

# ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ И РАДИОМАТЕРИАЛЫ

для подготовки бакалавров по направлениям:

- 210400.62 – Радиотехника,
  - 210700.62 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи.
  - 211000.62 – Конструирование и технология электронных средств,
- для подготовки специалистов по специальности  
210601.65 - Радиоэлектронные системы и комплексы

**Факультет радиотехники и телекоммуникаций**

Курс	2	Семестр	4
------	---	---------	---

**Кафедра микрорадиоэлектроники и технологии радиоаппаратуры (МИТ):**

**Лектор- доцент к.т.н. Ситникова Маргарита Федоровна,**  
sitnimf@gmail.com

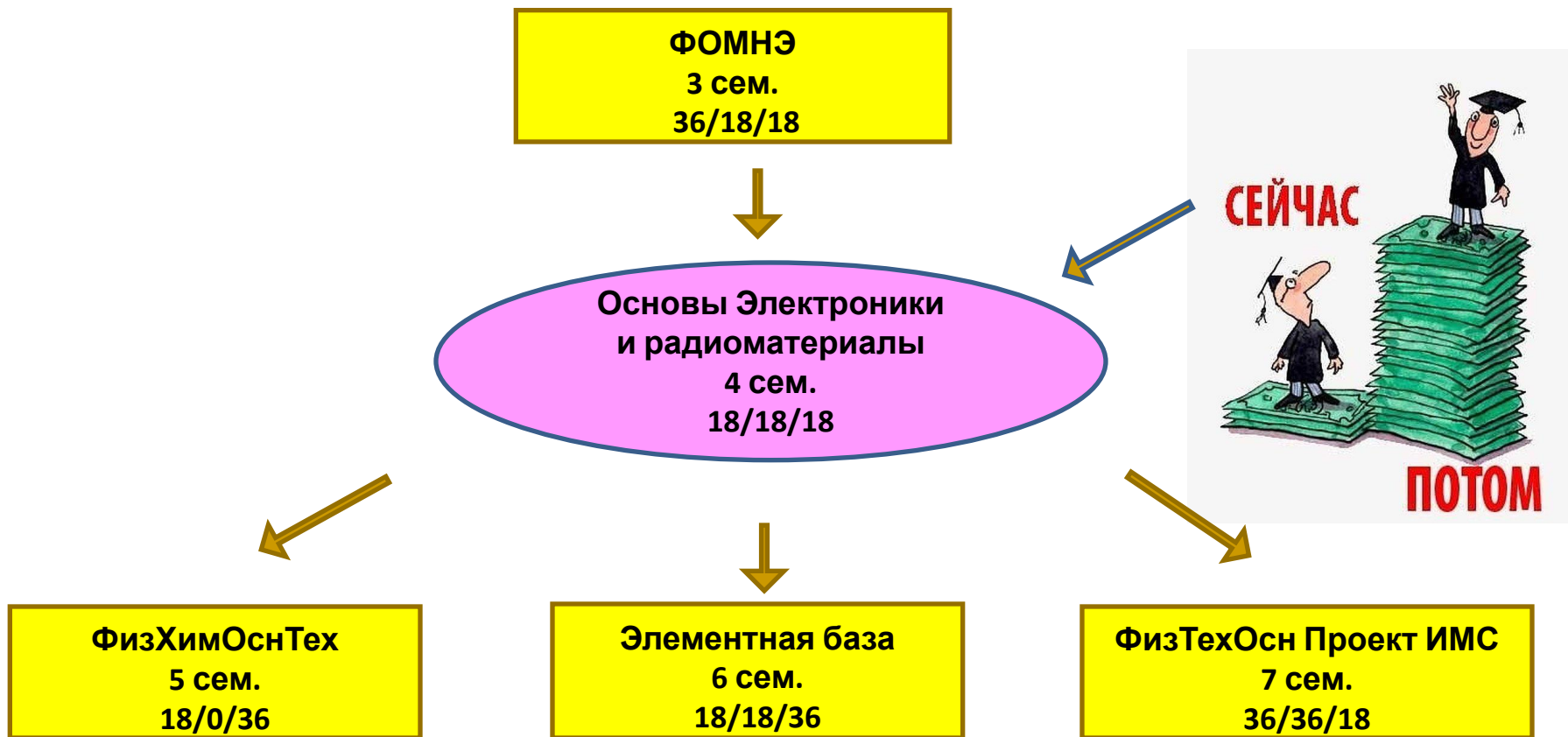
Группа	Преподаватель Практика/лаборатория
5104+5106	Ситникова М.Ф./ Бабичев Д.А
5114	Мунина И.В. / Мунина И.В.
5105	Бабичев Д.А ./Ященко В.
5101	Мунина И.В./Фантиков В.С.
5181	Ситникова М.Ф././ Мунина И.В.
5193	Ященко В./ Мунина И.В.
5191	Ситникова М.Ф././ .Мунина И.В.
5182 5102	Ситникова М.Ф / Замешаева Е.Ю. Бабичев Д.А Мунина И.В.

