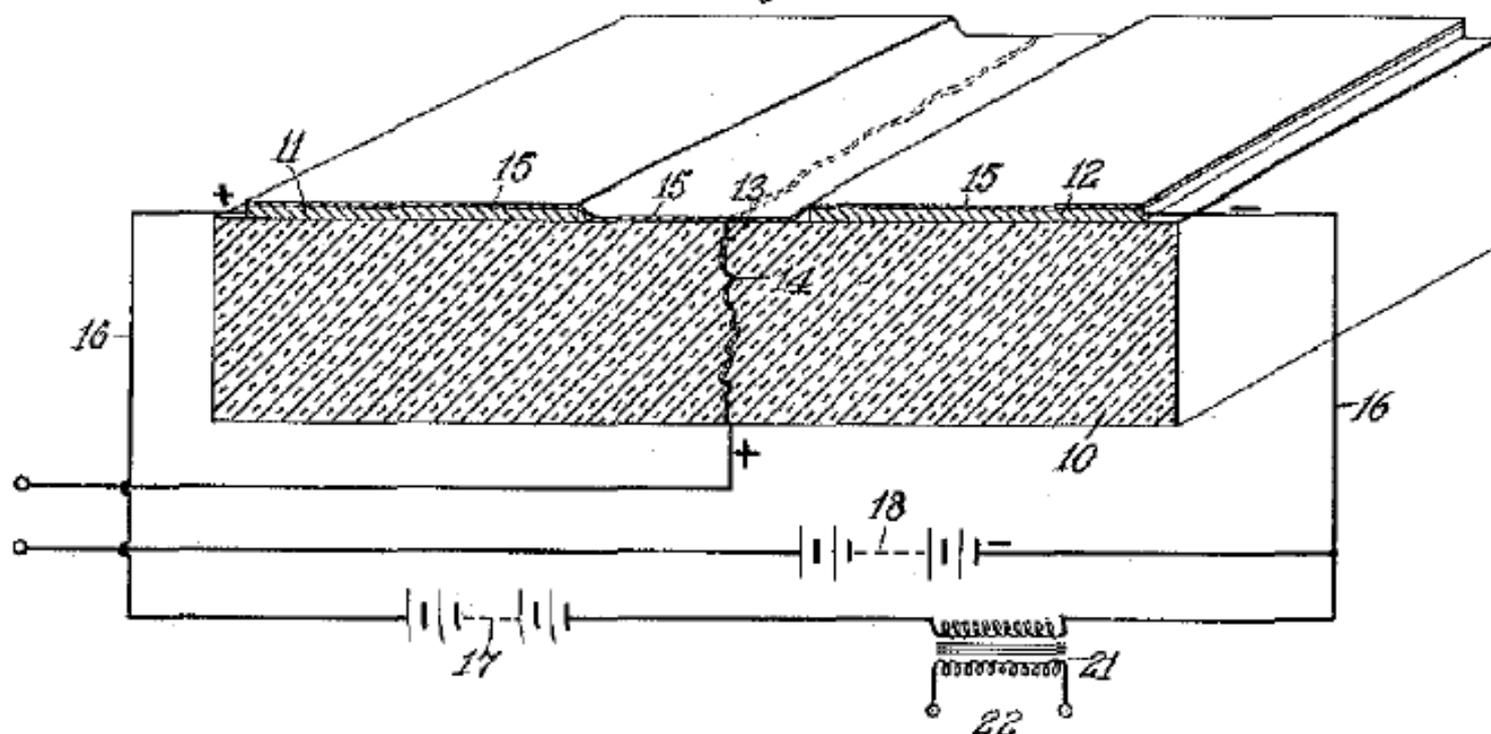
J. E. LILIENFELD

1,745,175

METHOD AND APPARATUS FOR CONTROLLING ELECTRIC CURRENTS

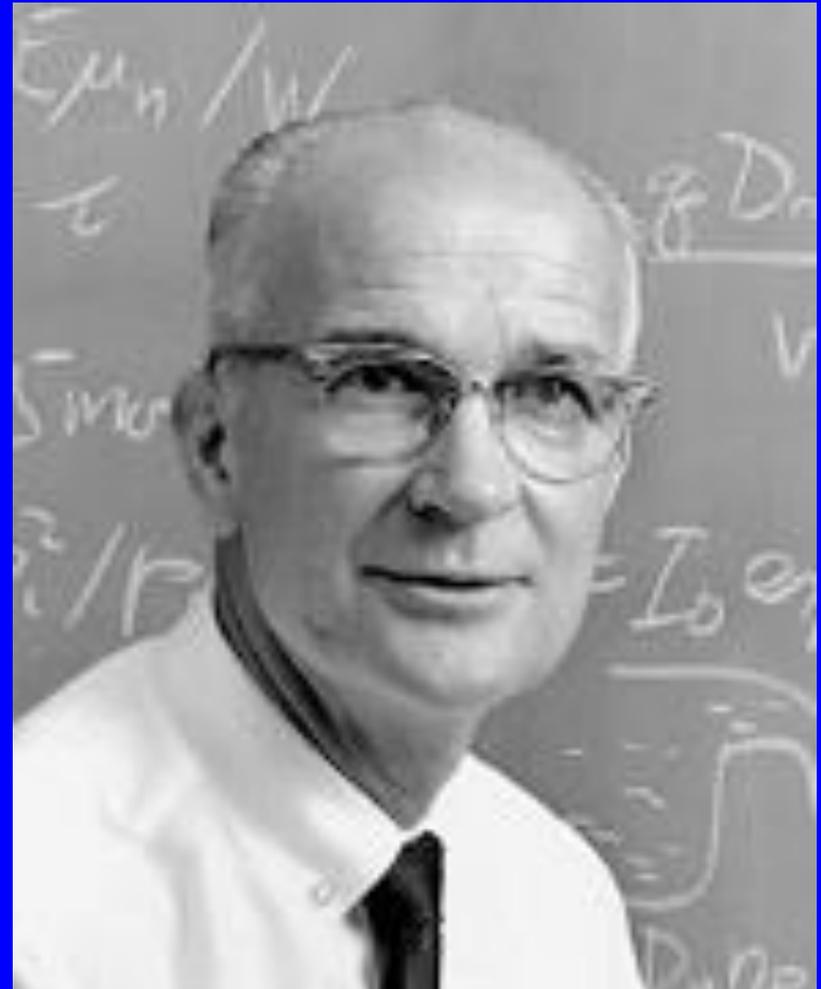
Filed Oct. 8, 1926

Fig. 1.



4. Знание достижений предшественников

- 1945 *Bell Labs* – 2000 ученых и инженеров
- Уильям Шокли, 1910 – 1989, нобел. 1956,
- Первое направление – реализация модели Лилиенфельда



4. Знание достижений предшественников

- Генрих Рудольф Герц,
1887 – э.-м. волны
- Теория Максвелла 1873
- Катушка Румкорфа –
патент 1851 г



4. Знание достижений предшественников

- когерер – 1835 – шведский учёный Петер Самуэль Мунк Аф Розеншельд
- 1890 Эдуард Бранли – Франция – использовал для приема э.-м. волн – трубка Бранли



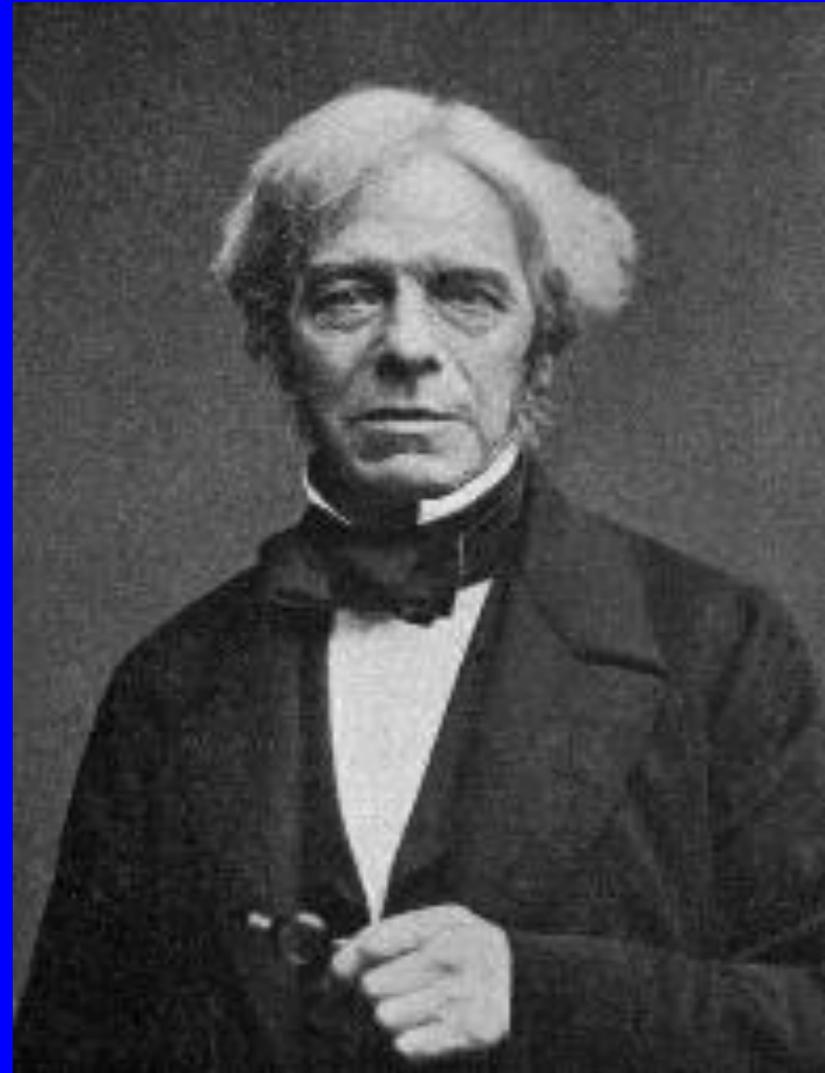
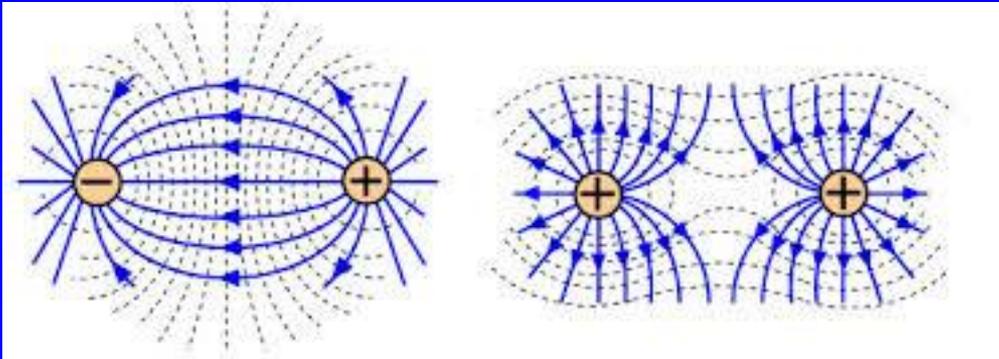
4. Знание достижений предшественников

