



**НИИМЭ**

АО «Научно-исследовательский  
институт молекулярной  
электроники»

**Геннадий Яковлевич Красников**  
Академик РАН  
Генеральный директор АО «НИИМЭ»


**Новосибирск**  
**15.06.2017г.**

**1964** Организован Научно-исследовательский институт молекулярной электроники (НИИМЭ) (Приказ Государственного комитета по электронной технике СССР №50 от 9 марта 1964 г.)

**1965** 25 января директором предприятия назначен академик К.А. Валиев (профессор (1967), академик АН СССР (1984), академик РАН (1991))

**1966** Выпущенная «НИИМЭ» ИС на 2-х биполярных транзисторах стала первой зарегистрированной в реестре СССР микросхемой.

**1967** При НИИМЭ организован опытный завод «Микрон» (Приказ Министра электронной промышленности СССР №35 от 1 февраля 1967)

**1983**  Указом Президиума Верховного Совета СССР от 12.04.1983 г. НИИМЭ награжден орденом Трудового Красного Знамени

- ✓ Из стен НИИМЭ вышло: 4 Академика РАН, 3 члена-корреспондента РАН;
- ✓ Получено более 2 000 авторских свидетельств и патентов на изобретения и полезные модели, сформировавшие основы отечественной твердотельной микроэлектроники;
- ✓ Более 50 предприятий отрасли освоили в своем производстве микросхемы промышленного и специального назначения разработанные НИИМЭ.



# Структура группы компаний НИИМЭ



АО «НИИМЭ» - ведущий научно-исследовательский центр «Группы НИИМЭ».

Предприятия «Группы НИИМЭ» образуют единый крупнейший в России комплекс по проведению научно-технологических исследований в области микро- и нанoeлектроники, разработке и производству полупроводниковых изделий.



**Ежегодно объем выполняемых НИОКР составляет 3 млрд. руб.**

**АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники» - организация, ответственная за реализацию технологического направления по электронным технологиям (Распоряжением Правительства РФ от 20.09.2016г. №1984-р)**

**Президент России В.В. Путин в 2006г. и в 2009г. посещал НИИМЭ с рабочим визитом. Ежегодно под руководством В.В. Путина проходит совещание посвященное проблемам развития отечественной микроэлектроники.**



**Красников Геннадий Яковлевич – генеральный директор НИИМЭ с 1991г., руководитель приоритетного технологического направления по электронным технологиям в соответствии с указом Президента РФ №347 от 20 июля 2016г., руководитель межведомственного совета главных конструкторов по ЭКБ, академик РАН.**

**Электронные технологии включают в себя следующие направления:**

- Микроэлектроника;
- Нанoeлектроника;
- Силовая электроника;
- Радиационно-стойкая электроника;
- Микросистемная техника;
- ЭКБ на новых принципах.

**НИИМЭ – ведущая организация в РФ по разработке современных технологий производства интегральных схем.**

## Физические и технологические основы полупроводниковых структур для перспективной ЭКБ нового поколения

- Субнанометровые транзисторы;
- Элементы энерго-независимой памяти;
- Структуры «кремний на изоляторе» для рад. стойких СБИС;
- Элементы радиофотоники;
- методы гетероинтеграции элементов АЗВ5 с кремнием;
- Физические и технологические основы многофункциональных 3D систем;

## Исследование и создание новых технологических процессов и материалов

- Субмикронная литография;
- Многолучевая электронная литография;
- Атомно-слоевое осаждение (ALD);
- Технология low-k диэлектриков для многослойной металлизации;
- Ионная имплантация;
- Сверхчистые материалы для технологий СБИС;

## Исследование схмотехнических решений и проектирование микросхем

- СБИС памяти: СОЗУ, ПЗУ, EEPROM, FLASH;
- БМК и ПЛИС;
- АЦП и ЦАП;
- СБИС интерфейсов;
- RFID;
- Микроконтроллеры смарт-карт;
- СБИС управления интеллектуальными боеприпасами;
- ИС драйверов питания и светодиодов;

## Исследование криптографических алгоритмов и разработка встроенного ПО

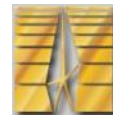
- Операционные системы для смарт-карт;
- Криптографические модули;
- Идентификационные, платежные, транспортные приложения;
- Средства отладки для пользователей;

