

Sławomir Kulesza

Technika cyfrowa

Inżynieria dyskretna cz. 2

Wykład dla studentów III roku Informatyki

Wersja 5.0, 10/10/2015

Generacje układów scalonych

| Stopień scalenia | Liczba elementów aktywnych | Zastosowania | Rok |
|------------------|----------------------------|-------------------------------------|------|
| SSI | 1-100 | Bramki, wzmacniacze operacyjne | 1960 |
| MSI | 100-1000 | Rejestry, filtry | 1965 |
| LSI | 1000-100000 | Mikroprocesory, przetworniki AC, CA | 1970 |
| VLSI | 100000-1000000 | Pamięci, procesory, DSP | 1975 |
| (ULSI) | >1000000 | Procesory | 2001 |

INTEL 4004 – pierwszy u-procesor

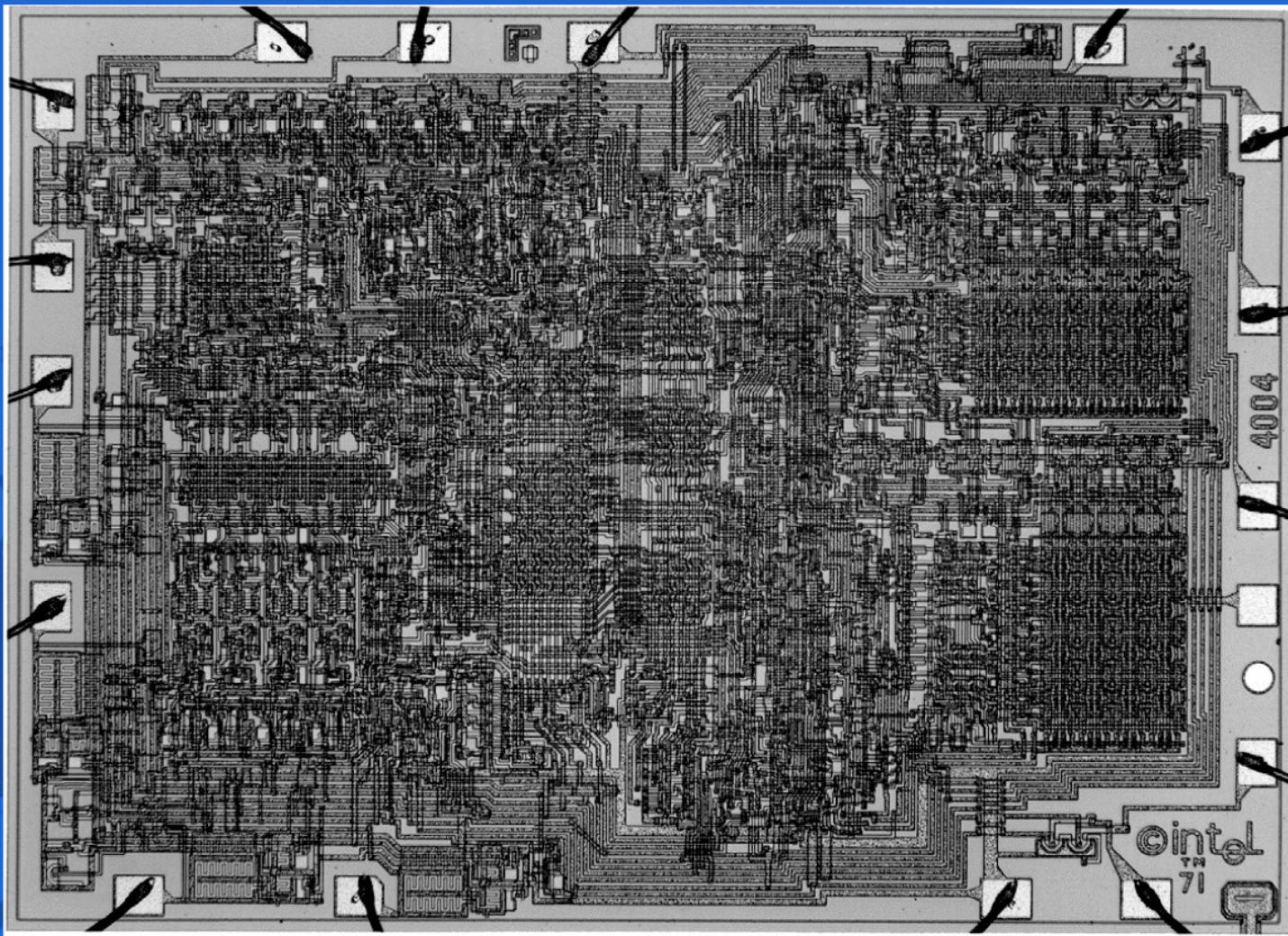
Wypuszczony na rynek w 1971 r. jako produkt uboczny zamówienia na układy sterowania do kalkulatora Busicom 141-PF.

Rodzina 4 US: CPU (4004), ROM (4001 – programy użytkownika), RAM (4002 – przetwarzane dane) , układ I/O (4003).

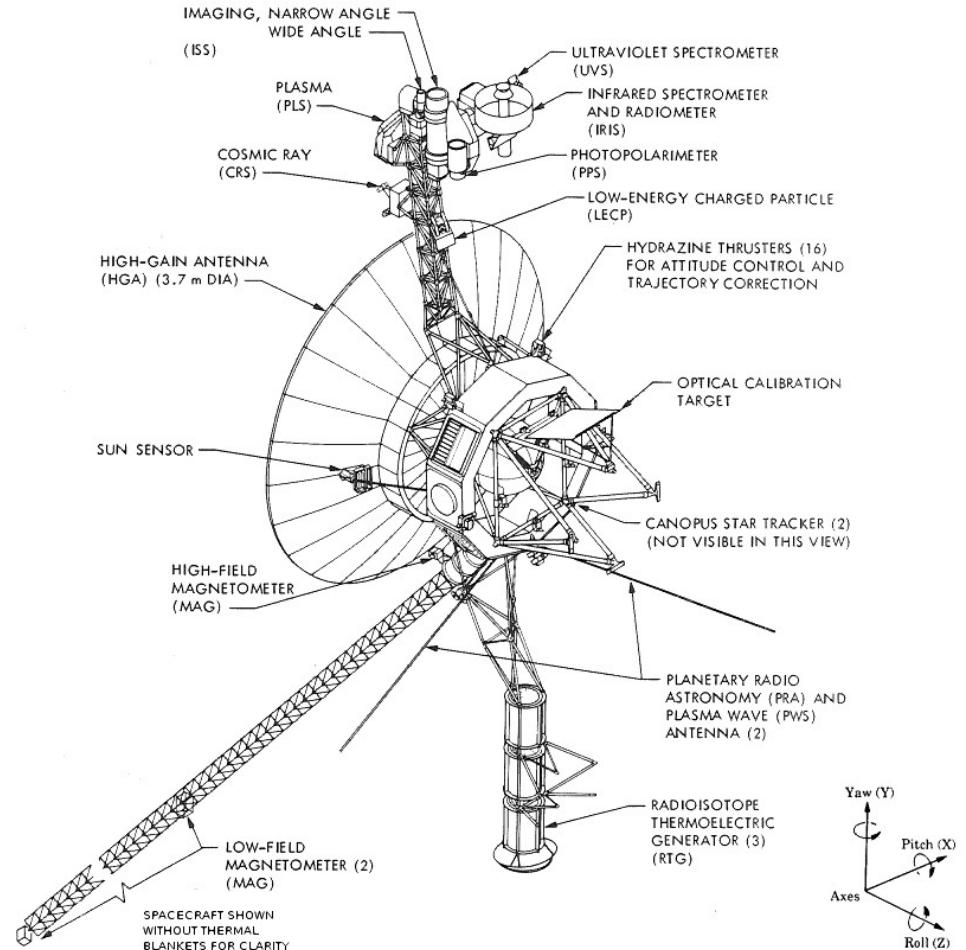
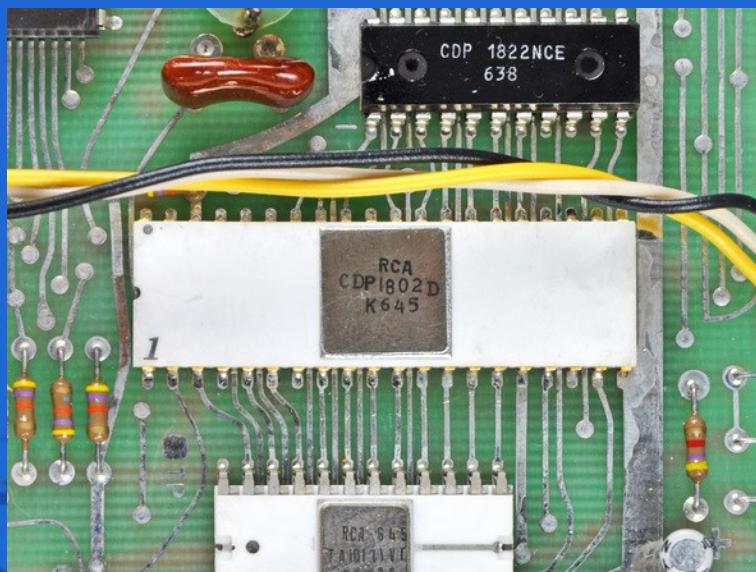