- Александр Степанович Попов (1859 -1905) 7 мая 1895 г., с 1945 – день радио передача до 60 м
- использование когерера, реле, антенны (Тесла 1893)
- Патент Маркони – 1896



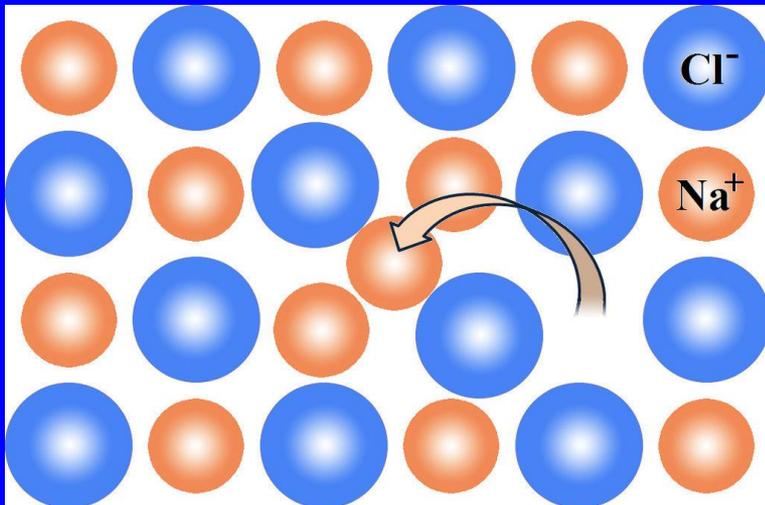
5. Умение создавать модели

- Майкл Фарадей – силовые линии, ионы – носители зарядов
- Дж. Максвелл 1861, 1873 – уравнения



5. Умение создавать модели

- Френкель Яков Ильич
1894 – 1952
- 1926 – дефекты в
плотнупакованных
кристаллах



5. Умение создавать модели

- Абрам Федорович Иоффе 1880 – 1960
- 1932 – совместно с Френкелем – теория выпрямления при контакте металла и полупроводника



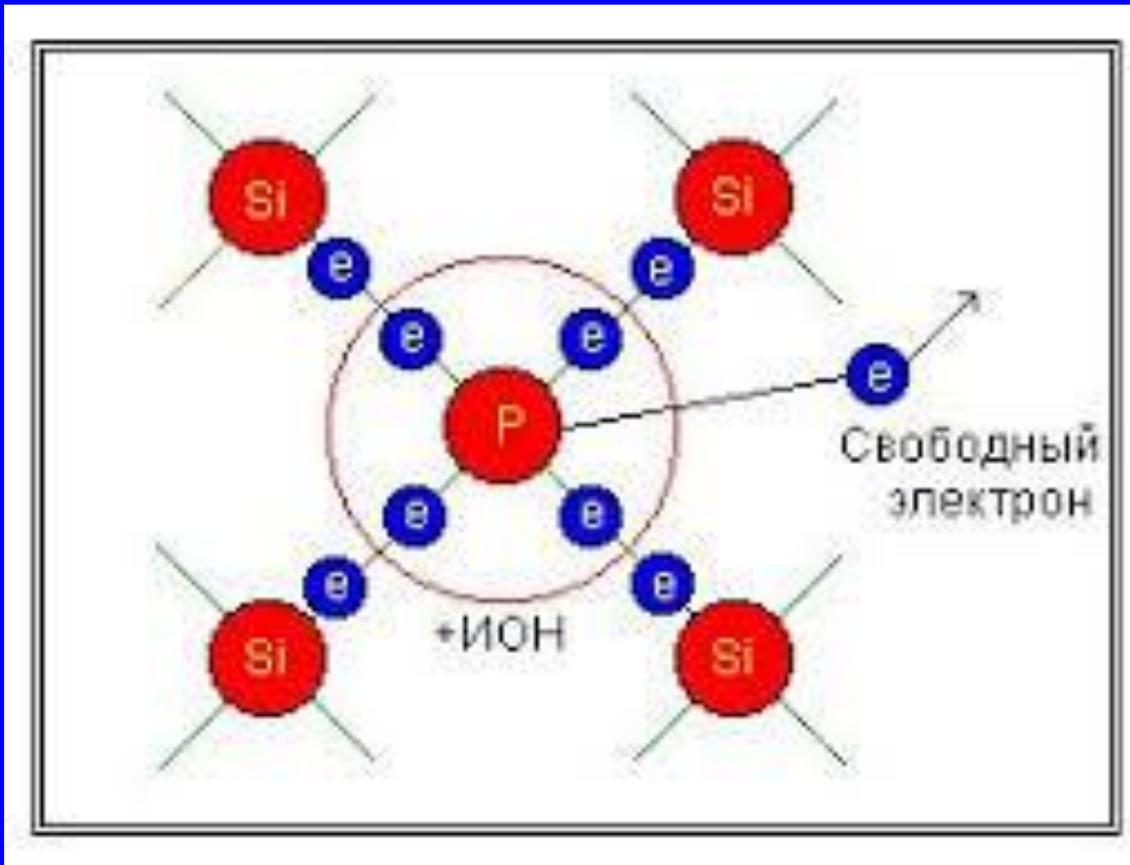
5. Умение создавать модели

- Александр Сергеевич Давыдов, 1912 – 1993, академик УССР
- Диффузионная теория выпрямления тока на границе металл - полупроводник