## Исследования, измерения, испытания СБИС

- Экстракция SPICE-параметров;
- Оценка и прогнозирование радиационной стойкости;
- Исследование надежности СБИС энергонезависимой памяти;

НИИМЭ на постоянной основе ведет работы со следующими организациями:

- Академические институты – **11 институтов**;
- Отраслевые институты и технологические компании – **более 30 организаций**;
- Дизайн-центры в области микроэлектроники – **более 25 компаний**;
- Сотрудничество с ВУЗами (базовая кафедры МИЭТ, МФТИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана)
- Зарубежные научные центры, технические университеты и центры проектирования: IMEC (Бельгия), CEA-Leti (Франция), Technische Universiteit Delft (Голландия), Ecole Speciale de Lausanne (Швейцария), Aselta (Франция), Leland Stanford Junior University (США), Mapper Lithography (Голландия) и др.



**На базе НИИМЭ создана ведущая в России научная школа в области микроэлектроники.**

# Консорциум «Перспективные материалы и элементная база информационных и вычислительных систем»



В 2016 году на базе завода АО «НИИ молекулярной электроники» и институтов РАН создан консорциум для решения актуальных задач современной и перспективной микроэлектроники.



## Задачи консорциума:

- Формирование единого научно–практического подхода создания перспективной элементной базы информационных и вычислительных систем.
- Совершенствование имеющихся и разработка новых технологических процессов для создания перспективного поколения информационных и вычислительных систем, в том числе на новых принципах и применении новых материалов.
- Объединение ориентированных научных исследований в области нано- и микроэлектроники, СВЧ полупроводниковой электроники, микро- и наносистемной техники, опто- и акустоэлектроники, фотоники и материаловедения.
- Участие в образовательной, сертификационной и лицензионной деятельности в целях борьбы с дефицитом высокопрофессиональных кадров.

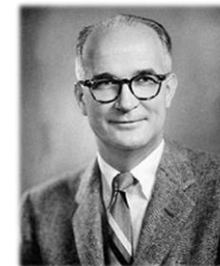


**Начало развитию микроэлектроники было положено в 1947г., когда сотрудники «Лаборатории Белла» Уильям Шокли, Джон Бардин и Уолтер Браттейн создали биполярный транзистор. В 1956 году они были награждены Нобелевской премией по физике «за исследования полупроводников и открытие транзисторного эффекта».**

**Первые патенты на принцип работы полевых транзисторов были зарегистрированы в Германии в 1928г. на имя Юлий Эдгар Лилиенфелд.**

**В 1934г. немецкий физик Оскар Хейл запатентовал полевой транзистор. Полевые транзисторы основаны на простом электростатическом эффекте поля, по физике они существенно проще биполярных транзисторов, и поэтому они придуманы и запатентованы задолго до биполярных.**

**В 1958 году двое учёных, работавших в разных компаниях, изобрели практически идентичную модель интегральной схемы. Один из них, Джек Килби, работал на Texas Instruments, другой, Роберт Нойс, был одним из основателей небольшой компании по производству полупроводников Fairchild Semiconductor.**