Procesor 4-bitowy, adres 12-bitowy, przestrzeń adresowa 640 B, częstotliwość zegara 740 kHz, wydajność 0.06 MIPS (ENIAC 1946), 2300 tranzystorów, technologia PMOS 10 um, rdzeń 4×3 mm².

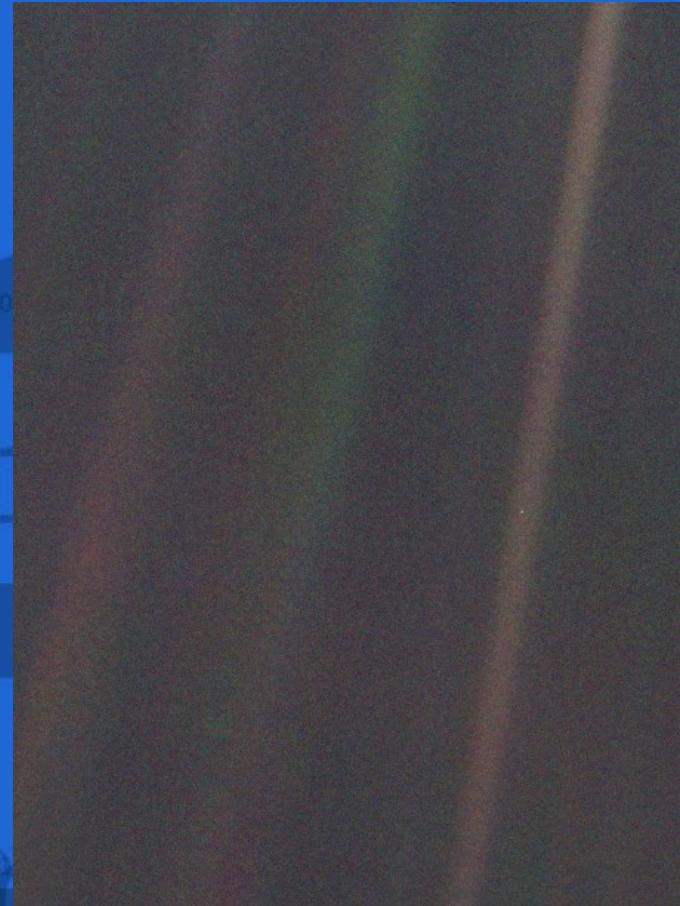
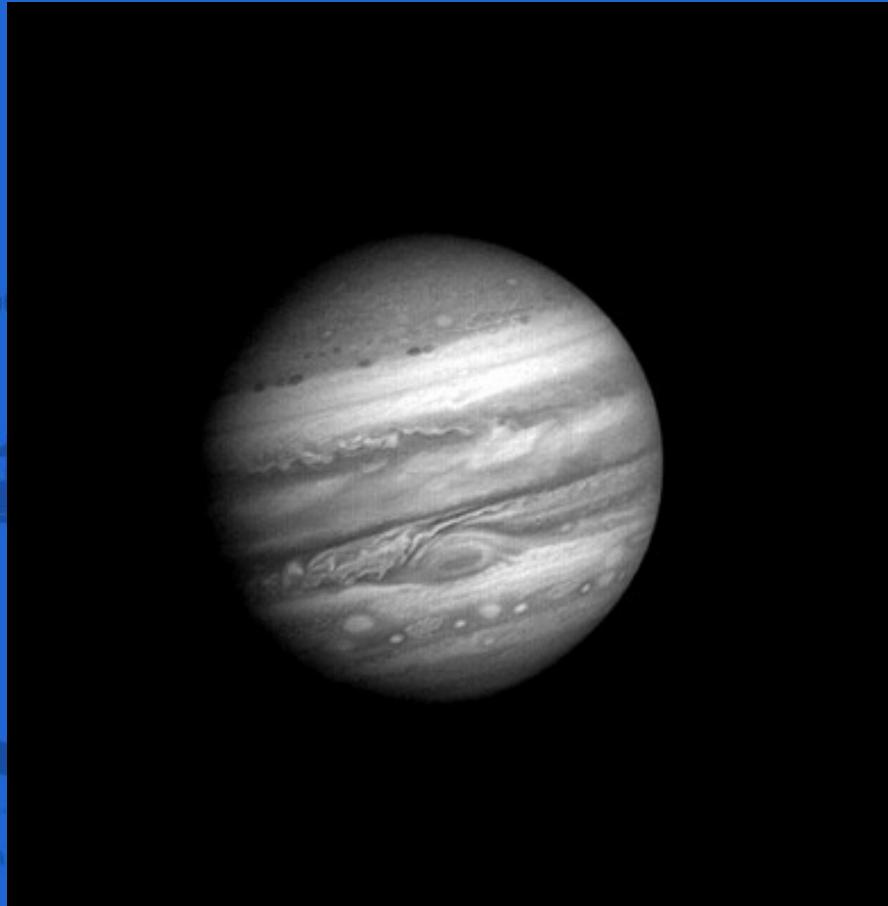
INTEL 4004 – pierwszy komercyjnie dostępny u-procesor