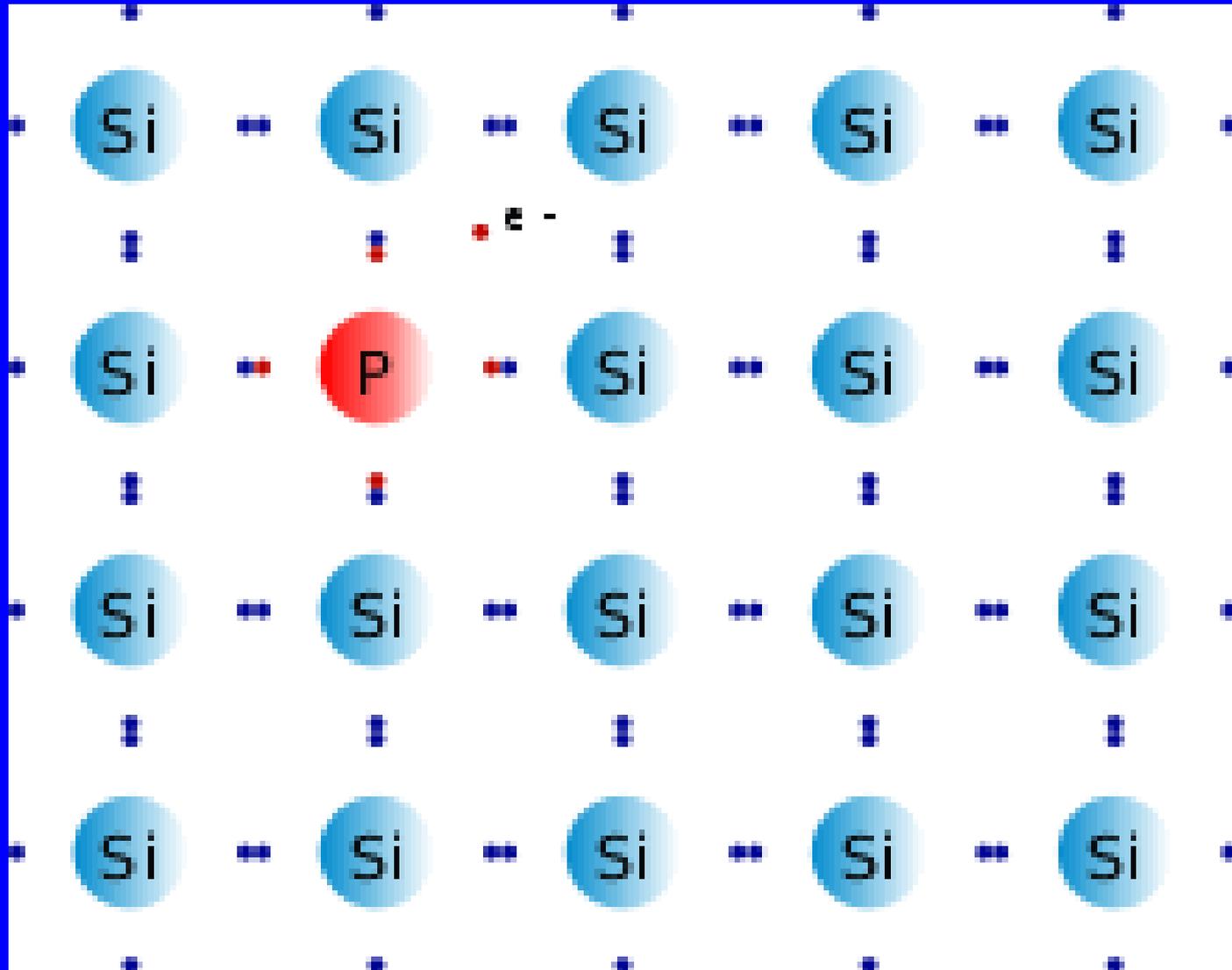


5. Умение создавать модели

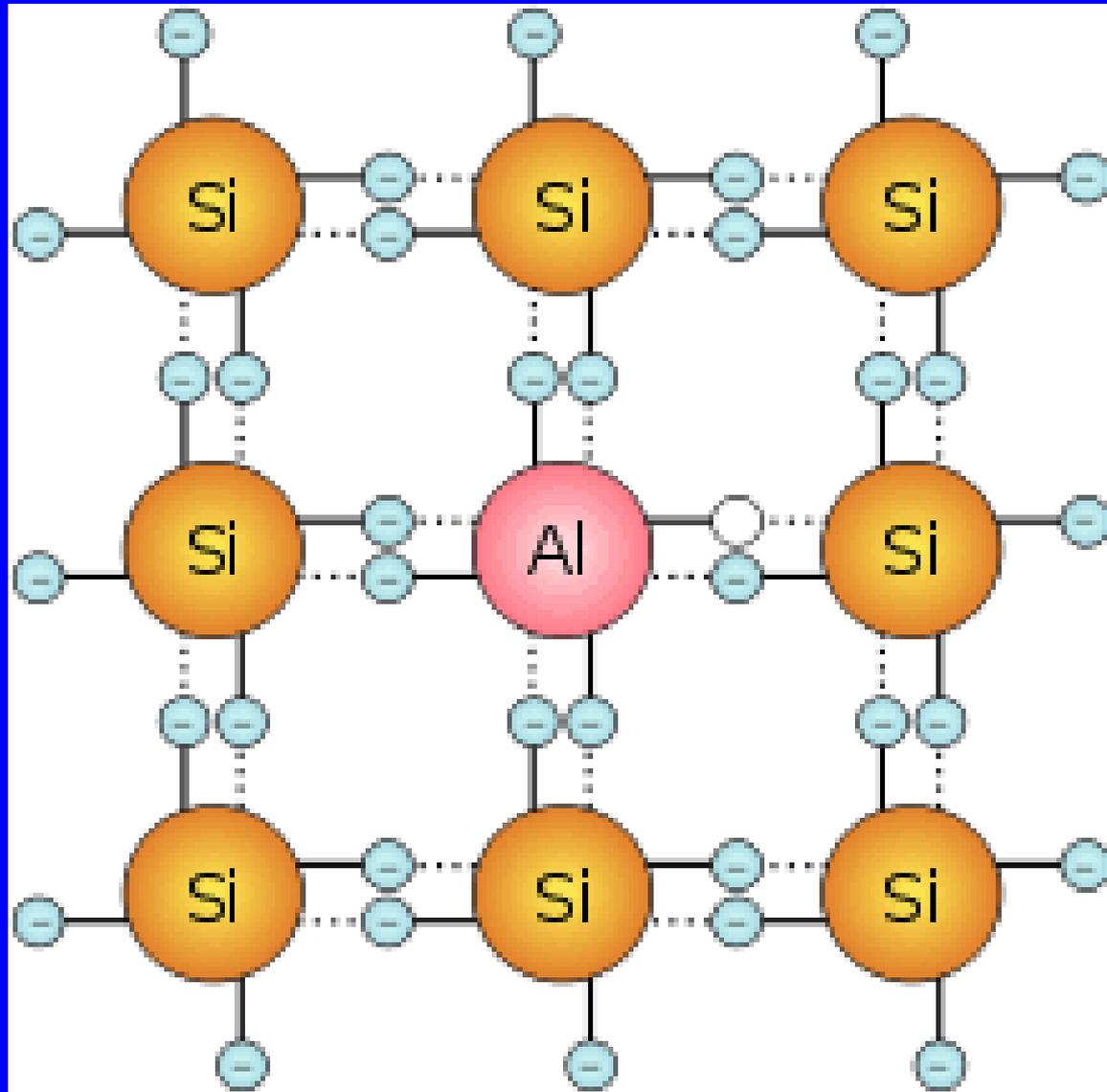
- Уильям Шокли, 1910 – 1989, нобел. 1956,
- 1948 – 1950 – теория *p-n* перехода