Лекции	18	ч
Практические занятия	18	ч
Лабораторные занятия	18	ч
Аудиторные занятия	54	ч
Самостоятельная работа	48	ч
Всего часов	<b>102</b>	ч

Самостоятельная работа	48	ч
Индивидуальное домашнее задание, Реферат, доклад		

Экзамен	4 сем.
---------	--------

Предмет и задачи дисциплины,  
ее связь с дисциплинами учебного плана.



# ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ И РАДИОМАТЕРИАЛЫ

## Радиокомпоненты и радиоматериалы

### МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

#### Интегральная

Статическая  
(технологическая)  
неоднородность  
среды

Интеграль  
ные  
микросхем  
ы

#### Функциональная

Динамическая  
неоднородность

акустоэлектр  
оника

оптоэлектрон  
ика

криоэлектрон  
ика

СВЧ  
электроника

магнитоэлект  
роника

### РАДИОМАТЕРИАЛЫ

#### традиционные

проводни  
ки

диэлектр  
ики

полупрово  
дники

сверхпрово  
дники

магнетики

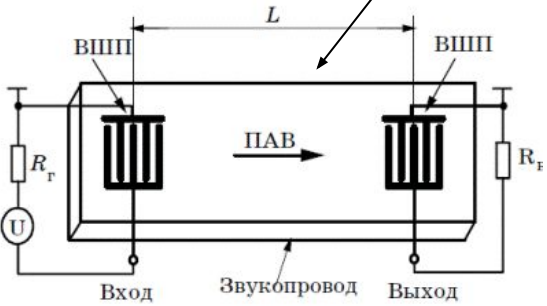
#### нетрадиционные

композит  
ы

метаматер  
иалы

фулерены

графены...



## Список рекомендуемой литературы

### Учебники и учебные пособия

- \*1. Ашкрофт Н., Мермин Н., Физика твердого тела. - М.: Мир, 1979.
2. Блатт Ф., Физика электронной проводимости в твердых телах. - М.: Мир, 1971.
3. Ситникова М.Ф. Конспект Лекций. Презентации . Информрегистр №0321603400.2016
4. Вендик И.Б., Ситникова М.Ф. Физические основы микроэлектроники. – СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 1989.
5. Горбачев В.В., Спицина Л.Г., Физика полупроводников и металлов. - М.: Металлургия, 1981.
6. Киттель Ч., Введение в физику твердого тела. - М.: Наука, 1978.
7. Марголин В.И., Жабрев В.А., Тупик В.А., Физические основы микроэлектроники: - М.: Издательский центр "Академия", 2008.
- \*8. Павлов П.В., Хохлов А.Ф., Физика твердого тела.-М.: Высшая шк.,2000.
- \*9. Шалимова К.В. Физика полупроводников. - М.: Энергия, 1976.
- \*10. Шаскольская М.П. Кристаллография. – М.: Высш. шк., 1976.

### Методическая литература

- 1.. *Замешаева Е.Ю., Ситникова М.Ф. «Физические свойства радиоматериалов», методические указания к практическим занятиям, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013.*
2. *Аничкова Н.С., Замешаева Е.Ю., Мунина И.В., Ситникова М.Ф. «Физические свойства полупроводниковых радиокомпонентов», методические указания к лабораторным занятиям, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014.*
3. *Одит М.А., Ситникова М.Ф. «Компьютерное моделирование физических свойств материалов микроэлектроники», методические указания к лабораторным работам СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007.*

---

# ВВЕДЕНИЕ

## ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ

### ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ

**Примечание: Вся информация введения предлагается для индивидуального выбора темы и написания реферата с последующим докладом**