*Уильям Шокли*



*Джон Бардин*



*Юлий Эдгар Лилиенфелд*



*Оскар Хейл*



*Джек Килби*



*Роберт Нойс*



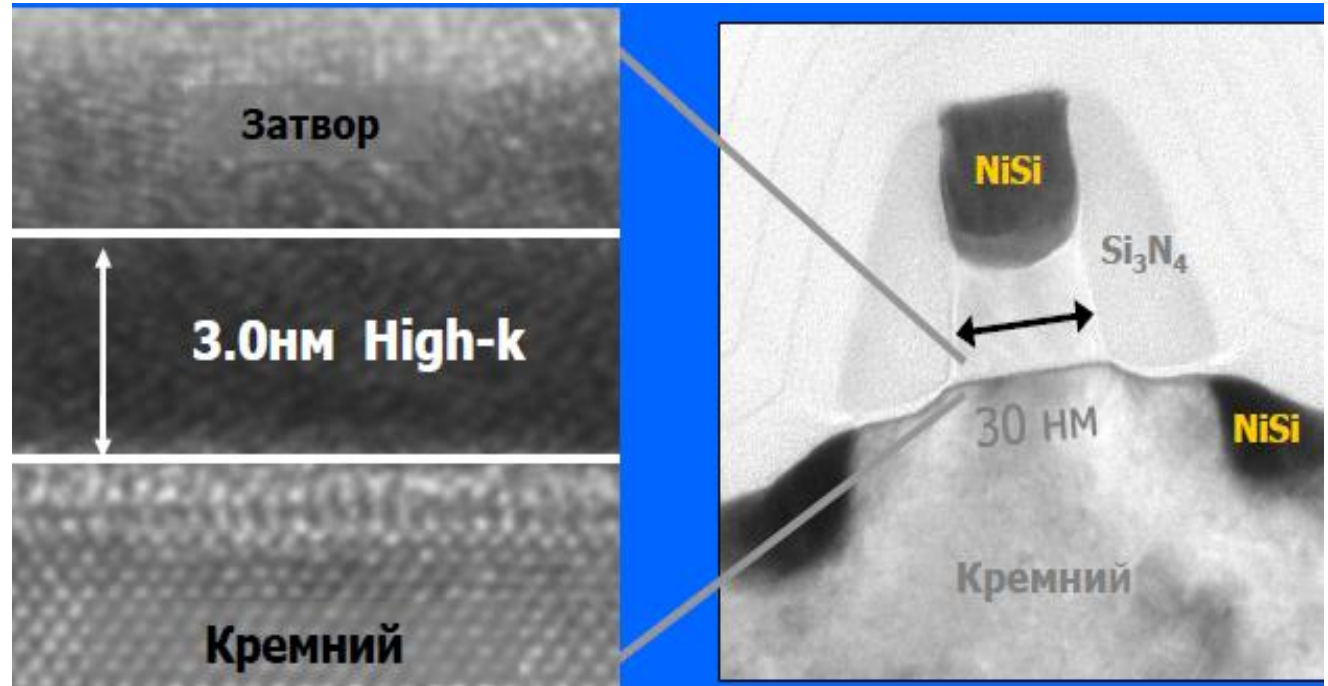
*Уолтер Браттейн*





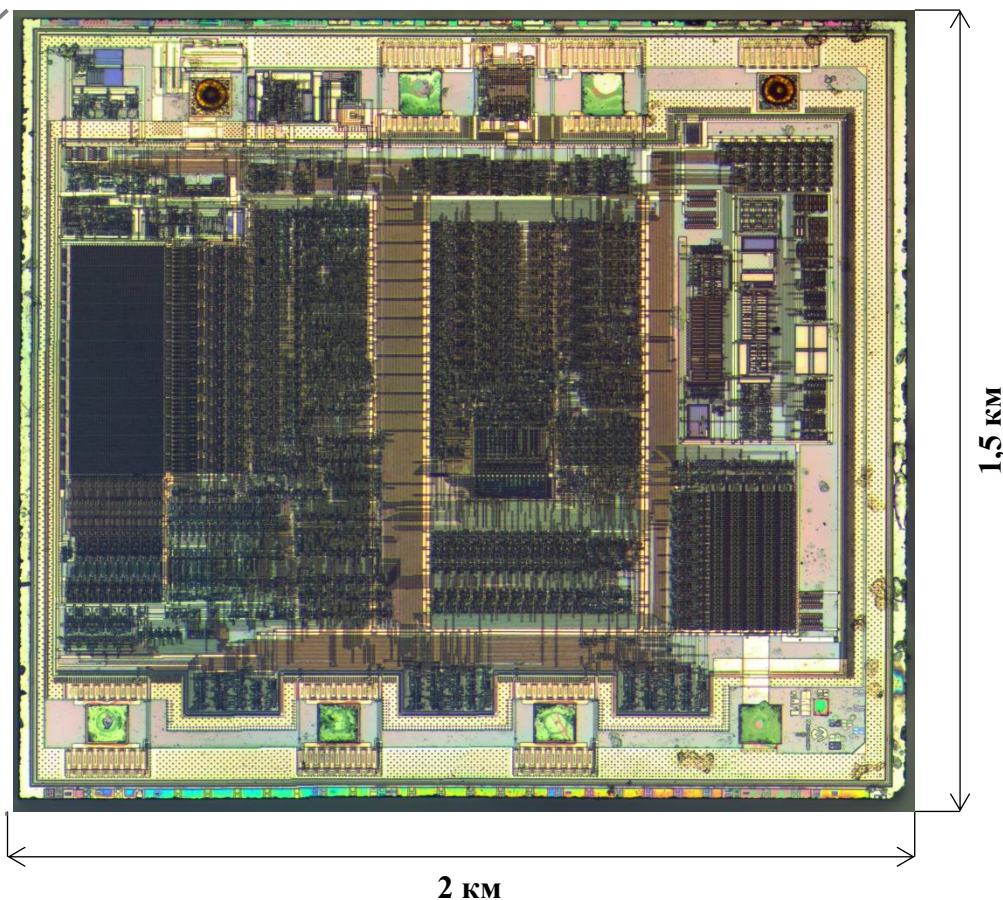
# Структура современного транзистора

Аморфный кремний	50 нм
TiN Al TiN	35 нм
HfON	1,7 нм
SiON	1,4 нм

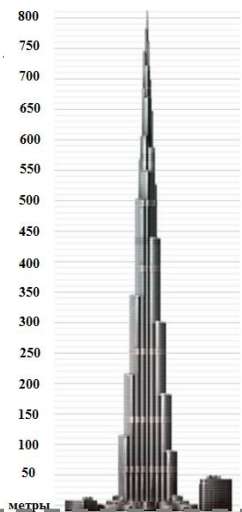


## Сравнение размеров микросхем с одинаковым количеством транзисторов:

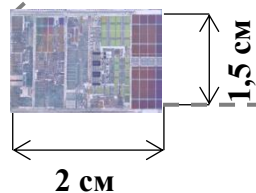
**Микросхема по технологии 1 мм**



«Бурдж-Халифа» —  