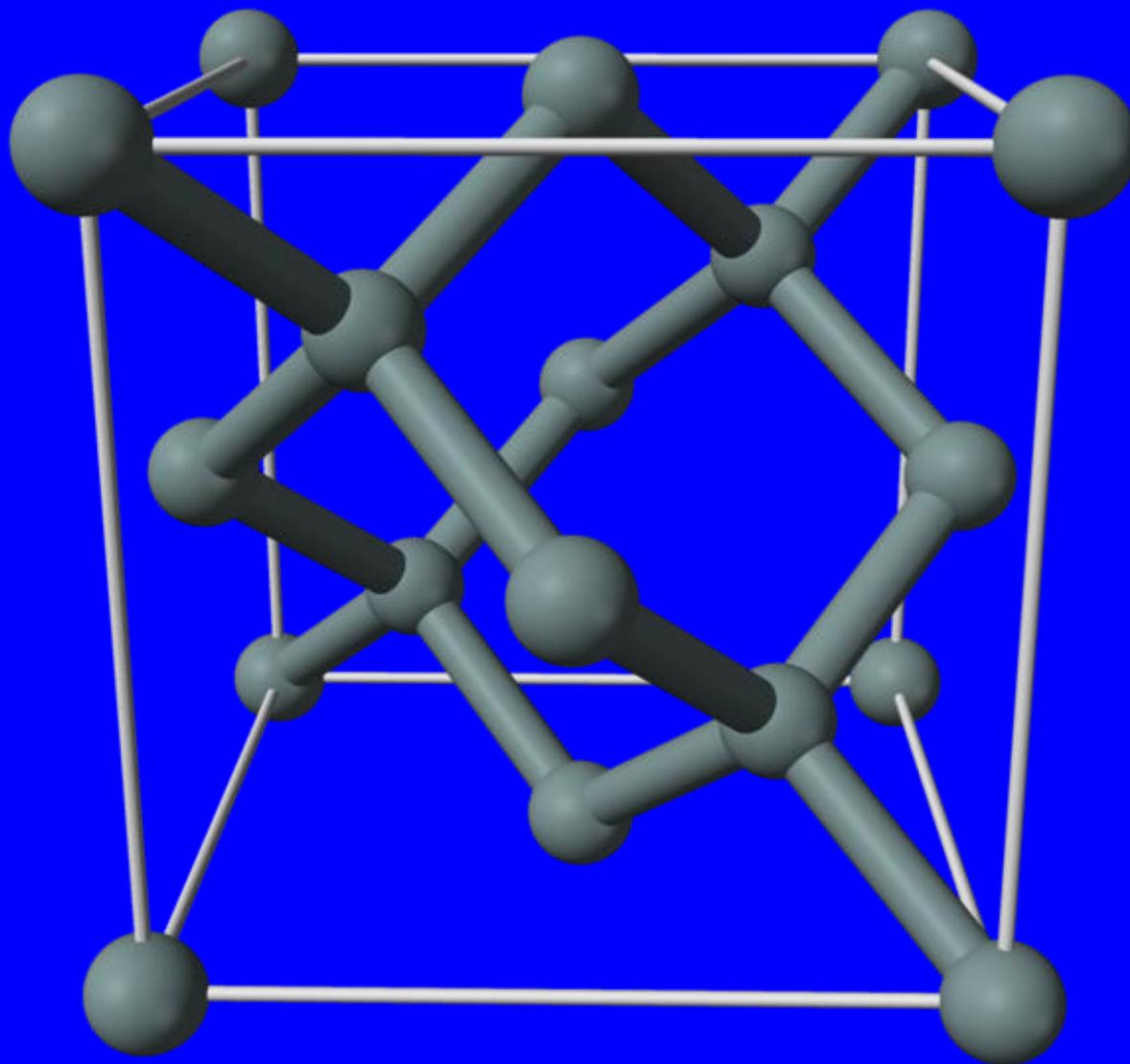
n – type



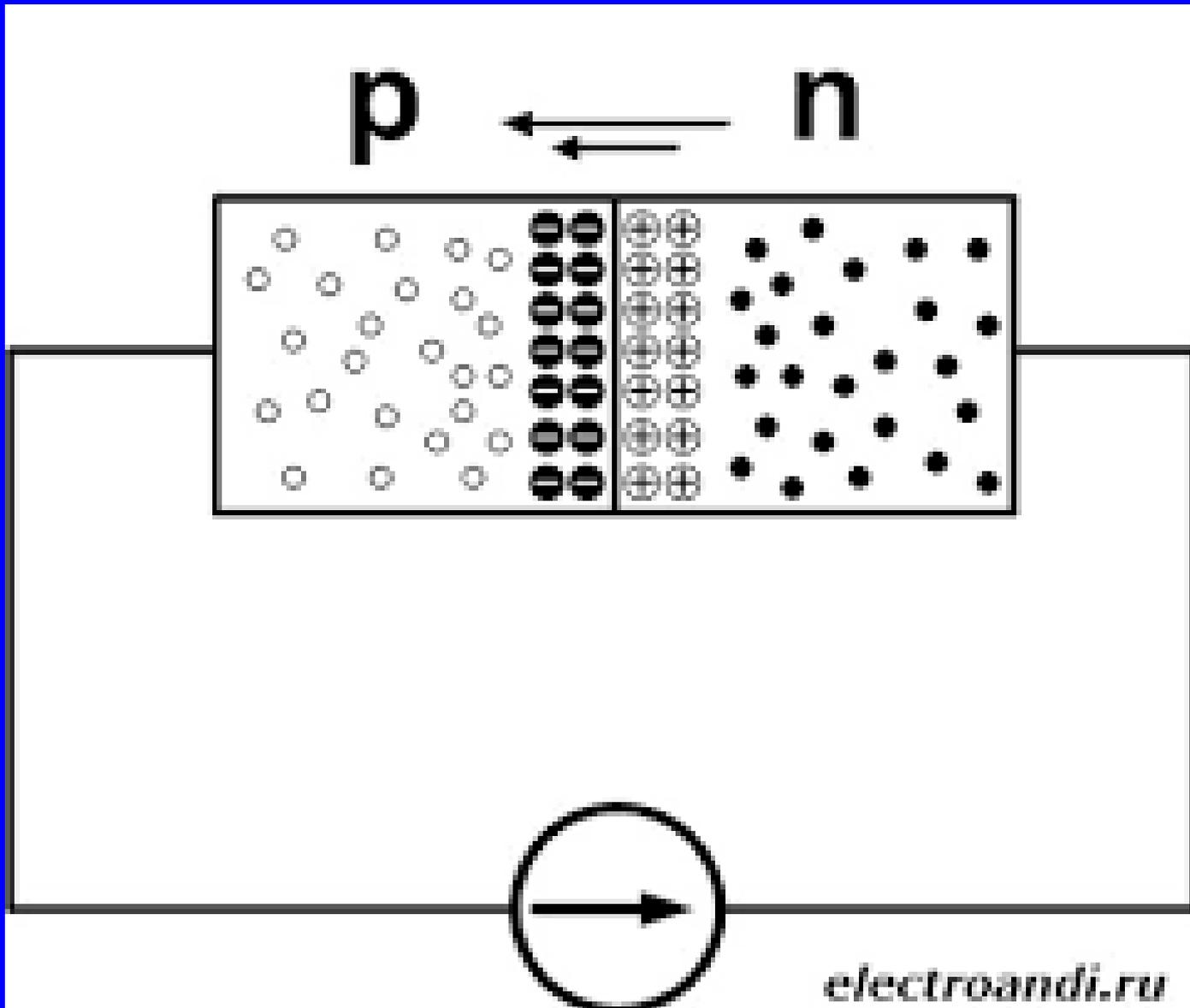
p – type



Кристалл кремния



p - n



На пороге открытия

- Лашкарев Вадим
Евгеньевич (1903 – 1974),
Киев
- 1941 – открытие р-п
перехода на границе медь
– закись меди
- Промышленное
производство
медекислых диодов



6. Ассоциативное мышление

- Большинство изобретений цифровой эпохи были сделаны на основе механических аналогов
- Факс – 1843 г – Александр Бейн (Шотландия)
- Джованни Казелли (Испания) – 1856 – СПб - Москва

6. Ассоциативное мышление



- факс Казелли – музей радио

6. Ассоциативное мышление



Оптический телеграф –
Зимний дворец

6. Ассоциативное мышление



Арифмометр — предшественник калькулятора

6. Ассоциативное мышление

- Компьютерная мышь – 1961 г –
Энгельбарт на основе планиметра
(прибор с двумя колесами для
измерения площади), мышь имела 3
кнопки (по рез-там тестирования)
- Микроволновая печь – 1947 на основе
магнетрона

7. Актуальность

- Многие разработки имели военное значение
- Телеграф
- А. Попов – радио – военно-морское ведомство
- Радиолокация

7. Актуальность

- 1930-ые создание магнетронов
- Радиолампы могут работать до 100 МГц
- Радиолокаторы 10 см – нужны ГГц
- 1938 – Компания *Bell Labs* (Нью-Джерси, США) – контракт с военным флотом на разработку 40 см радара. Руководитель - Мервин Келли (1895 – 1971), впоследствии президент *Bell Labs*.

7. Актуальность

- 1906 Гринлиф Пикард – кремниевый кристаллический детектор («кошачий ус») – забыт на 30 лет



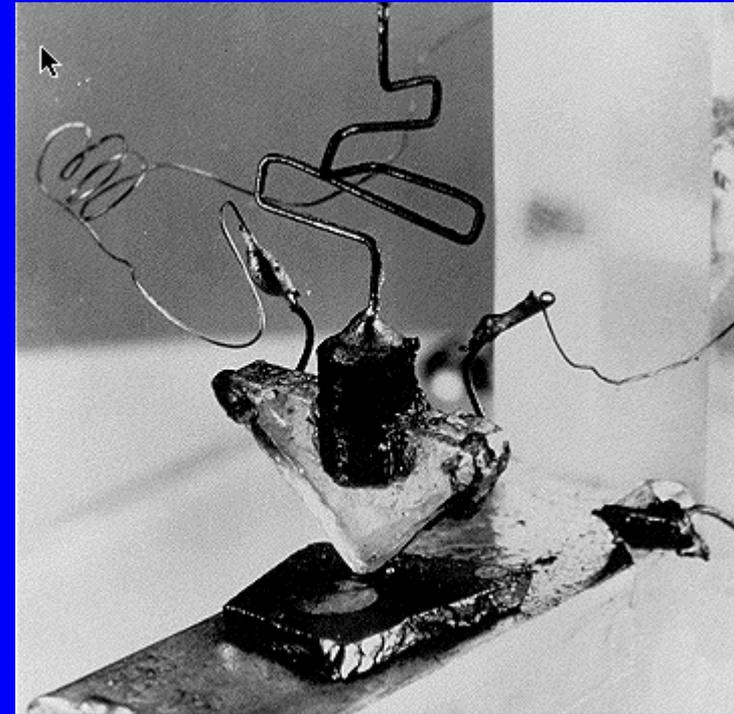
7. Актуальность

- Рассел Ол – улучшить работу кошачьего уса
- 1939 – чистота кремния 99,8%
- Получение образцов р и n типа
- Странный образец, реагирующий на свет
- Р-ты засекречены до 1945
- 1946 Рассел Ол – солнечные батарейки
- К 1945 чистота кремния 99,999%