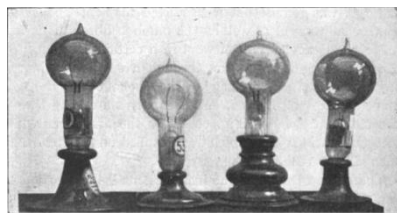
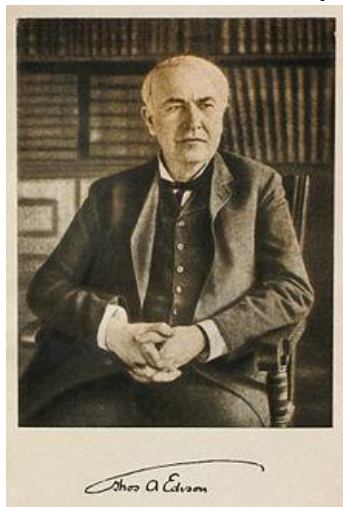
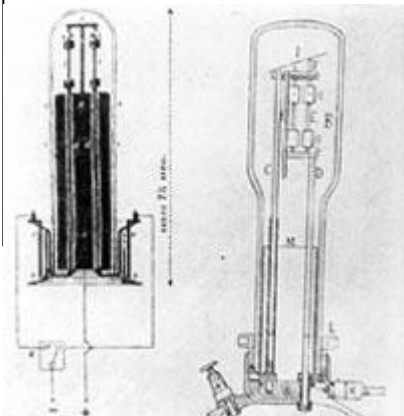
# Основные этапы развития электроники

1- этап  
До 1904 г



А.Лодыгин (1847 —1923)

- 1873 г. А. Лодыгин – лампа накаливания с угольным стержнем
- 1874 г. Ф. Браун –выпрямительный эффект в контакте Ме-ПП
- 1883 г. Т. Эдисон –явление термоэлектронной эмиссии
- 1888 г. Г. Столетов -законы фотоэффекта.
- 1895 г. А. С. Попов – осуществление радиосвязи.

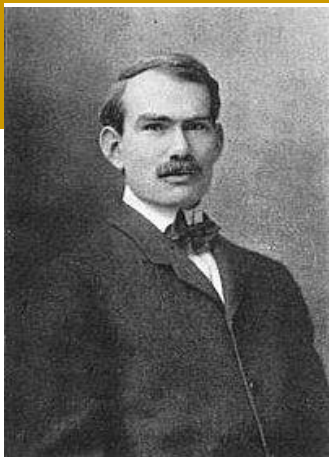


1859-1905



Ф Браун (1850(1850-1918)  
 1897г.- катодо-лучевая трубка  
 1901г.- заменил когерер, создал кристаллический детектор,

В 1909В 1909 г. Браун получает, совместно с итальянцем Гульельмо Маркони, Нобелевскую премию «за выдающийся вклад в создание беспроволочной телеграфии».



Ли де Форест (1873–1961)

2- этап  
До 1948 г

### Период развития вакуумных и газоразрядных электроприборов:

- 1904г. Д. Флеминг –электровакуумный диод (детектор)
- 1907г. Ли де Форест – триод (аудион),
- 1924г. М.А. Бонч-Бруевич –генераторные лампы, А. Халл – тетрод,
- 1930 –пентод, 1929г. Зворыкин- кинескоп



Джон Флеминг  
(1849–1945)



аудион



Альберт Уоллес Халл  
(1880 —1966)

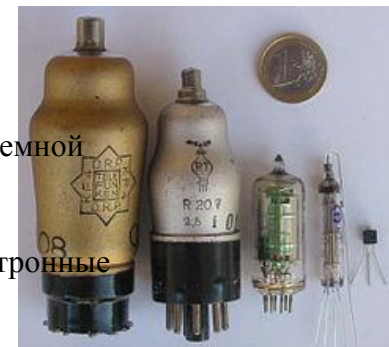
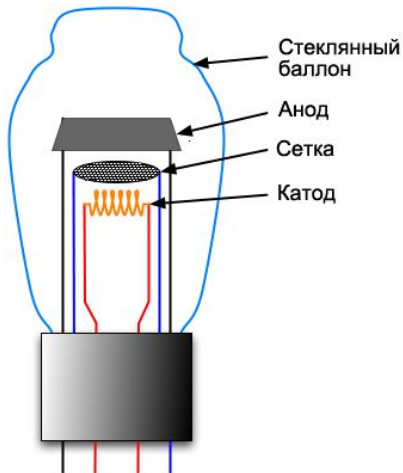
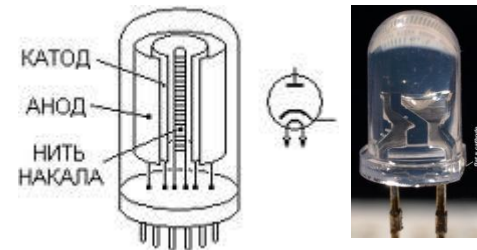
Халл установил природу шумов в триодах (1923 г).  
 Один из способов устранения дробового шума Один из способов устранения дробового шума - переход от триода к экранированной лампе