небоскрёб высотой **828**  
метров в Дубае, самое высокое  
сооружение в мире.



**Микросхема по  
технологии  
16 нм**



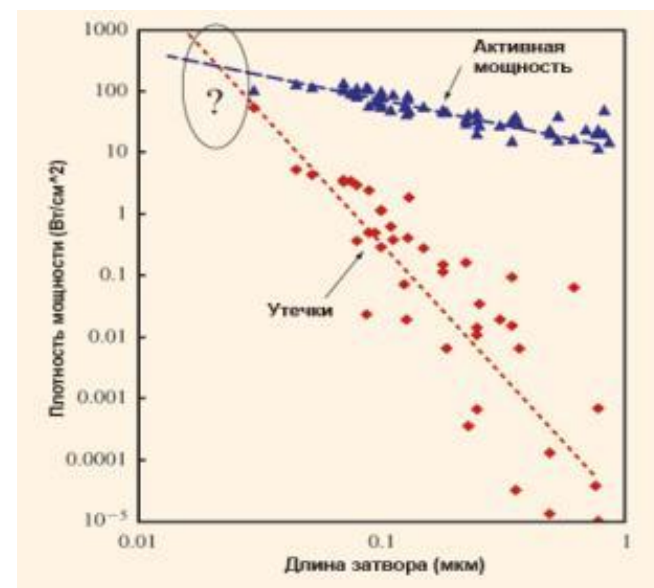
1. Проблемы(уменьшение разброса) технологических операций (Photo, Plasma Etch, Impl, CMP, Wet, CVD, PECVD, LPCVD, PVD, LAD, RTP, Cu plating, Metro, Test).
2. Уменьшение задержки в RC-цепочках межсоединений . Их влияние на задержку сильно возрастает, т.к. задержка в транзисторе уменьшается, а в межсоединениях возрастает, необходима оптимизация.