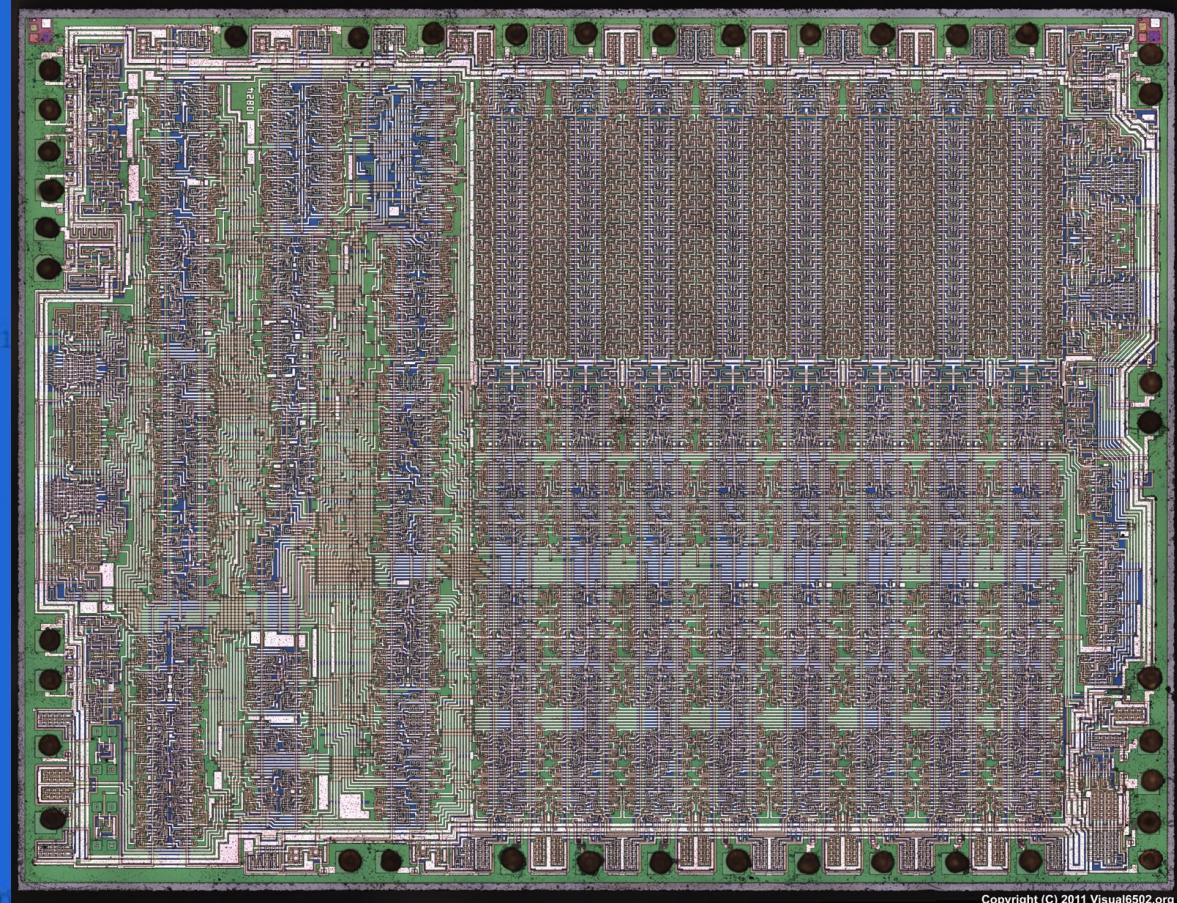
Mit: 4004 w sondzie Voyager 1 – 1977 r. Fakt (?): 3 CPU RCA 1802



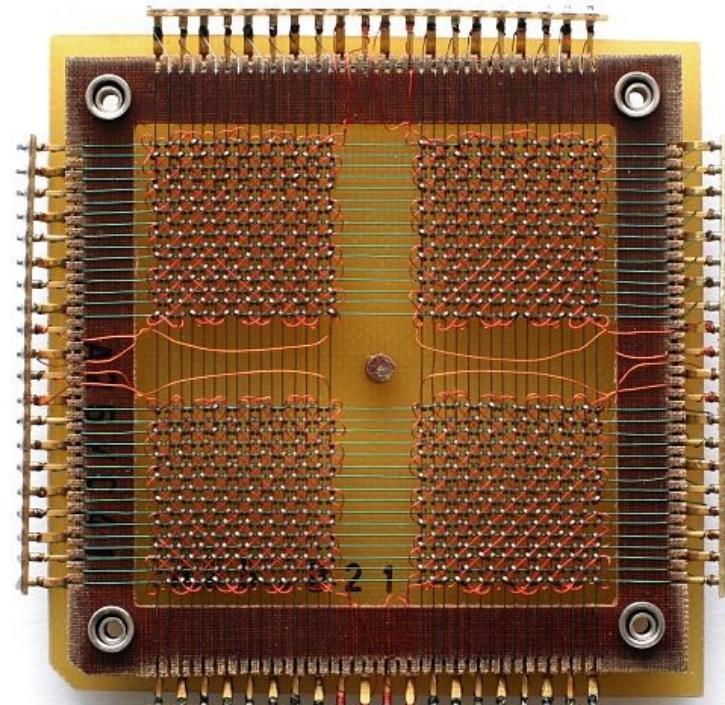
Voyager 1 – najdalszy ludzki obiekt w kosmosie



1976: RCA 1802 (m.in. NASA) technologia Silicon-On-Sapphire



1981: Space Shuttle
APA 101s – systemy awioniki
i80386 – szklany kokpit
pamięć ferrytowa



Wzrost stopnia scalenia

| Microprocessor | Year of Introduction | Transistors |
|---|----------------------|-------------|
| 4004 | 1971 | 2,300 |
| 8008 | 1972 | 2,500 |
| 8080 | 1974 | 4,500 |
| 8086 | 1978 | 29,000 |
| Intel® 286 | 1982 | 134,000 |
| Intel® 386™ processor | 1985 | 275,000 |
| Intel® 486™ processor | 1989 | 1,200,000 |
| Intel® Pentium® processor | 1993 | 3,100,000 |
| Intel® Pentium® II processor | 1997 | 7,500,000 |
| Intel® Pentium® III processor | 1999 | 9,500,000 |
| Intel® Pentium® 4 processor | 2000 | 42,000,000 |
| Intel® Itanium® processor | 2001 | 25,000,000 |
| Intel® Itanium® 2 processor | 2003 | 220,000,000 |
| Intel® Itanium® 2 processor (9MB cache) | 2004 | 592,000,000 |

Postęp technologii (rok 2003)

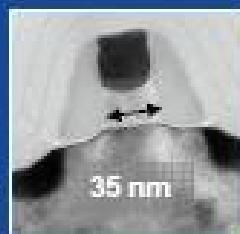
Innovation-Enabled Technology Pipeline

90 nm
2003



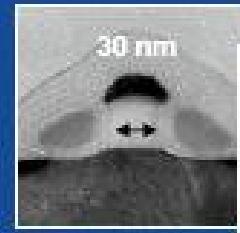
SiGe S/D
Strained Silicon

65 nm
2005



SiGe S/D
Strained Silicon

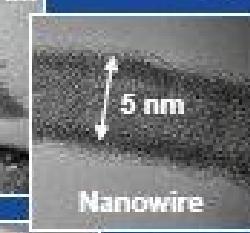
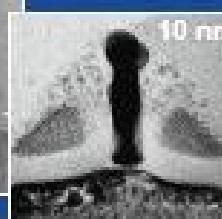
45 nm
2007