(тетроду Один из способов устранения дробового шума - переход от триода к экранированной лампе (тетроду)



Михаил А. Бонч-Бруевич  
(1888—1940)

В 1914 г. поступил на работу помощником начальника Тверской приемной радиостанции, где организовал лабораторию и изготовил первые отечественные лампы и первые лампы приемники.





3- этап  
1948 -1960

## Период создания и внедрения дискретных полупроводниковых приборов



К. Шокли, Дж. Бардин, У. Браттейн (1963)

Первые патенты на принцип работы полевых транзисторов были зарегистрированы в Германии в Германии в 1928 году

первый МОП-транзистор, был изготовлен *позже* биполярного транзистора, в 1960 г.



Бардин Бардин, Шокли Бардин, Шокли и Браттейн

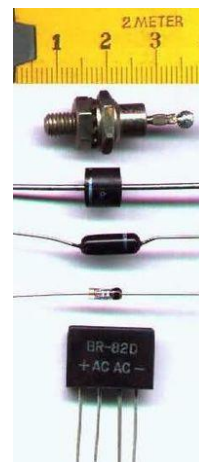
в лаборатории Bell, 1948

В 1956 г. за изобретение биполярного транзистора

Уильям Шокли Уильям Шокли, Джон Бардин Уильям Шокли, Джон Бардин и Уолтер Браттейн

получили Нобелевскую премию по физике.

В 1947 г. в лабораториях Bell Labs впервые был создан действующий биполярный транзистор







**4- этап  
с 1960**

## Период развития микроэлектроники

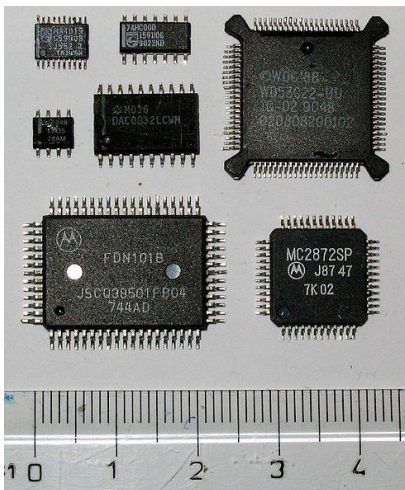


Джек Сент-Клэр Килби (1923 – 2005)  
— американский учёный.  
Лауреат Нобелевской премии по физике 2000 года  
за изобретение интегральной схемы в 1958 году  
в период работы в Texas Instruments

малая интегральная схема (МИС) — до 100 элементов в кристалле,  
средняя интегральная схема (СИС) — до 1000 элементов в кристалле,  
большая интегральная схема (БИС) — до 10 тыс. элементов в кристалле,  
сверхбольшая интегральная схема (СБИС) —  
более 10 тыс. элементов в кристалле.



**Роберт Нортон Нойс** ( 1927 ( 1927 — 1990 )  
американский инженер американский инженер, один из изобретателей интегральной схемы  
и планарной технологии ( 1959 ),  
Основатель корпорации Intel ( 1968 ).