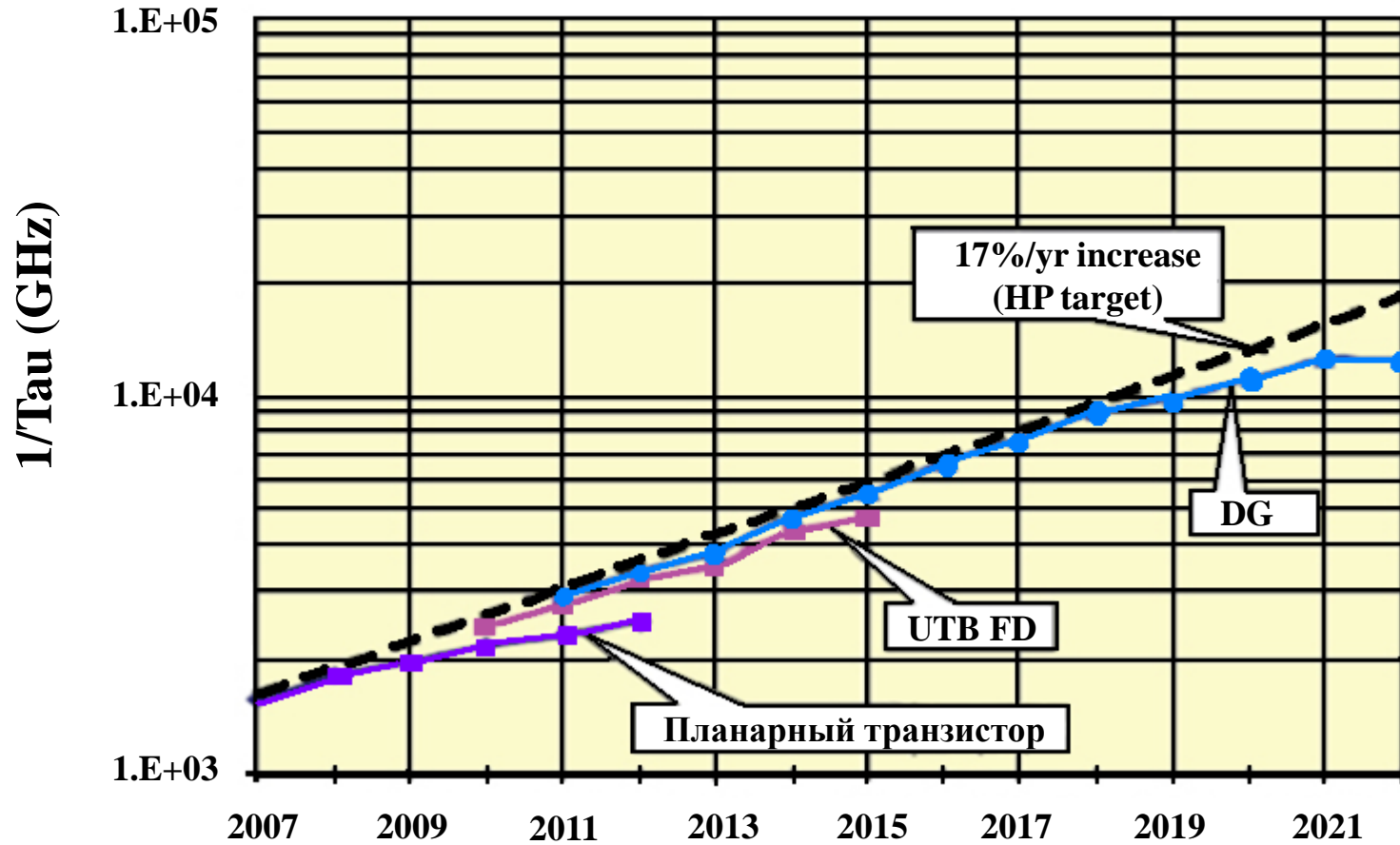


$$RC \sim \rho_{\text{met}} K_{\text{ox}} L^2 / t_{\text{ox}} t_{\text{met}}$$

Уменьшение уд. сопротивления металлической разводки и использование Low-K диэлектриков.