8. Умение работать в КОЛЛЕКТИВЕ

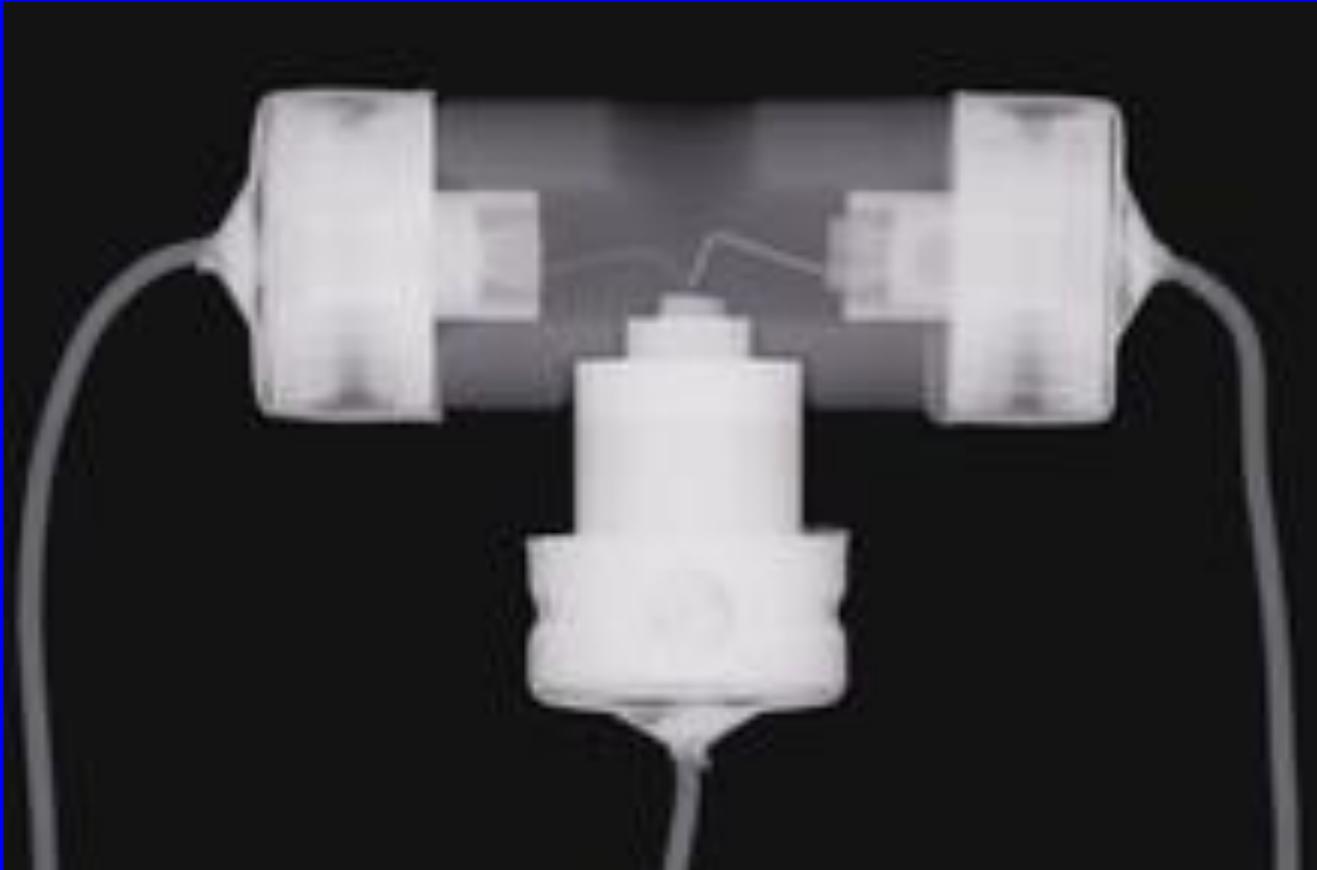
- 1945 *Bell Labs* – 2000 научных сотрудников
- Декабрь 1947 – Джон Бардин и Уотер Браттейн – первый точечный транзистор

Расстояние между
контактами – 50 мкм
Шокли – февраль 1948
теория транзистора -
нарушение этики *Bell Labs*



9. Идеи витают в воздухе

- Лето 1948 – Герберт Матаре и Генрих Велкер – Париж – транзистрон



10. От открытия до внедрения...

- 1949 – 1950 – публикация теории плоскостного транзистора Шокли, нобел. премия 1956



10. От открытия до внедрения...

- *Bell Labs* – антимонопольное законодательство – патент за \$25 000
- 1952 – *Texas Instruments* – массовое производство плоскостных транзисторов
- Пэт Хаггерти. Как обеспечить спрос на транзисторы?
- Реклама – это искусство внушить людям, что им жизненно необходима вещь, о существовании которой они 5 минут назад не знали
- Цена упала с \$16 до \$3 за транзистор
- В 1954 – продано 100 000 штук

Умение работать в коллективе

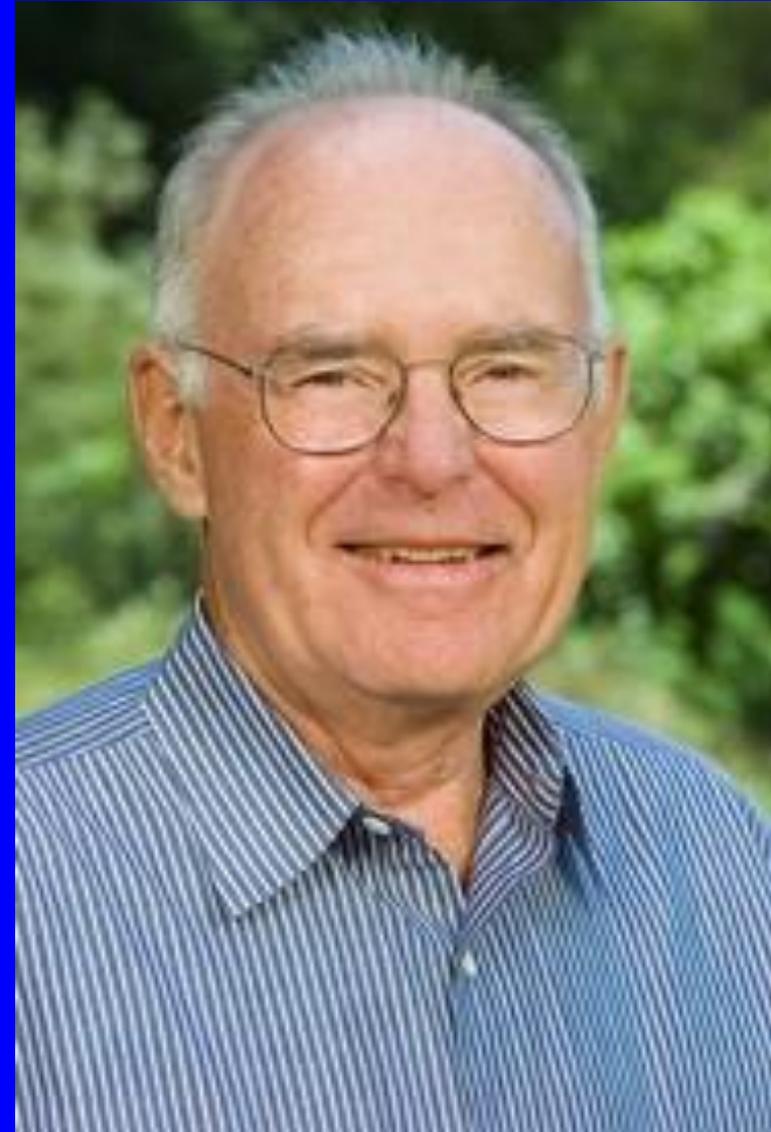
- 1951 Шокли фактически запретил остальным сотрудникам работать над транзистором, Бардин занялся сверхпроводимостью, Браттейн перестал работать с Шокли – электрохимия
- 1955 Шокли перешел в *Beckman Instruments* (рук. Бэкман) – основание Силиконовой долины

Умение работать в коллективе

- Шокли не сумел переманить к себе сотрудников *Bell Labs*, но пригласил инженеров со всей Америки: Роберт Нойс, Гордон Мур (род. 1929)... всего 10 человек моложе 30 лет
- Шокли был скрытным, жестким, авторитарным и чрезмерно подозрительным, он требовал, чтобы все сотрудники прошли тест на детекторе лжи, людей, которые с ним работали, он считал своими конкурентами, требовал, чтобы его указали как соавтора...

Умение работать в коллективе

- 1957 Гордон Мур и др. потребовали отстранить Шокли от руководства — отказ — основание новой фирмы *Fairchild Semiconductor*
- 1963 Шокли уходит из бизнеса — преподаватель Стэнфорда



Идеи витают в воздухе

- Февраль 1959 – Джек Килби (*Texas Instruments*) патент – микрочип с проволочками
- Июль 1959 Роберт Нойс и Джин Хорни (*Fairchild*) патент – впечатанные контакты
- 1966 – мирное соглашение
- Гражданское применение – слуховые аппараты – нужен спрос на новый объект
- 1967 – *Texas Instruments* – калькуляторы – 4 дейст. вес 1 кг, \$150, за 5 лет – 5 000 000 шт.