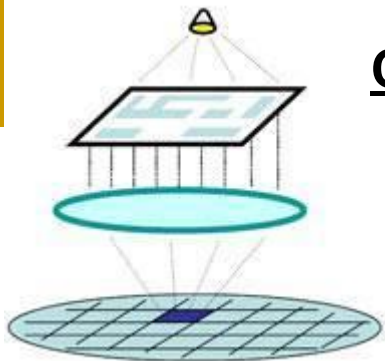


Первая в СССР полупроводниковая интегральная микросхема  
была создана на основе планарной технологии,  
разработанной в начале 1960 года в НИИ-35 (НИИ «Пульсар»)



Гибридная микросборка STK403-090,  
извлечённая из корпуса

Современные интегральные микросхемы,  
предназначенные для поверхностного монтажа



## Современное состояние развития микроэлектроники

В **1970-х годах** минимальный контролируемый размер составлял **2-8 мкм**, в **1980-х** он был уменьшен до **0,5-2 мкм**. Некоторые экспериментальные образцы фотолитографического оборудования *рентгеновского* диапазона обеспечивали минимальный размер **0,18 мкм**.

В **1990-х годах**, из-за нового витка «войны платформ», стали внедряться в производство и быстро совершенствоваться экспериментальные методы: в начале 1990-х процессоры (например, ранние **Pentium** в начале 1990-х процессоры (например, ранние Pentium и **Pentium Pro**) изготавливали по технологии **0,5-0,6 мкм (500—600 нм)**, потом технология дошла до **250—350 нм**.

Следующие процессоры (**Pentium II** Следующие процессоры (Pentium II, **K6-2** Следующие процессоры (Pentium II, K6-2+, **Athlon**) уже делали по технологии **180 нм**.

В **конце 1990-х** фирма **Texas Instruments** создала *ультрафиолетовую* технологию с минимальным контролируемым размером около **80 нм**.

Следующие процессоры делали по УФ-технологии **45 нм** (сперва это был **Core 2 Duo**). Другие микросхемы достигли и превосходили этот уровень (в частности, **видеопроцессоры** (в частности, видеопроцессоры и **флеш-память** (в частности, видеопроцессоры и флеш-память фирмы **Samsung** — **40 нм**).

В **2010** году в розничной продаже появились процессоры, разработанные по **32-нм** тех. процессу.

В **апреле 2012** года в продажу поступили процессоры, разработанные по **22-нм** тех. процессу (ими стали процессоры фирмы Intel,

Процессоры с технологией **14 нм** планируется к внедрению в **2014** году, а **10 нм** — около **2018** года.  
**EUV-литография** (сверхкороткий УФ)



рисунок проектной нормы 45 нм



**Закон Мура** — эмпирическое — эмпирическое наблюдение, изначально сделанное Гордоном Муром — эмпирическое наблюдение, изначально сделанное Гордоном Муром, согласно которому (в современной формулировке) количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждые 24 месяца.



### **Гордон Эрл МУР**

**Gordon Earle Moore, р. 1929**

Американский компьютерный инженер и бизнесмен.