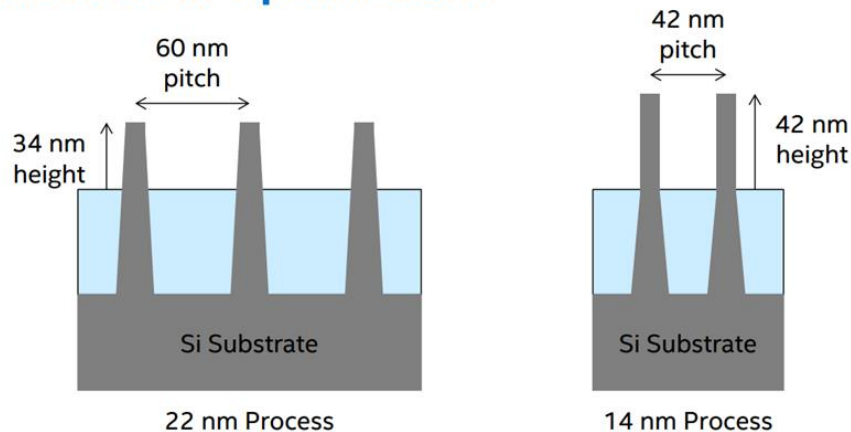
3. Снижение уровня утечек в активном и пассивном режимах . Возрастает плотность статической потребляемой мощности из – за токов утечек и становится сравнимой с динамической мощностью.
4. Обеспечение приемлемого значения сигнал/шум.
5. Обеспечение контроля электромиграции медных проводников с помощью барьерных слоёв, блокирующих диффузию.







## Transistor Fin Optimization



*Reduced number of fins for improved density and lower capacitance*

*Table ORTC1 Summary 2013 ORTC Technology Trend Targets  
(click this link for the detailed table)*

Year of Production	2013	2015	2017	2019	2021	2023	2025	2028
Logic Industry "Node Name" Label	"16/14"	"10"	"7"	"5"	"3.5"	"2.5"	"1.8"	"1.5"
Logic 1/2 Pitch (nm)	40	32	25	20	16	13	10	7
Flash 1/2 Pitch [2D] (nm)	18	15	13	11	9	8	8	8
DRAM 1/2 Pitch (nm)	28	24	20	17	14	12	10	7.7
FinFET Fin Half-pitch (new) (nm)	30	24	19	15	12	9.5	7.5	5.3
FinFET Fin Width (new) (nm)	7.6	7.2	6.8	6.4	6.1	5.7	5.4	5.0

## Гомогенный ПТ

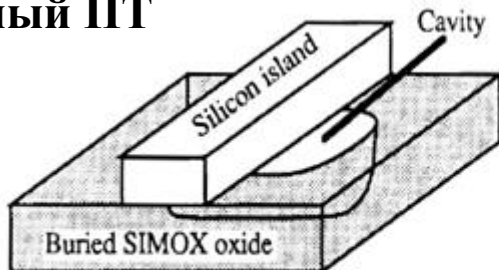


Figure 3: Cavity etch underneath the silicon island.

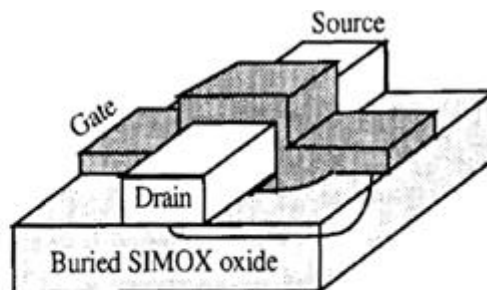


Figure 4: Completed "gate-All-Around" device.

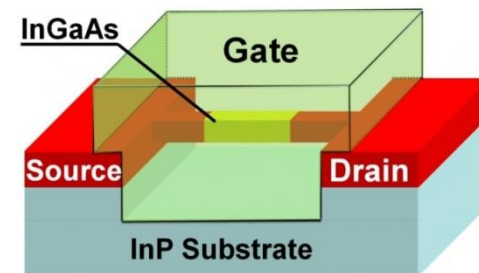
HNW транзисторы на подложках с изолирующим слоем на поверхности, например на КНИ (SOI)

*J.P. Colinge et al., Silicon-on-insulator Gate-all-around device, IMEC, Kapeldreef 75,3030 Leuven, Belgium*

- Простота формирования
- Крутизна таких устройств более чем в два раза превышает крутизну обычных SOI (допороговая крутизна характеристики 60 мВ/декада при комнатной температуре)
- Возможно выполнение таких устройств в гетероинтегрированной технологии.