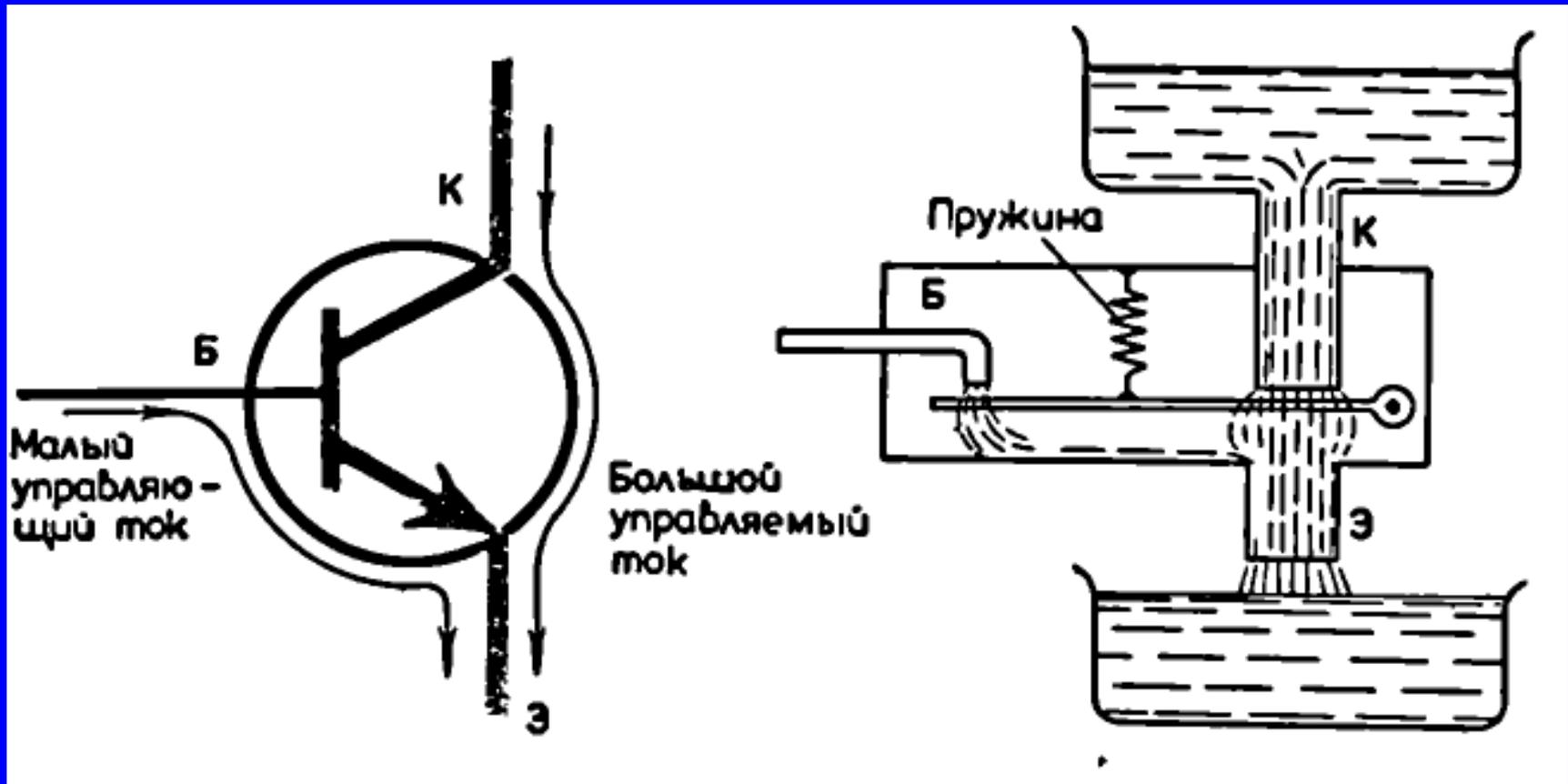
Умение работать в коллективе

- 1968 Мур и Нойс – основание *Intel*
- Новый стиль руководства
- 1969 Тэд Хофф – от микрочипа к микропроцессору
- 1971 – Intel4004 – 2300
- 1972 – Intel8008 – 3500
- 1974 – Intel8080 – 4200
- 1978 – Intel8086 – 29000



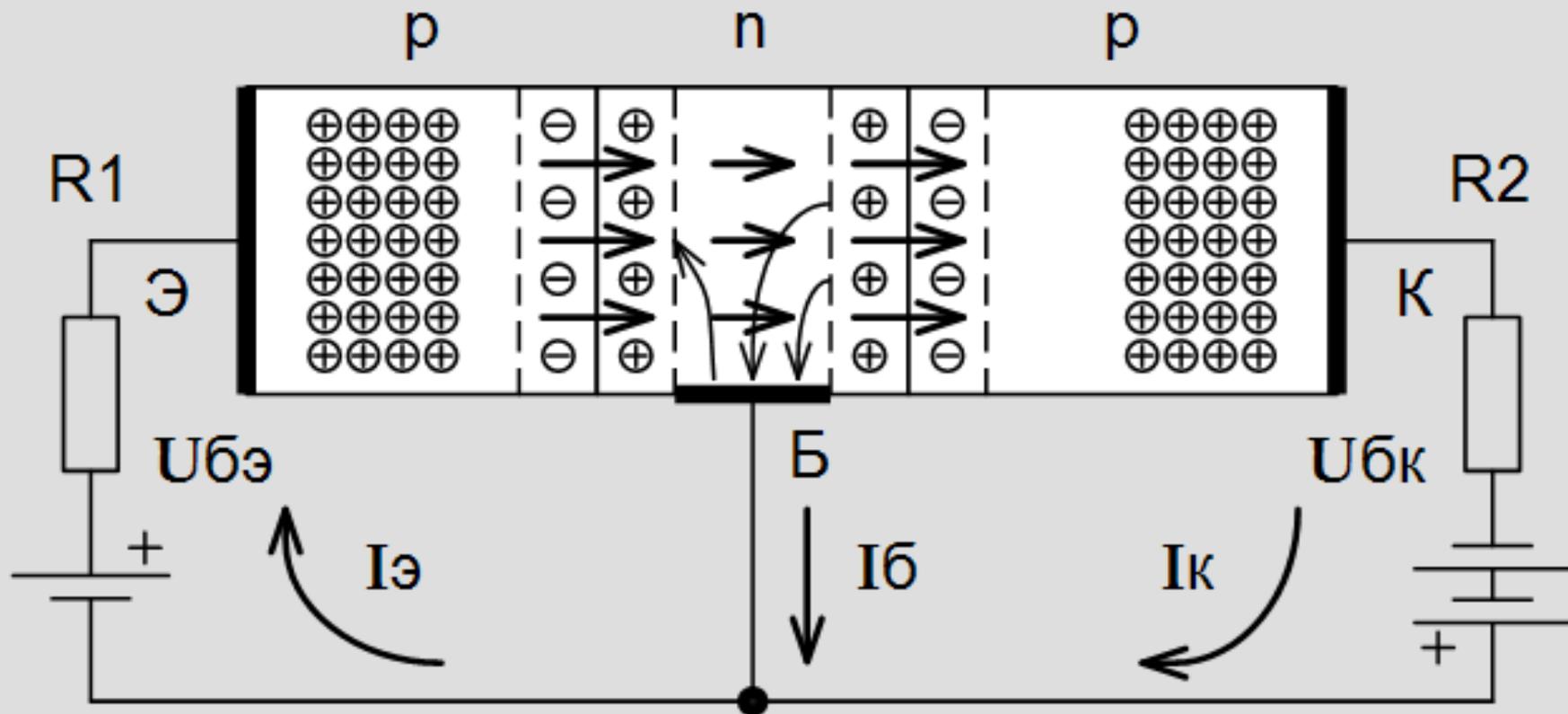
Роберт Нойс

Ассоциативное мышление



Механическая модель транзистора с сайта:
<https://www.ruselectronic.com/bipolyarnyj-tranzistor-usilenie/>

Ассоциативное мышление



Пояснение к работе транзистора

МОП – технологии

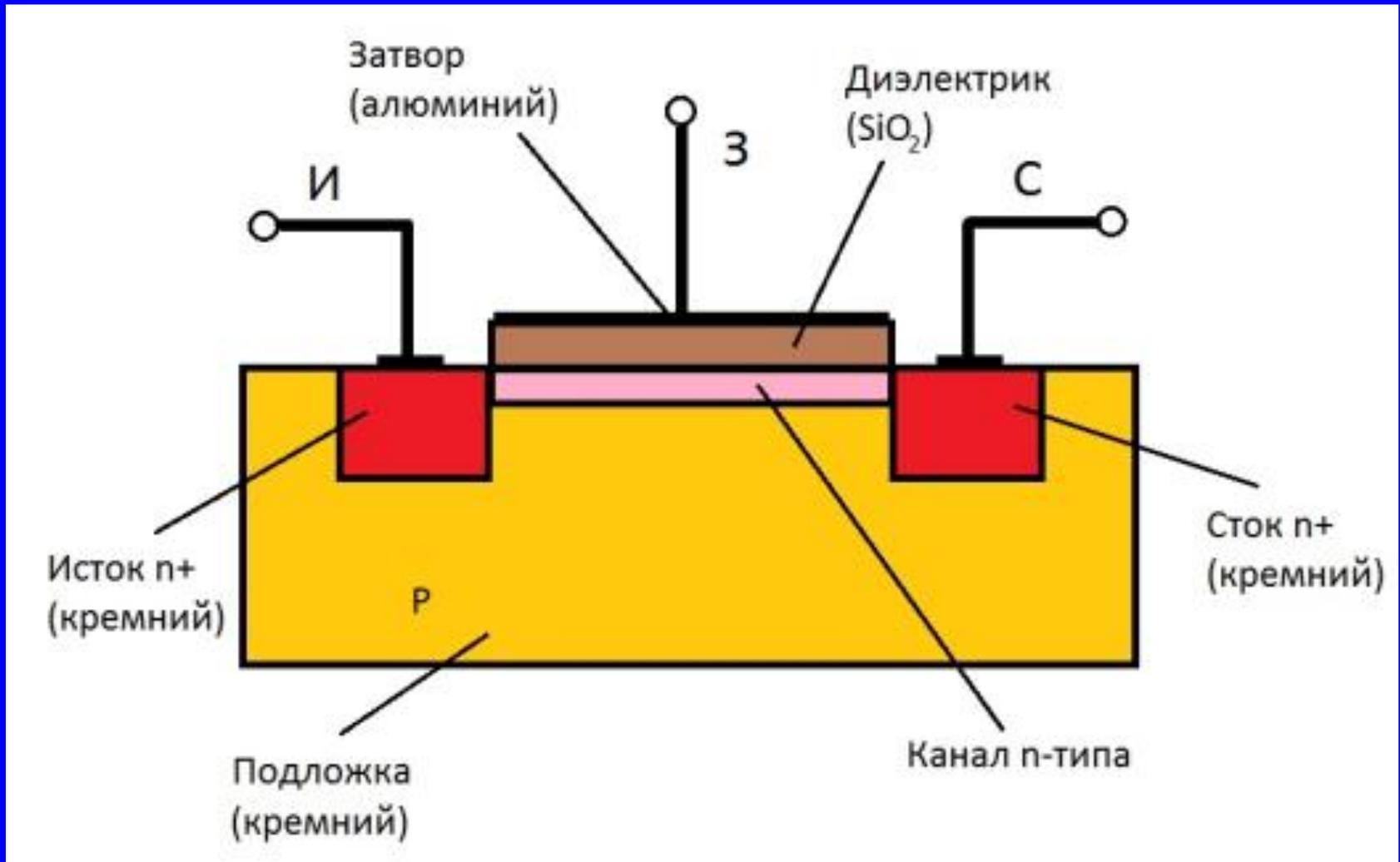
1959 *Bell Labs* Джон Аталла и Дэвон Канг – МОП (МДП) – транзистор MOS (MOSFET) metal–oxide–semiconductor field-effect transistor