32 nm
2009

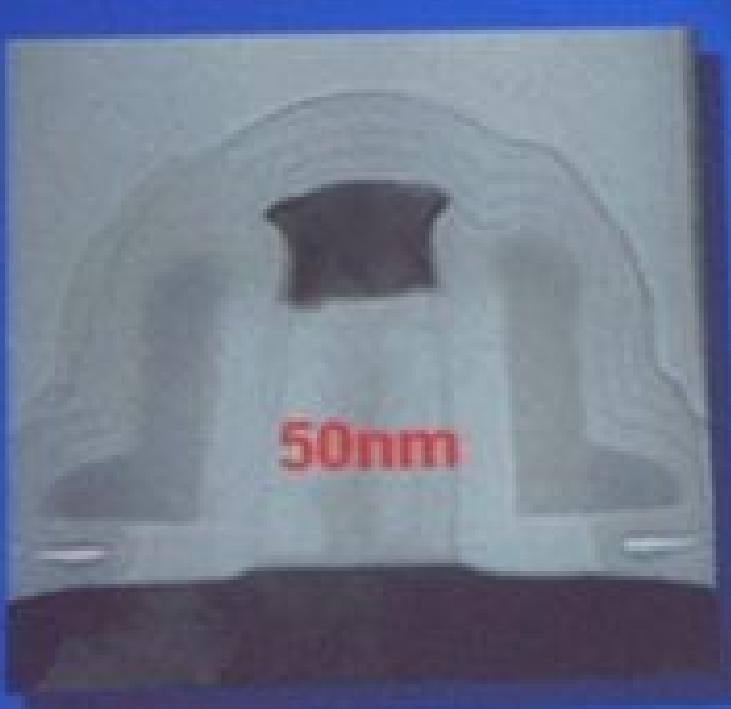


2011+
Research

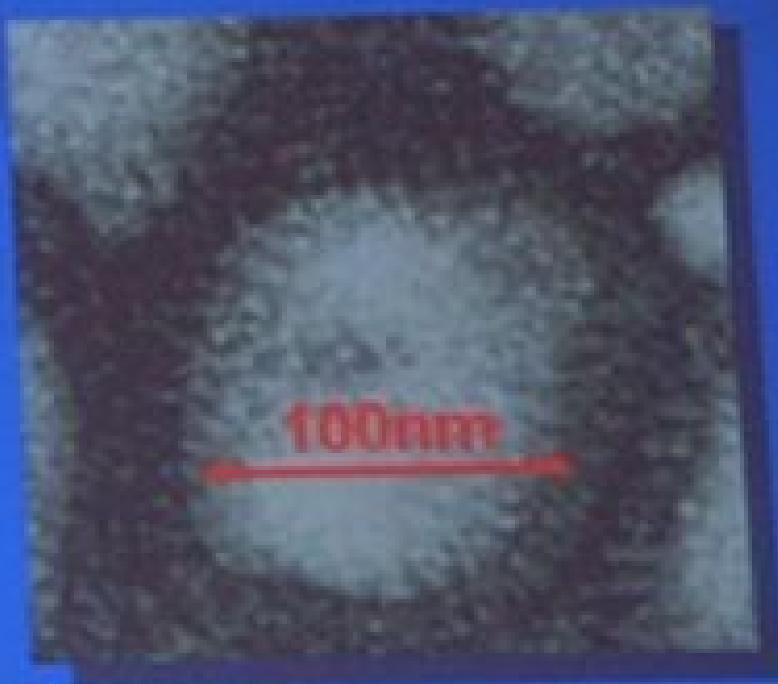


Future options subject to change

Postęp technologii



Transistor for
90nm Process



Influenza virus

Scans: 100x

101

C1

101001

01010

10100110

10100

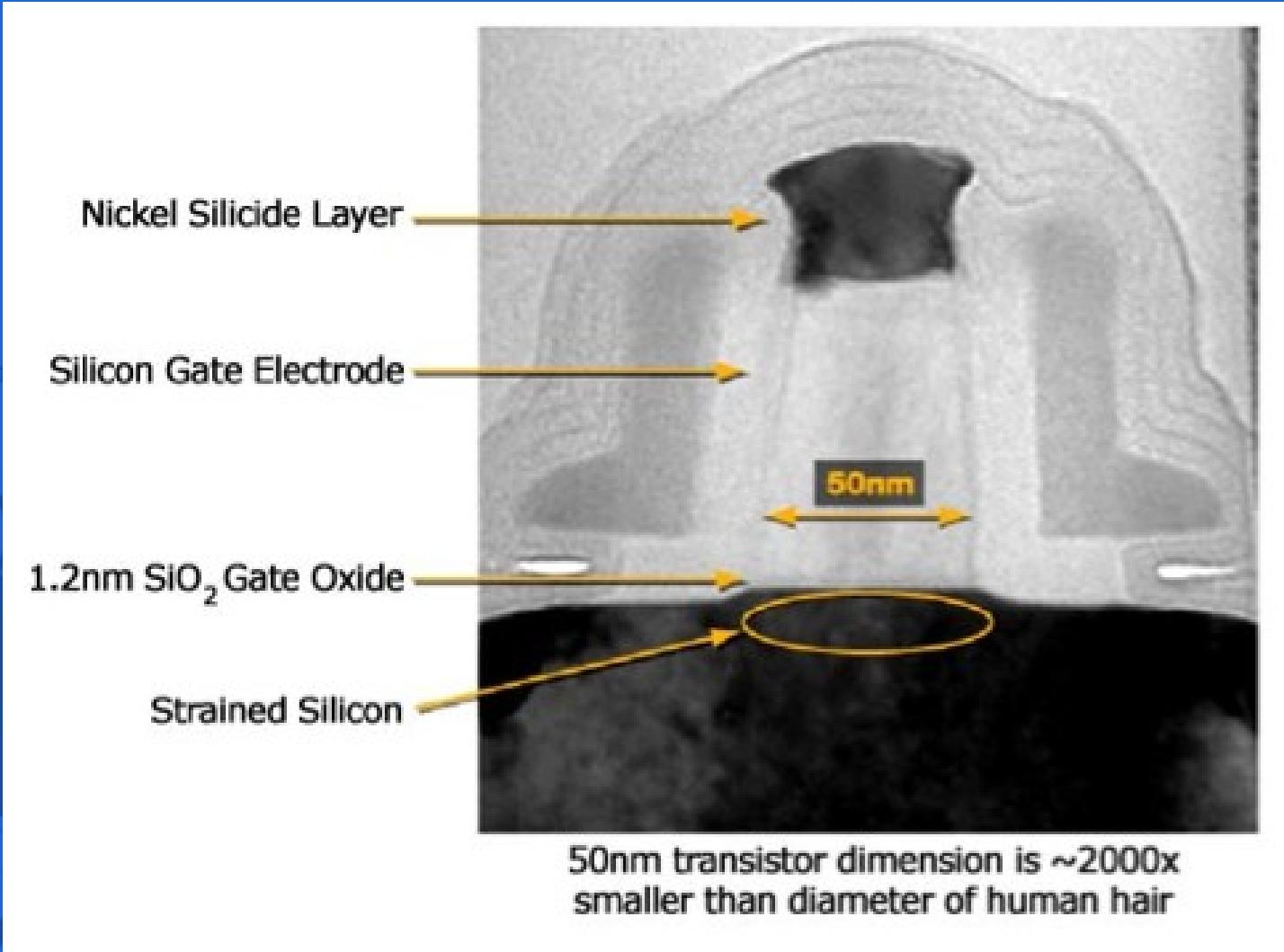