- Проигрывает в плотности упаковки VNW
- Ограничен литографией при нанесении затвора

## Полевой гетеротранзистор



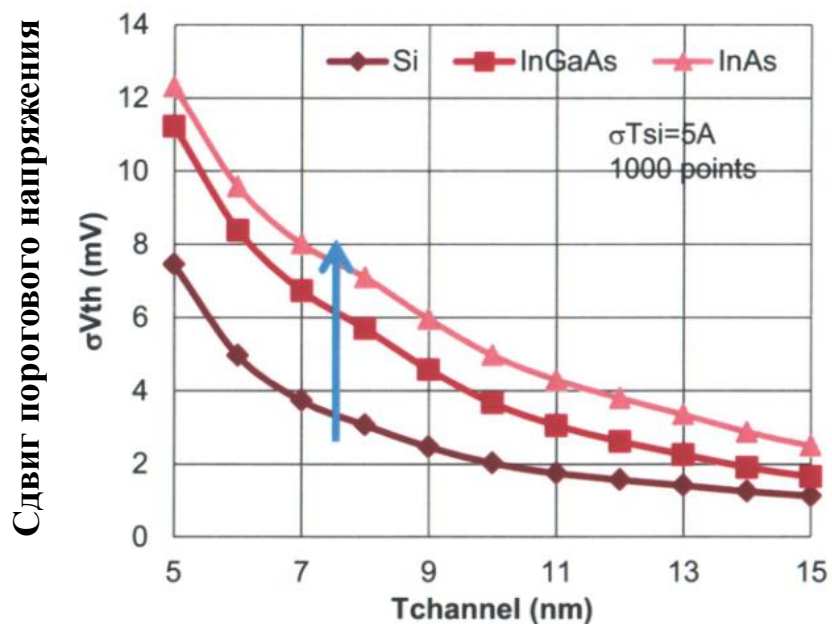
*A diagram of a three-dimensional indium-gallium-arsenide transistor, Peter Ye, Purdue University*



# Фактор квантовой коррекции двойного затвора:

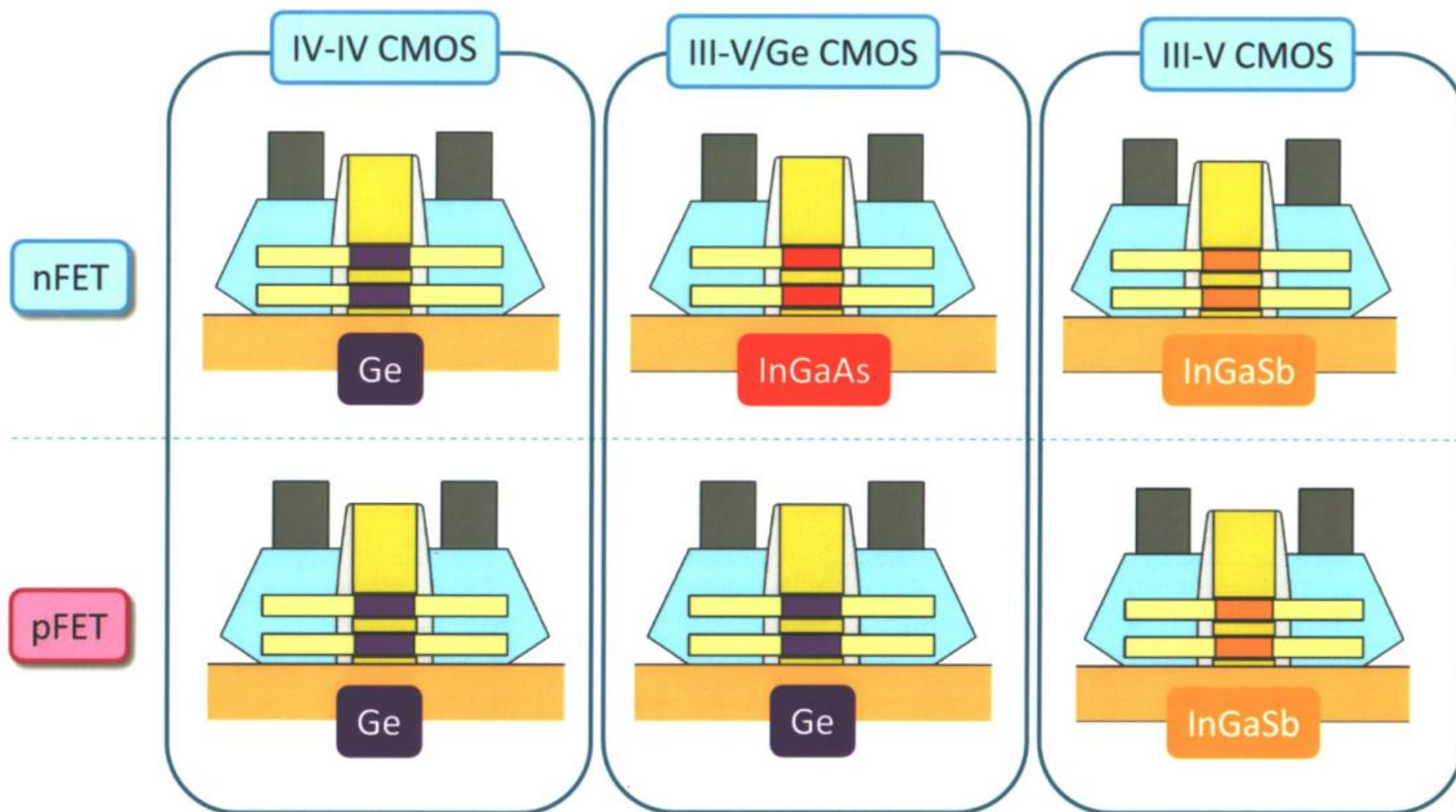
$$n_q(x) = n_0 \exp\left(\frac{q\phi}{kT}\right) \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{x^2}{\lambda^2}\right)\right) \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{(x - t_{si})^2}{\lambda^2}\right)\right)$$