Входное сопротивление 10^{14} Ом , вначале малое быстродействие, начало использ. комп. – 1970-ые



Dawon Kahng

МОП – технологии



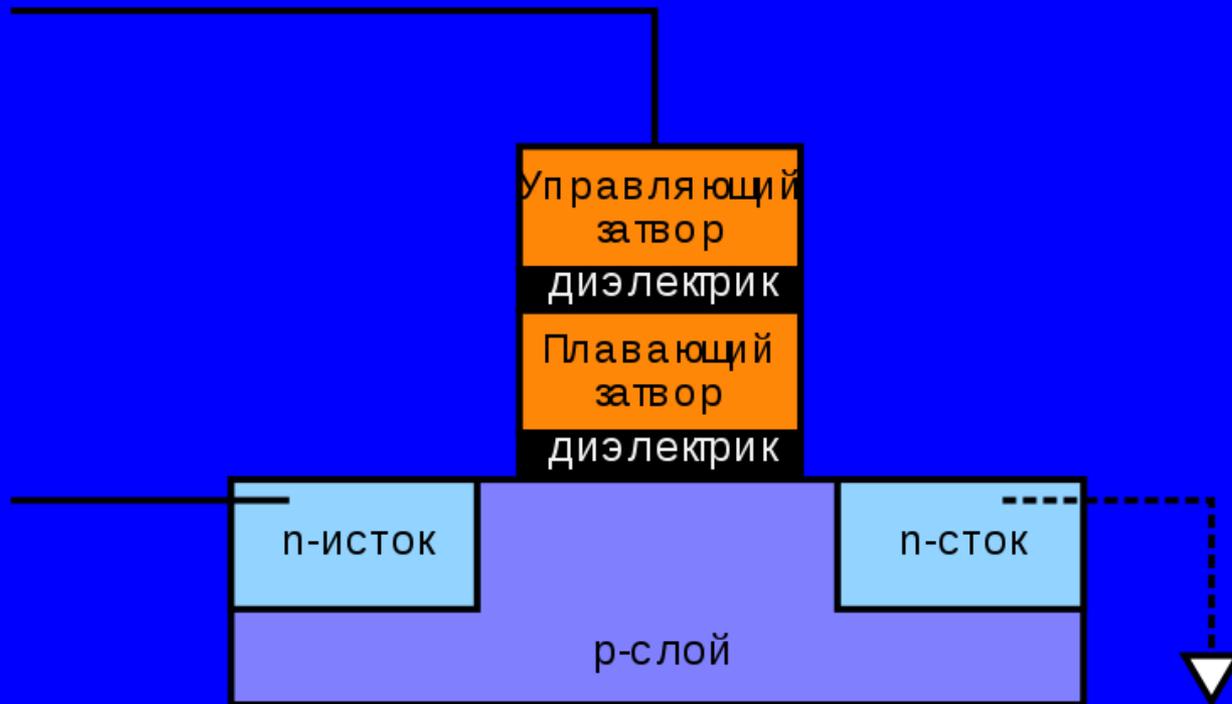
МОП – транзистор с индуцированным каналом

От открытия до внедрения...

- КМОП (комплементарная структура металл-оксид-полупроводник; *CMOS, complementary metal-oxide-semiconductor*)
- КМДП (комплементарная структура металл-диэлектрик-полупроводник)
- Изобретение КМОП – 1963 Фрэнк Вонлас (*Fairchild*)
- Производство микросхем КМОП – 1968.
- Первоначальное использование – часы

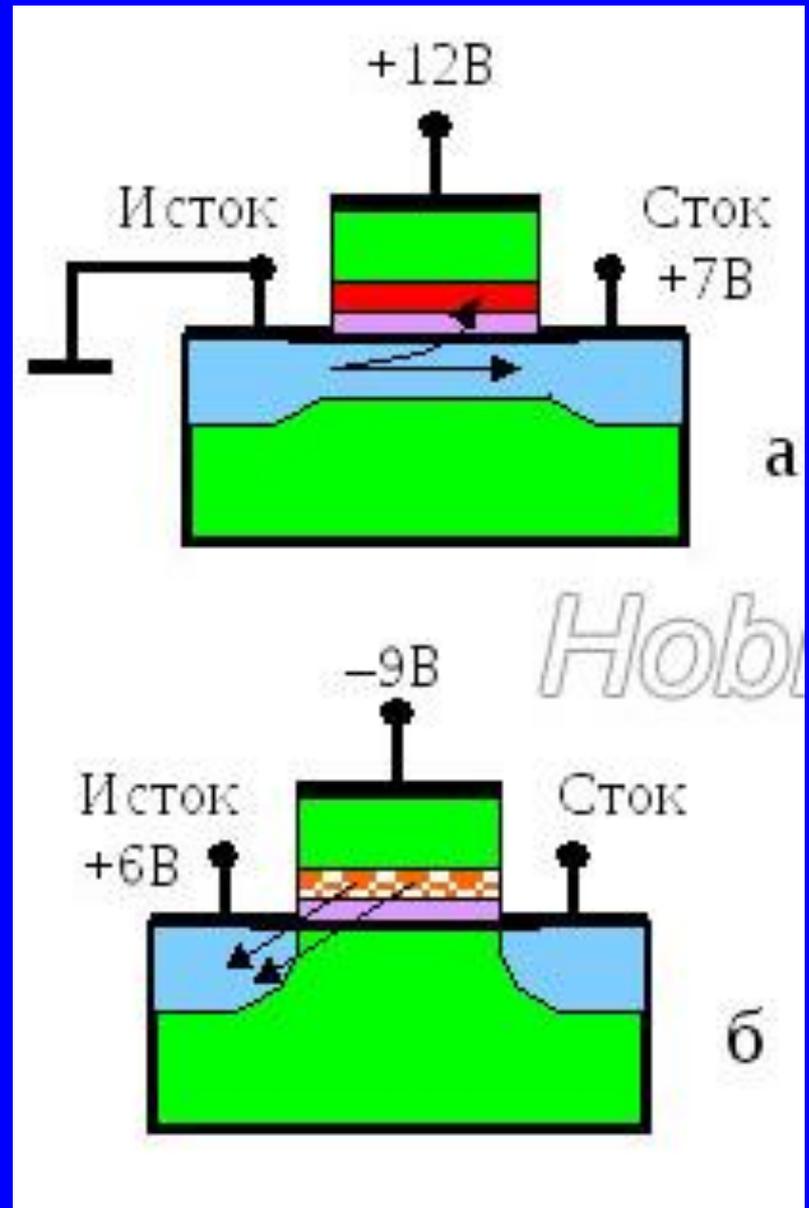
Флеш – память

- *EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)*, стирание УФ
- 1971 – Дов Фроман-Бенчковский (*Intel*) – обнаружение заряда на разрушенных затворах



Флеш – память

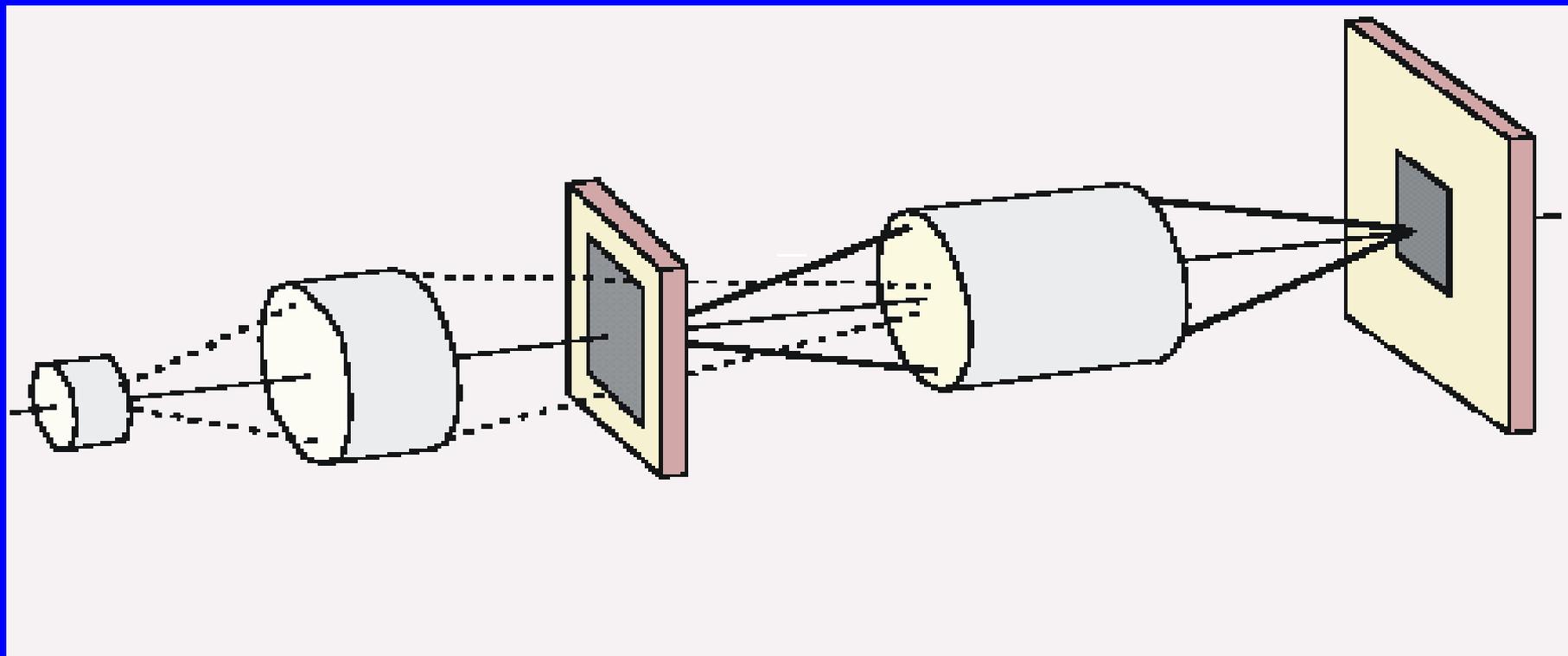
- 1984 Фудзи Масуока (Toshiba)
- 1988 Intel – выпуск флеш-чипов
- Запись (а), стирание (б) информации