101110

10100

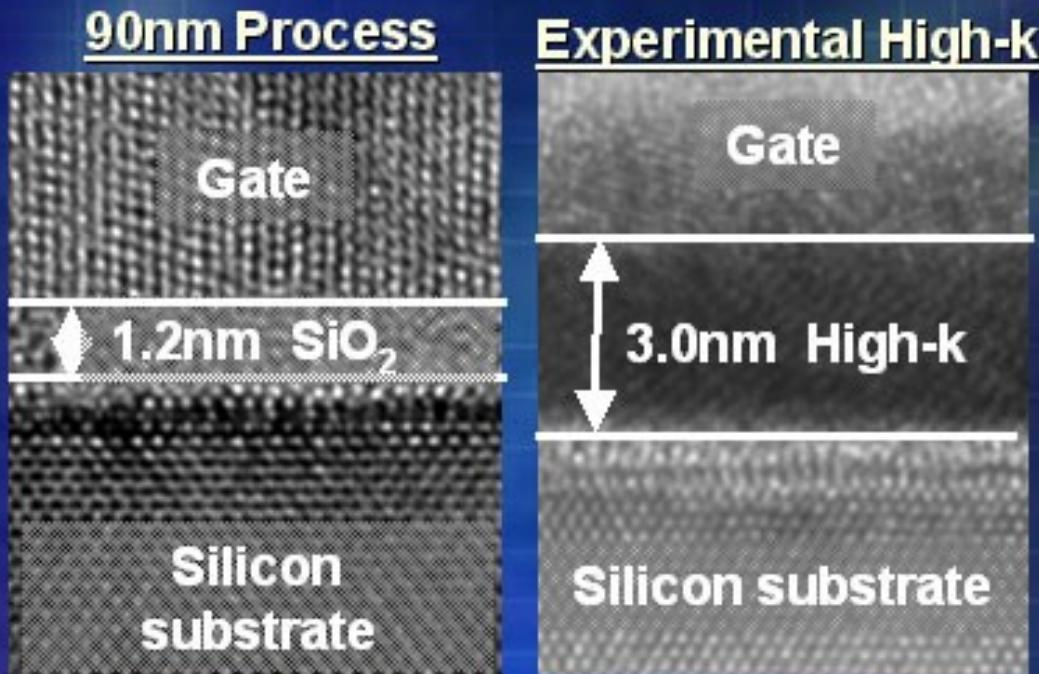
10110

10100

Postęp technologii



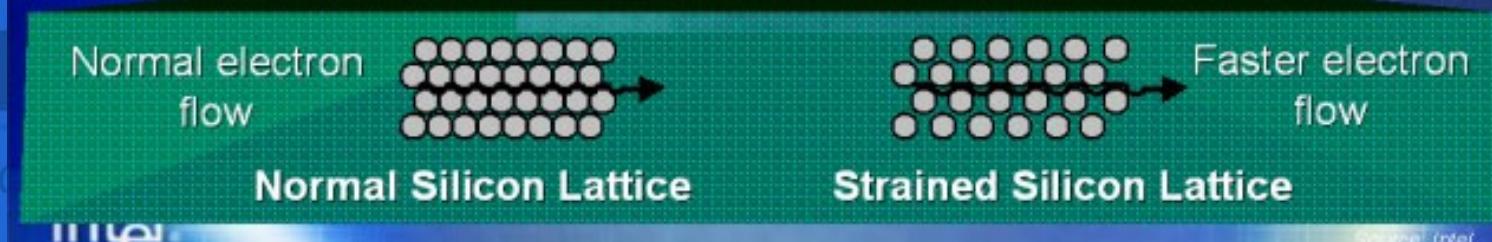
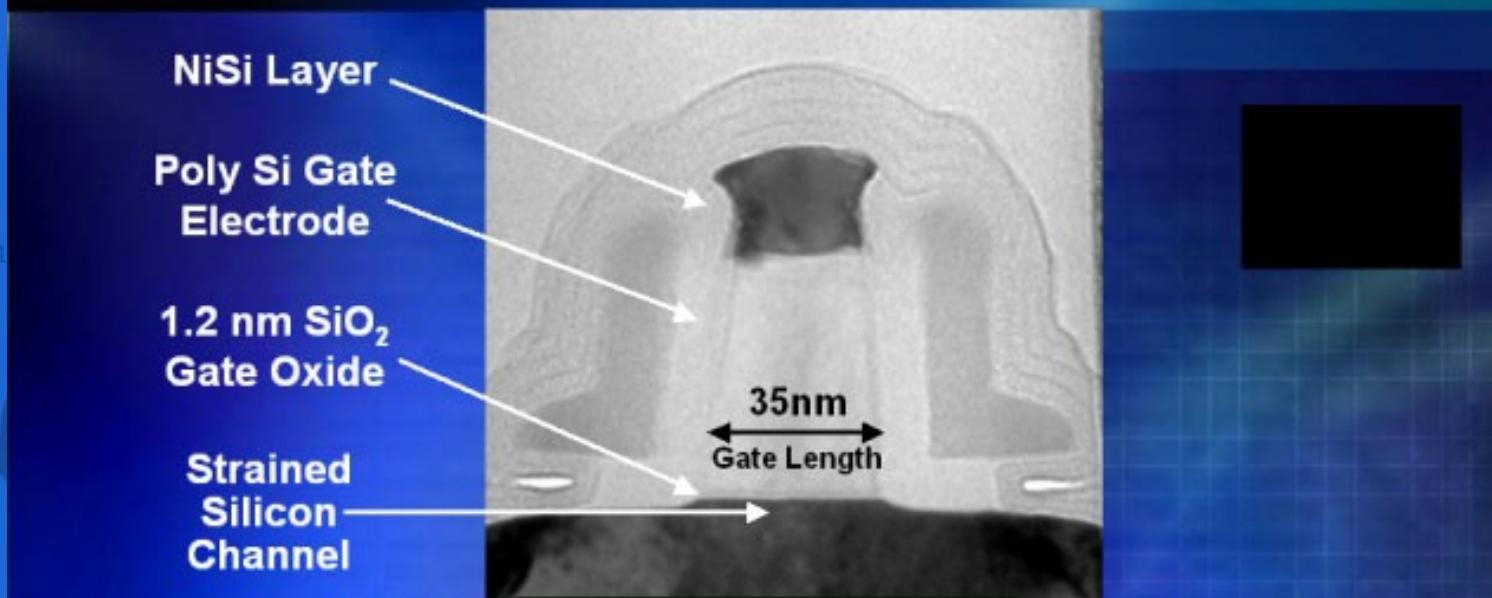
High-k gates



| | | |
|-------------------------|----|---------|
| Capacitance | 1X | 1.6X |
| Gate dielectric leakage | 1X | < 0.01X |