Классическое распределение    Квантовая коррекция верхнего затвора    Квантовая коррекция нижнего затвора



W. Haensch et al., IBM, SSE 1989

## Возможные варианты реализации транзисторных структур:



Современные микросхемы представляют собой готовые мощные аппаратные устройства.



Высокие технологии развиваются на базе микроэлектронных решений, которые определяют функциональные возможности, конкурентоспособность и безопасность электроники и далее всех отраслей по цепочке поставок.

# Микроэлектроника меняет мир



- ✓ Ни одна отрасль не изменила мир так значительно, как микроэлектроника, благодаря ее развитию возникли технологии, давшие жизнь роботам, искусственному интеллекту и интернету вещей.
- ✓ Микроэлектроника продолжает динамичное развитие. Правило Мура уже работает более 50 лет и будет работать еще минимум 30 лет.



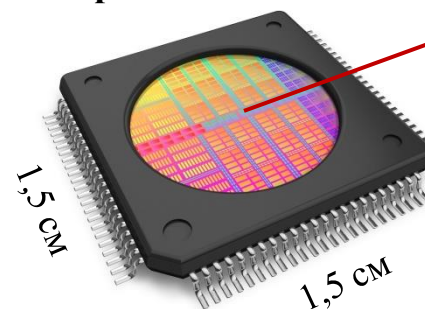
Человеческий мозг

~70 млрд. нейронов



Микросхема в 2035г.

>1 000 млрд.  
транзисторов



## Изменения в жизни:

- 2024г. – машина делает перевод лучше любого переводчика;
- 2027г. – исчезает профессия водителя грузового автомобиля;
- 2030г. – массовое производство персональных роботов;
- 2035г. – только беспилотные автомобили;
- 2050г. – исчезает профессия хирурга;
- 2060г. – исчезают все рабочие специальности;

**Микроэлектроника развивается быстрее других отраслей.**

# Основные тезисы программы



НИИМЭ

- 1. Активная позиция РАН в формировании и реализации крупных наукоемких программ и проектов, имеющих важное государственное значение.**
- 2. Научно-экспертная функция РАН должна осуществляться через координацию всех научных исследований и разработок, ведущихся научными учреждениями, университетами, отраслевыми НИИ и КБ. Необходима синергия и выявлять эту синергию должна РАН.**
- 3. РАН должна принять на себя определенную долю ответственности за доведение научных разработок до практического использования.**
- 4. Изменение статуса и роли РАН позволит вывести финансирование с грантовой зависимости на качественно новый стабильный уровень.**
- 5. Научно-методическое руководство научных организаций ФАНО должно осуществляться РАН.**
- 6. Региональным отделениям РАН необходимо дать более широкие полномочия для решения программ научно-технологического развития регионов.**