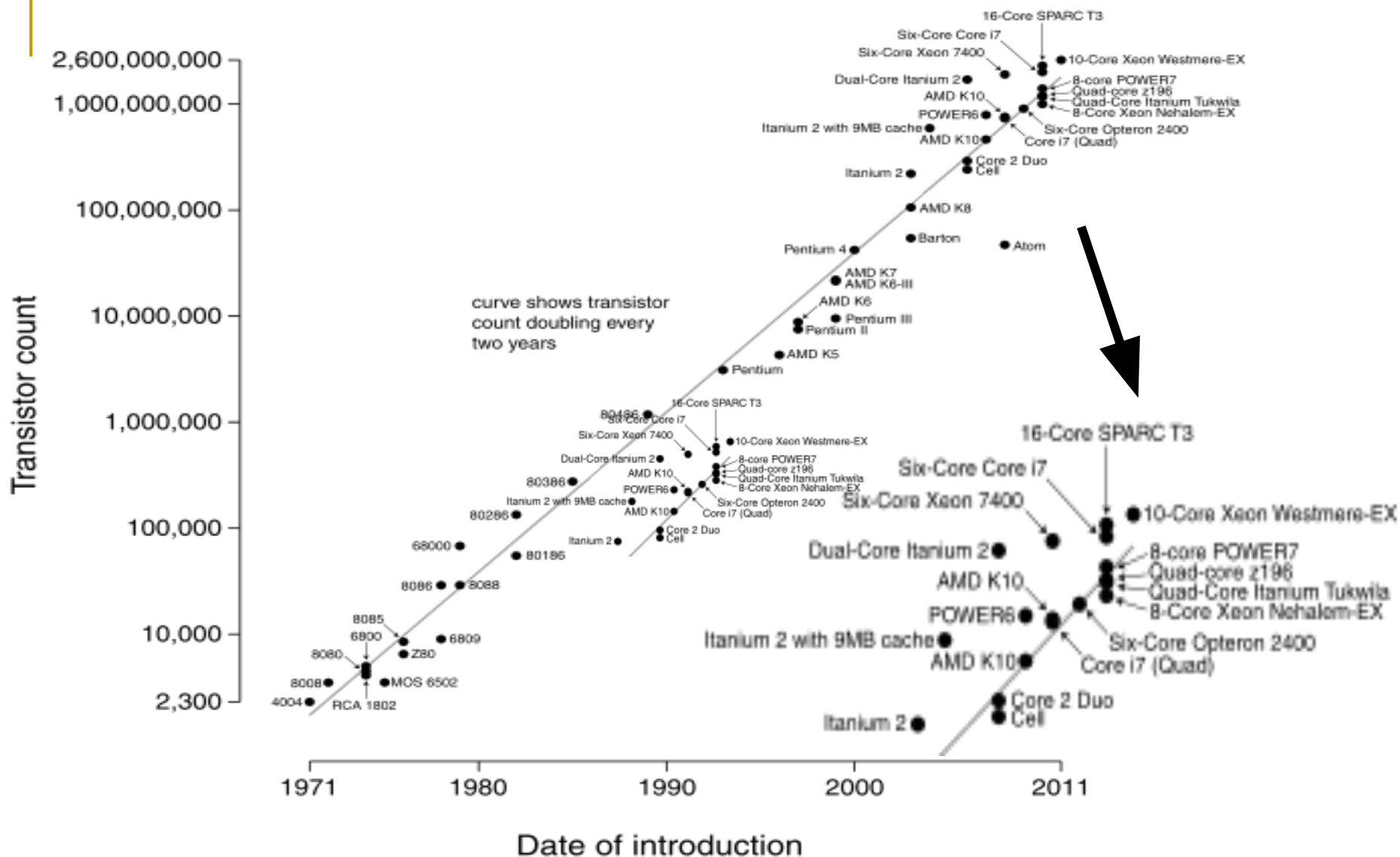
Родился в Сан-Франциско, получил докторскую степень в области химической физики в Калифорнийском технологическом институте.

Некоторое время работал под руководством Вильяма Шокли (William Shockley, 1910–89), одного из изобретателей транзистора, и занимался изучением полупроводников. Но в характере Шокли начала проявляться эксцентричность, поведение его стало непредсказуемым,