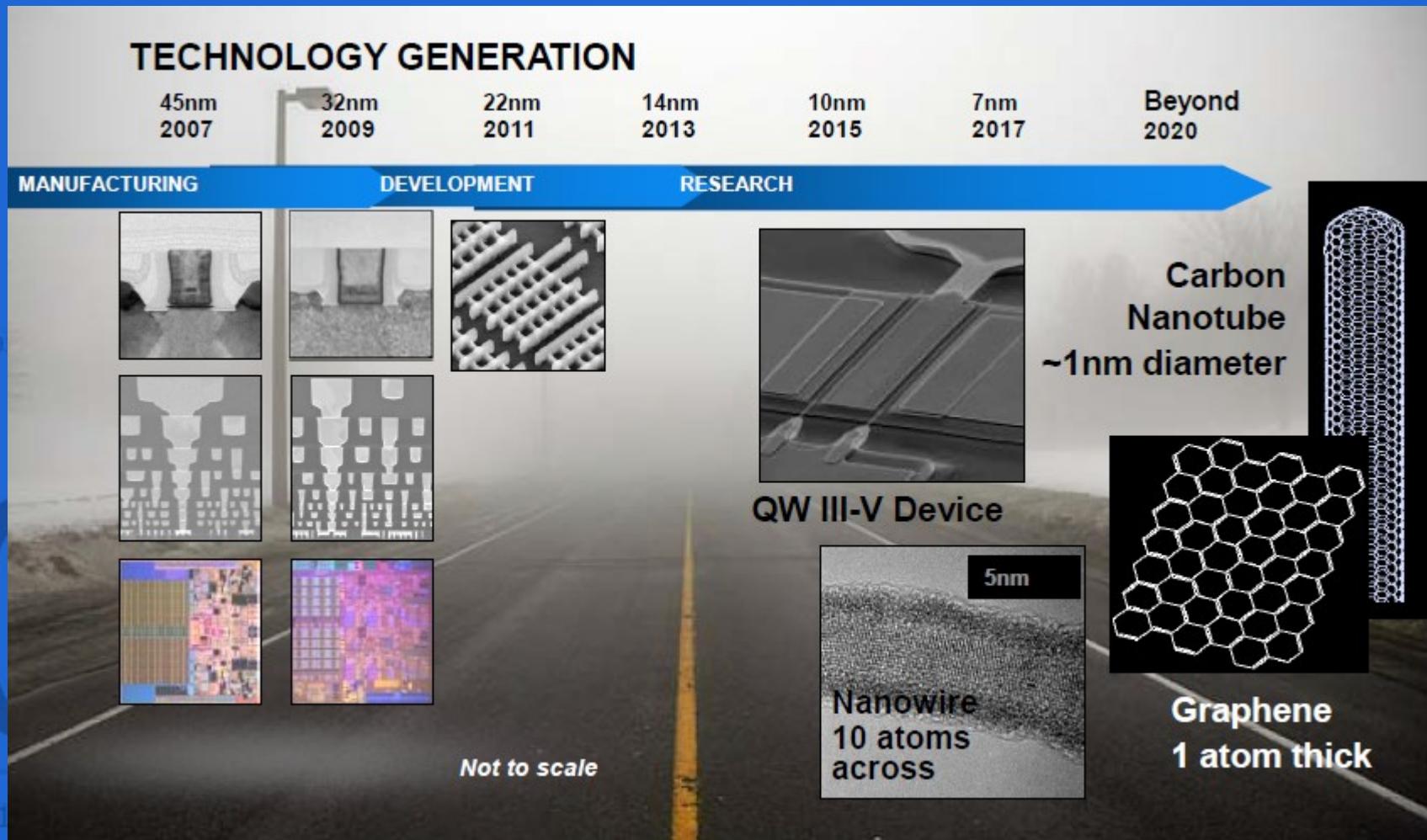
Strained silicon

Industry Leading 65nm Transistor Technology



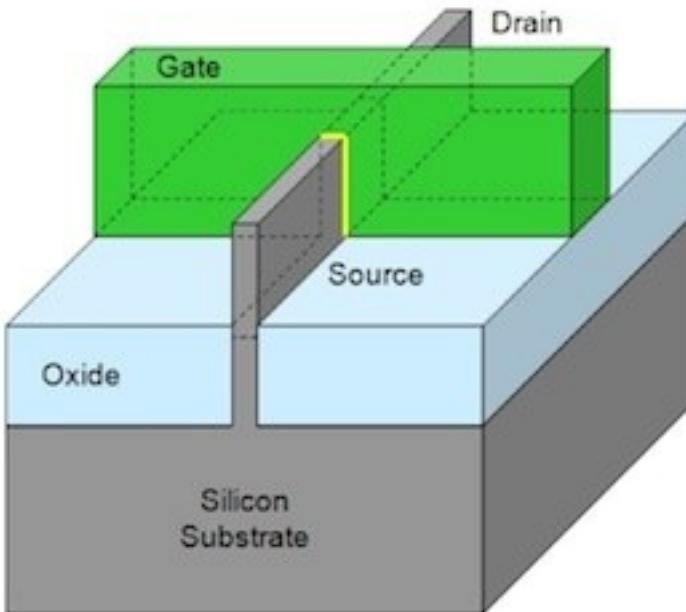
Source: Intel

Postęp technologii (2007)



Tri-gates (Ivy Bridge)

22 nm 3-D Tri-Gate Transistor

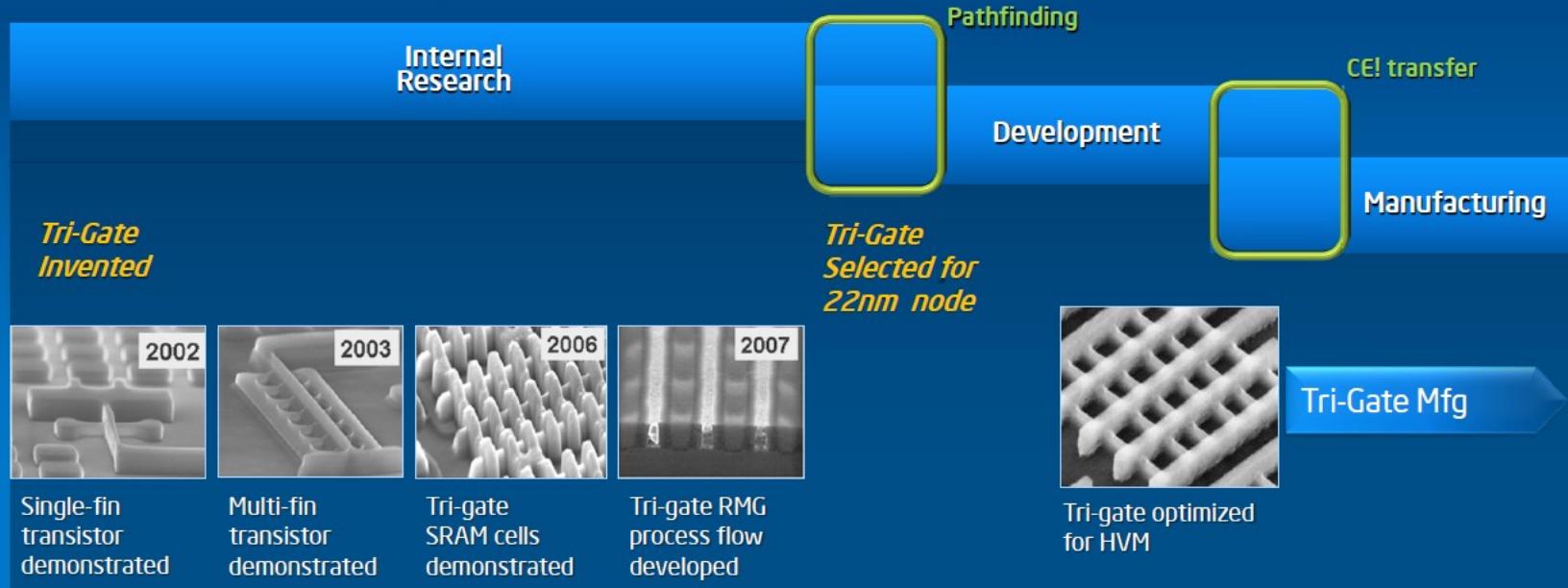


3-D Tri-Gate transistors form conducting channels on three sides of a vertical fin structure, providing “fully depleted” operation

Transistors have now entered the third dimension!

Tri-gates

Tri-Gate Achievement Results from Long Term Commitment to Research



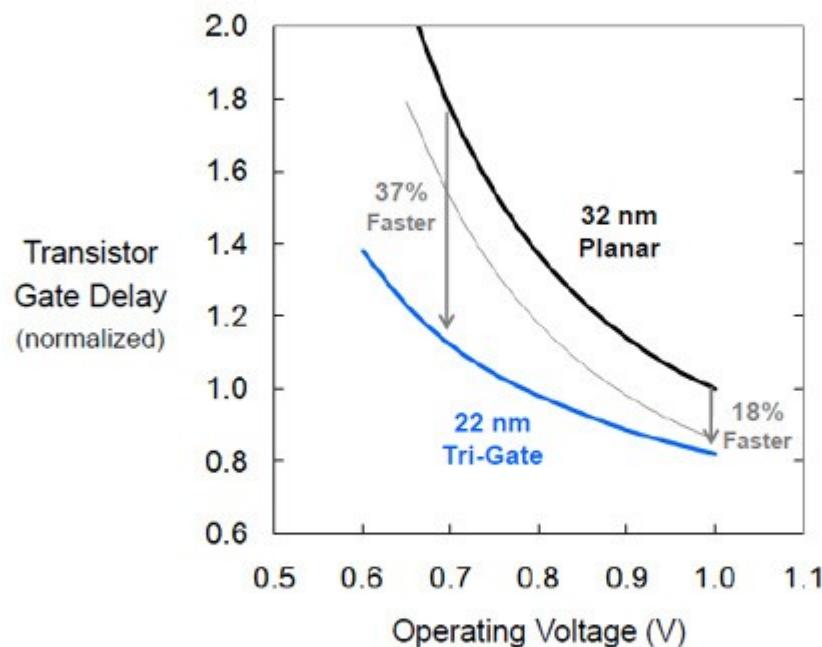
Bringing innovative technologies to HVM is the result of a highly coordinated internal research-development-manufacturing pipeline