Флеш – память

- **SLC** (*single-level cell*) – однобитовые ячейки с двумя уровнями заряда на плавающем затворе (0 – 1) – до 100 000 перезаписей
- **MLC** (*multi-level cell*) – многобитовые ячейки, различают несколько уровней заряда, более высокое время доступа – до 100 000 перезаписей

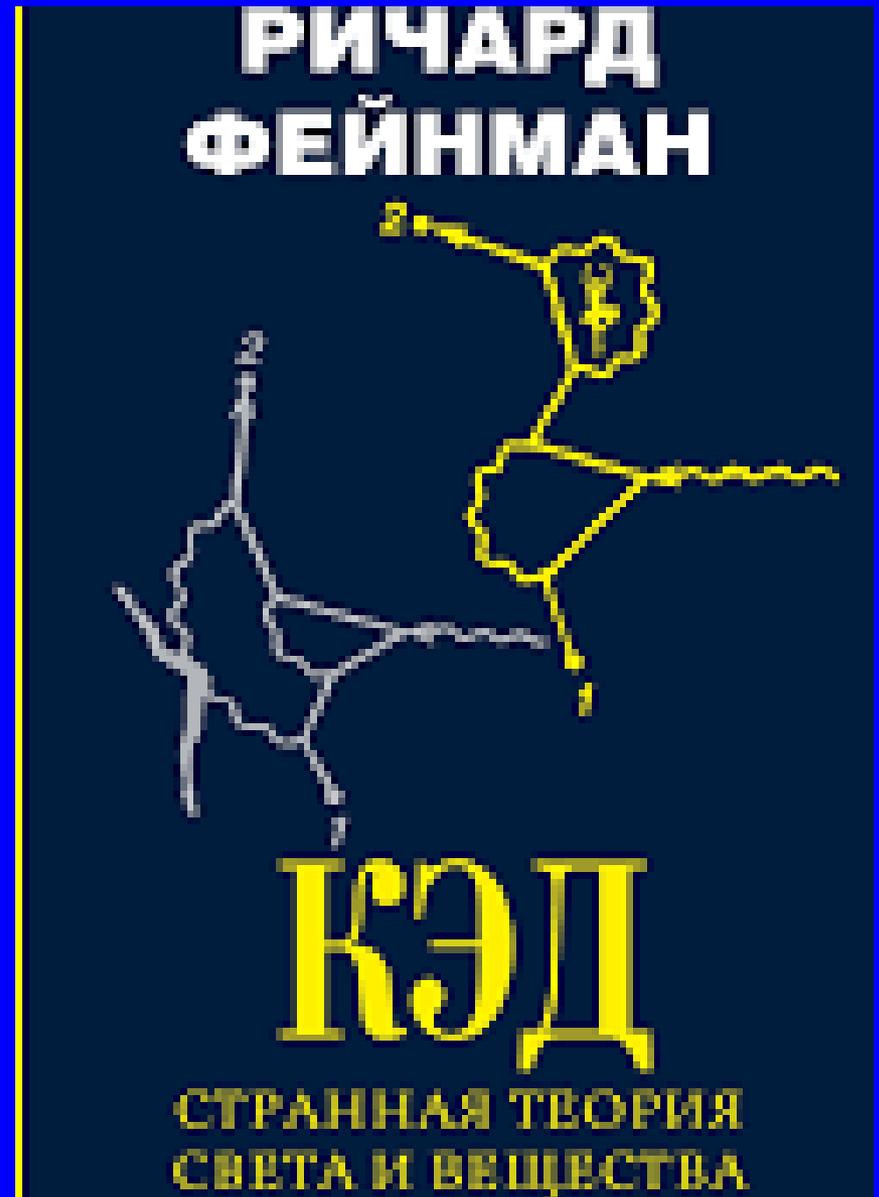
Схема фотолитографической установки



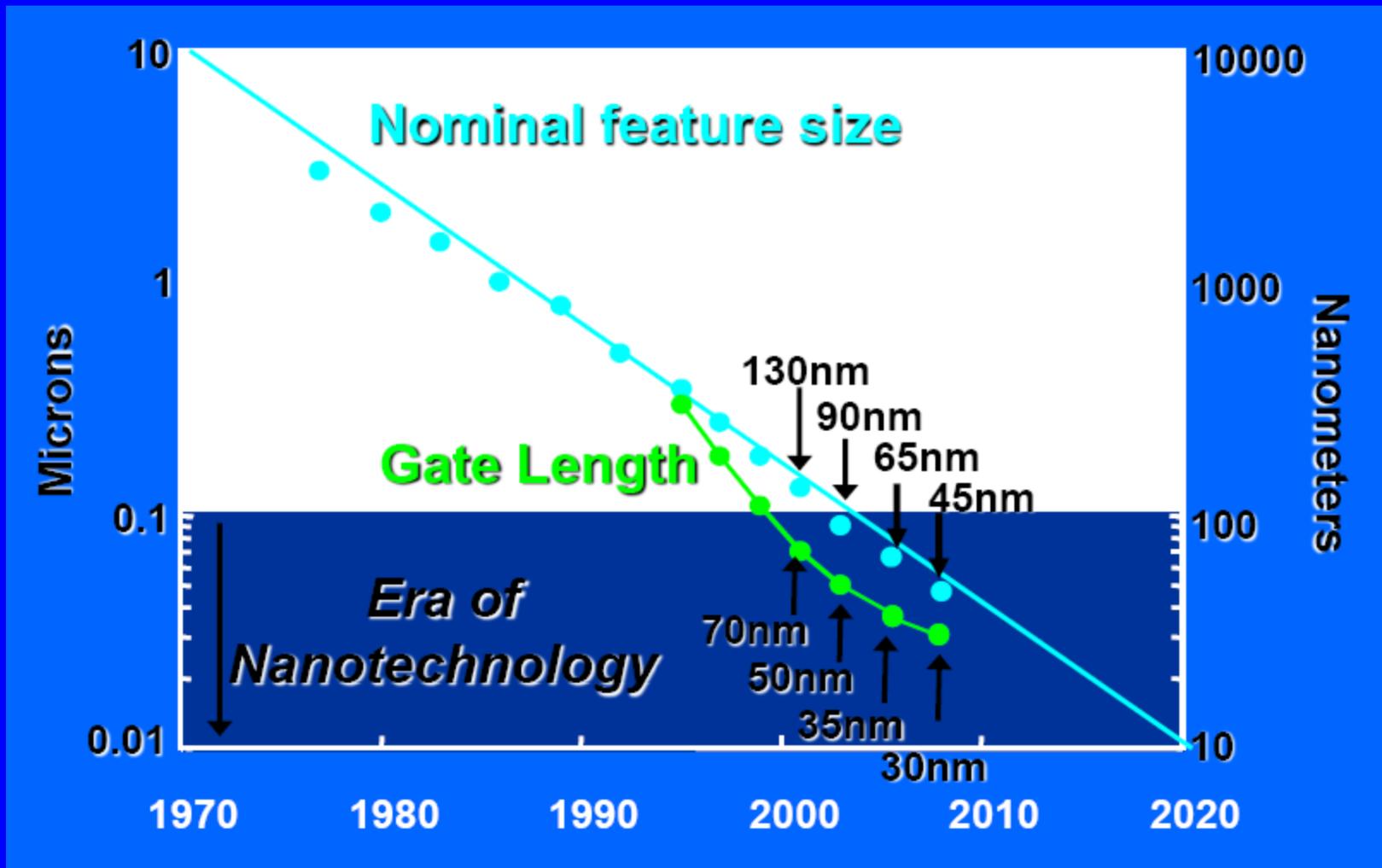
Источник света – маска – фоторезист

Квантовая теория

Ричард Фейнман
КЭД – странная теория
света и вещества



Динамика уменьшения ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ



Source: Intel, 2010

Спасибо за внимание

Рыжиков С.Б.

Рыжикова Ю.В.

**Загадочные и
удивительные
способности зрения**

2018

www.sloletov.org

Вкладка «библиотека»

sbr@physics.msu.ru