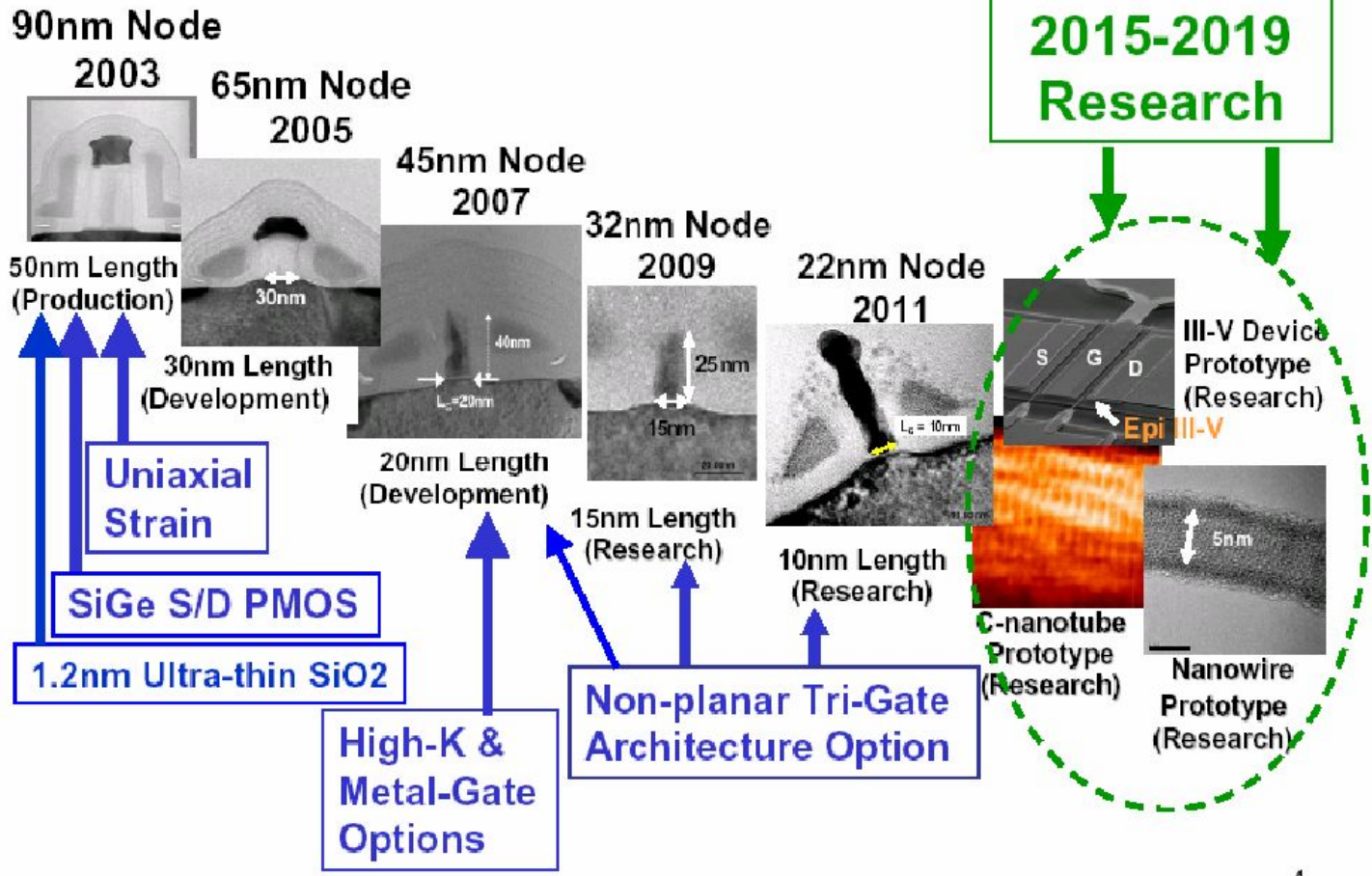
и Мур и несколько его коллег уволились. С одним из них, Робертом Нойсом (Robert Noyce, 1927–90), в 1968 году Мур основал корпорацию Intel (где до сих пор занимает должность почетного председателя совета директоров) и приступил к разработке и производству сложных интегральных схем — «чипов», — лежащих в основе современных персональных компьютеров. «Закон» Мура впервые был изложен в 1965 году в журнале *«Электроника»* в комментарии ученого к статье о том, как технология интегральных схем должна привести к снижению стоимости компьютеров.

В 1960-е годы ни один человек в Силиконовой долине не мог даже предположить, что современные технологии производства позволят размещать миллионы элементов в кремниевом кристалле (чипе) размером с почтовую марку. Но когда в соответствии с законом Мура должна была возникнуть такая степень интеграции, она возникла. Правда, закон Мура, похоже, стал действовать быстрее — за последние несколько лет период удвоения производительности сократился с двух лет до полутора

# Microprocessor Transistor Counts 1971-2011 & Moore's Law



«Второй закон Мура», введённый в 1998 году «Второй закон Мура», введённый в 1998 году Юджином Мейераном «Второй закон Мура», введённый в 1998 году Юджином Мейераном: стоимость производства микросхем экспоненциально возрастает с усложнением производимых микросхем. Стоимость фабрики корпорации Intel по производству микросхемы динамической памяти ёмкостью 1 Кбит, составляла \$4 млн., а оборудование по производству микропроцессора Pentium по 0,6-микрометровой технологии с 5,5 млн. транзисторов обошлось в \$2 млрд..