Intel Confidential



Tri-gates

Transistor Gate Delay



22 nm Tri-Gate transistors provide improved performance at high voltage
and an *unprecedented* performance gain at low voltage



Tri-gates

22 nm Manufacturing Fabs



D1C Oregon



Fab 28 Israel



Fab 32 Arizona



D1D Oregon

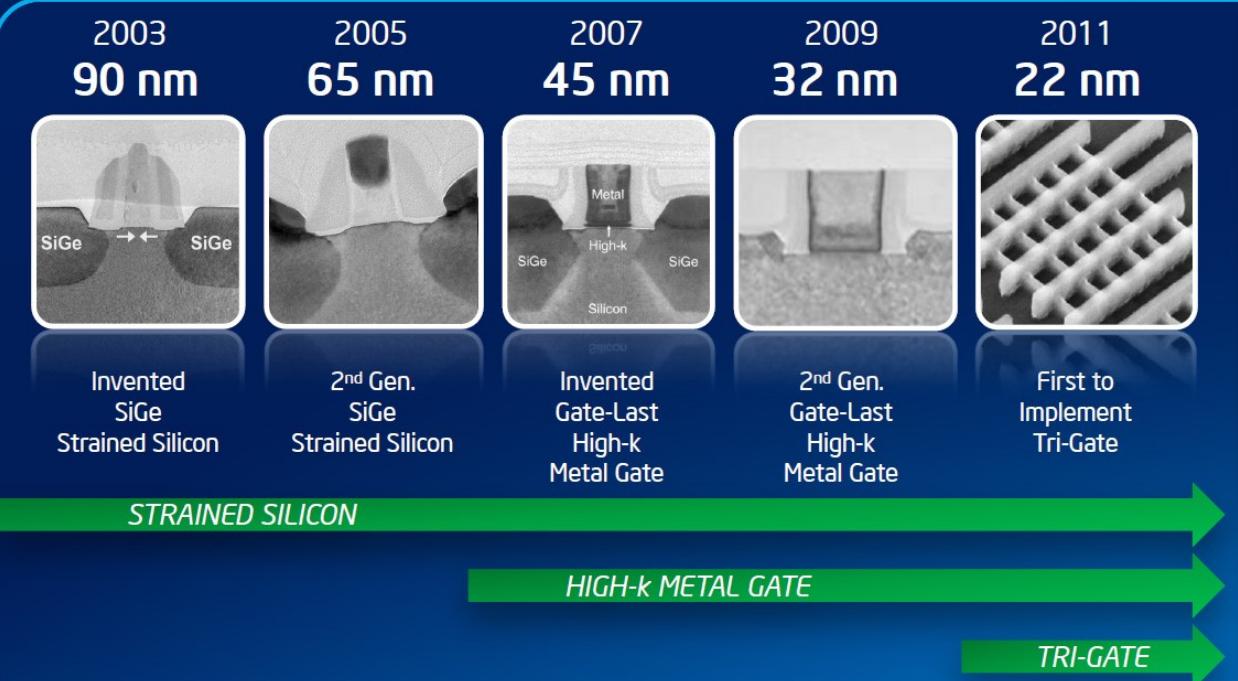


Fab 12 Arizona



Postęp technologii (2011)

Process Technology Leadership



22nm

A Revolutionary
Leap in
Process Technology

37%

Performance Gain at Low Voltage*

>50%

Active Power Reduction at Constant Performance*

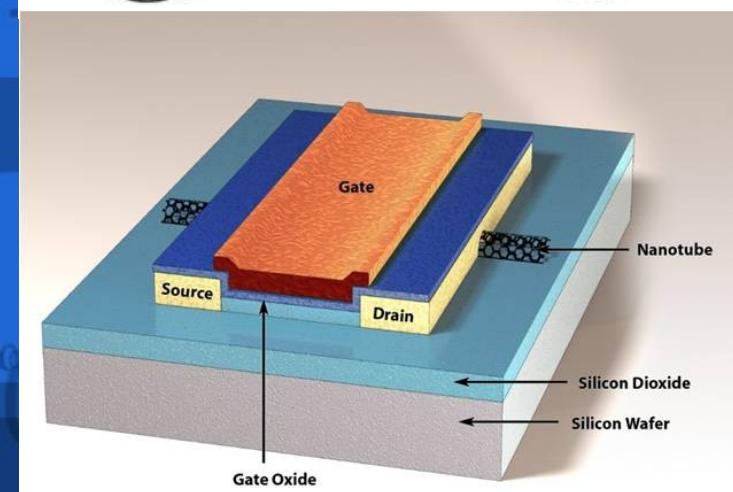
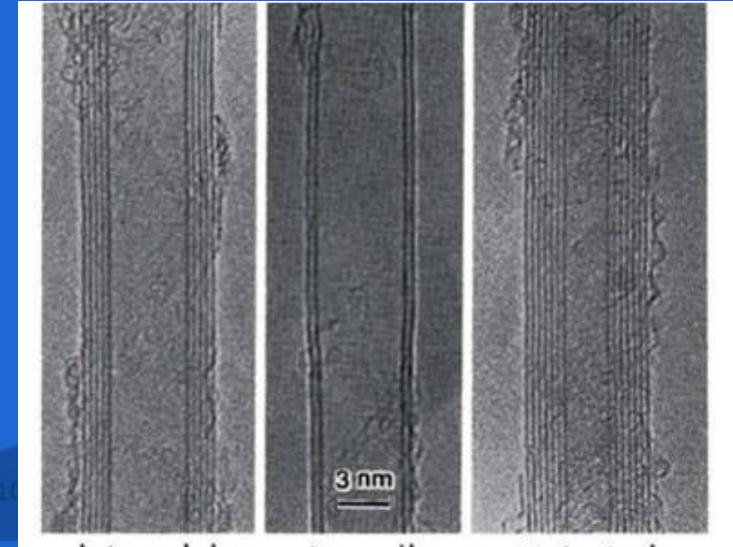
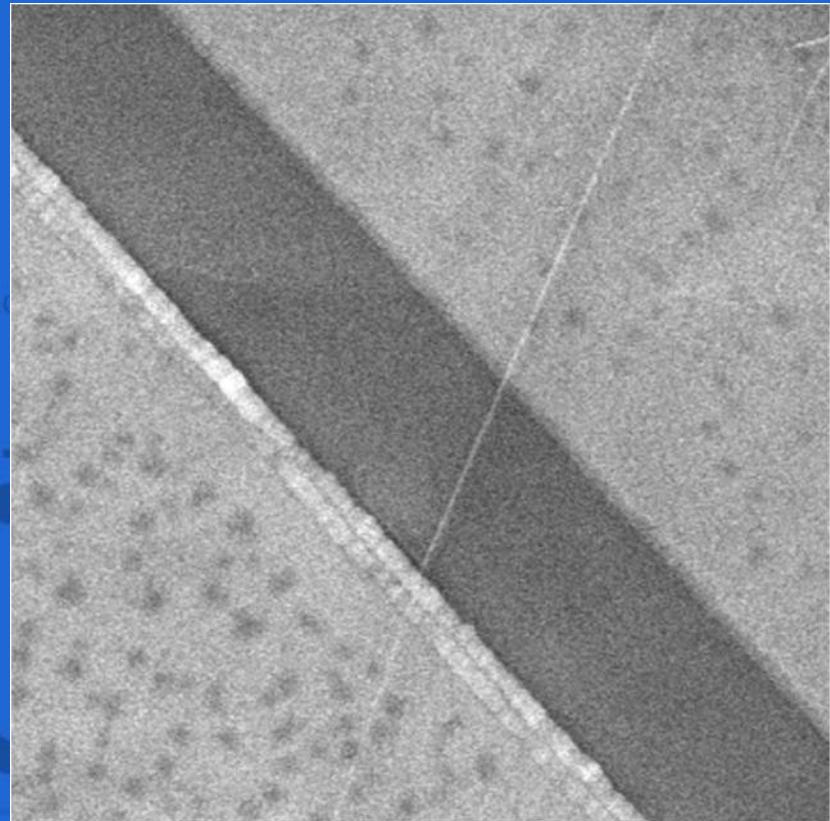