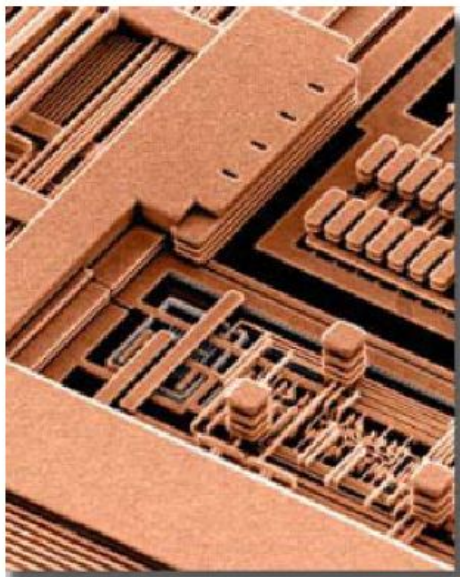


Robert Chau, Intel, ICSICT 2004

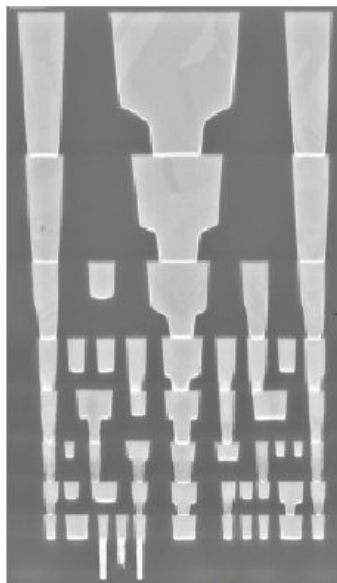
4

K. K. Likharev, IEEE NANO  
Portland, OR, August 2011

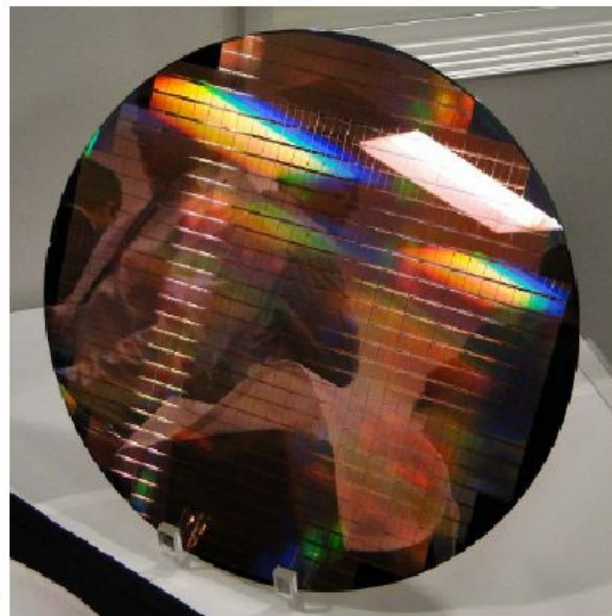
22



IBM, 1998



Figures: Intel



300 mm wafer from 25 nm fab

IMEC R&D facility in Leuven, Belgium



K. K. Likharev, IEEE NANO

Примечание: Эта информация предлагается для индивидуального  
**Классификация микросхем** выбора темы и написания реферата

**Полупроводниковая микросхема** — все элементы и межэлементные соединения выполнены на одном полупроводниковом— все элементы и межэлементные соединения выполнены на одном полупроводниковом кристалле (например, кремния— все элементы и межэлементные соединения выполнены на одном полупроводниковом кристалле (например, кремния, германия— все элементы и межэлементные соединения выполнены на одном полупроводниковом кристалле (например, кремния, германия, арсенида галлия)

**Плёночная интегральная микросхема** — все элементы и межэлементные соединения выполнены в виде плёнок:

толстоплёночная интегральная схема;

тонкоплёночная интегральная схема.

**Гибридная микросхема** (также микросборка) — кроме полупроводникового кристалла содержит несколько бескорпусных диодов, транзисторов и(или) других электронных компонентов, помещённых в

**Микросхемы на униполярных (полевых) транзисторах :**

МОП-логика (металл-оксид-полупроводник логика) — микросхемы формируются из полевых транзисторов n-МОП или p-МОП типа;

КМОП-логика (комплементарная МОП-логика) — каждый логический элемент микросхемы состоит из пары взаимодополняющих (комплементарных) полевых транзисторов (n-МОП и p-МОП).

Существует также смешанная технология BiCMOS.

**Микросхемы на биполярных транзисторах:**

РТЛ — резисторно-транзисторная логика (устаревшая, заменена на ТТЛ);

ДТЛ — диодно-транзисторная логика (устаревшая, заменена на ТТЛ);

ТТЛ — транзисторно-транзисторная логика — микросхемы сделаны из биполярных транзисторов с многоэмиттерными транзисторами на входе;

ТТЛШТТЛШ — транзисторно-транзисторная логика с диодами Шоттки— интегрально-инжекционная логика.