Source: Intel

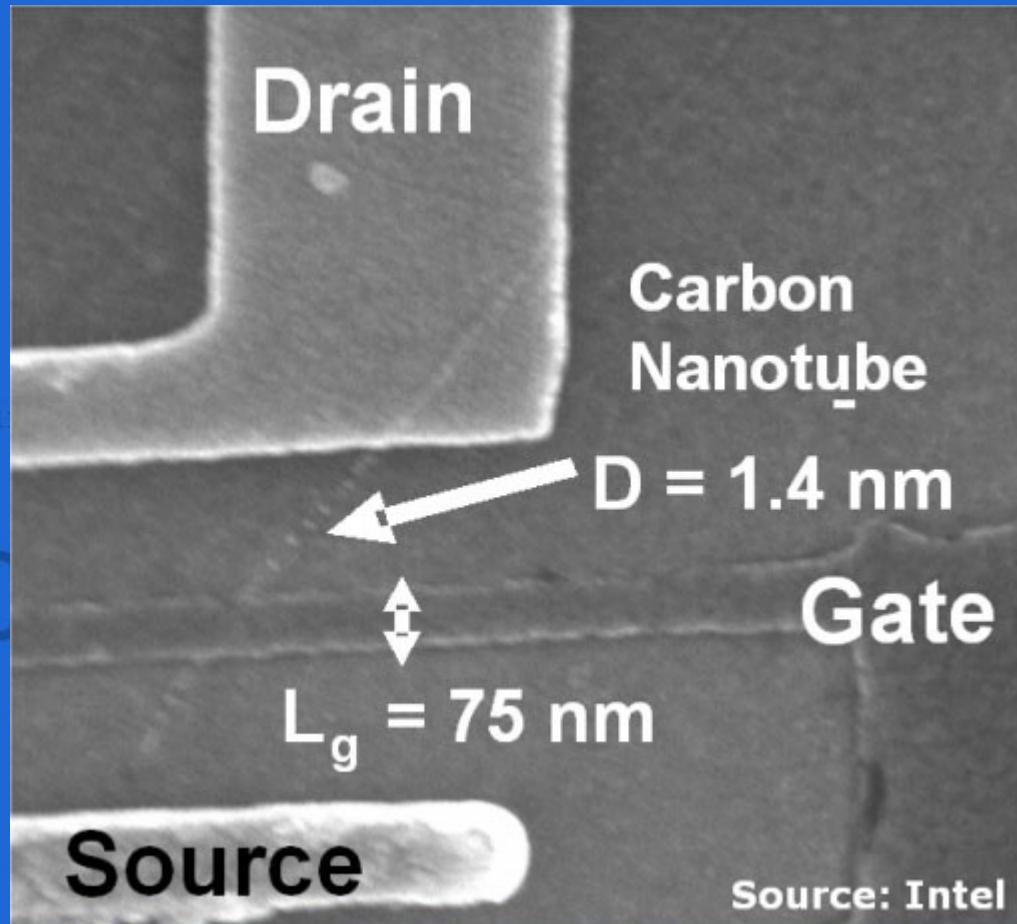
*Compared to Intel 32nm Technology

The foundation for all computing

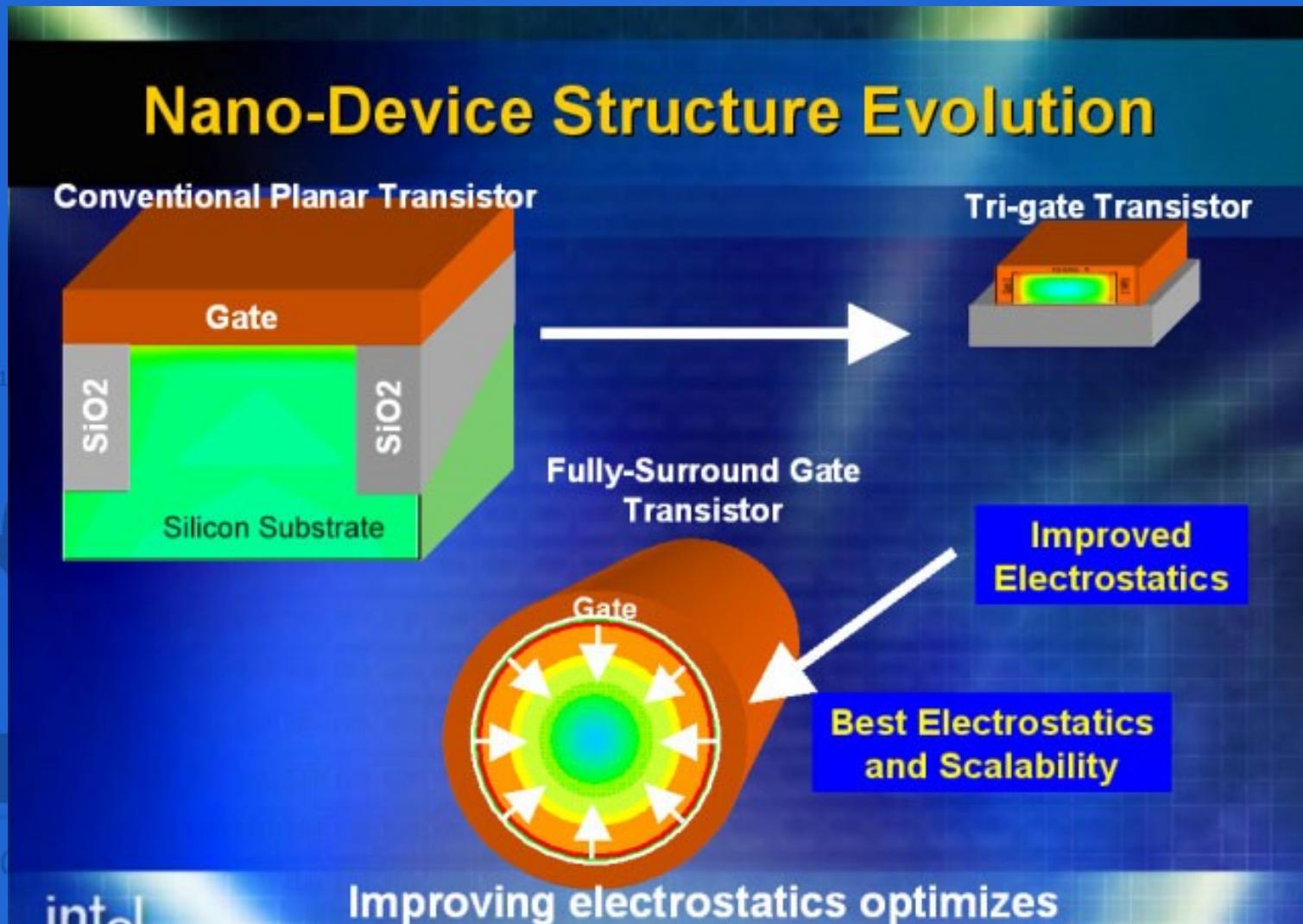
Nanorurki węglowe



Tranzystor nanorurkowy



Nanodruty

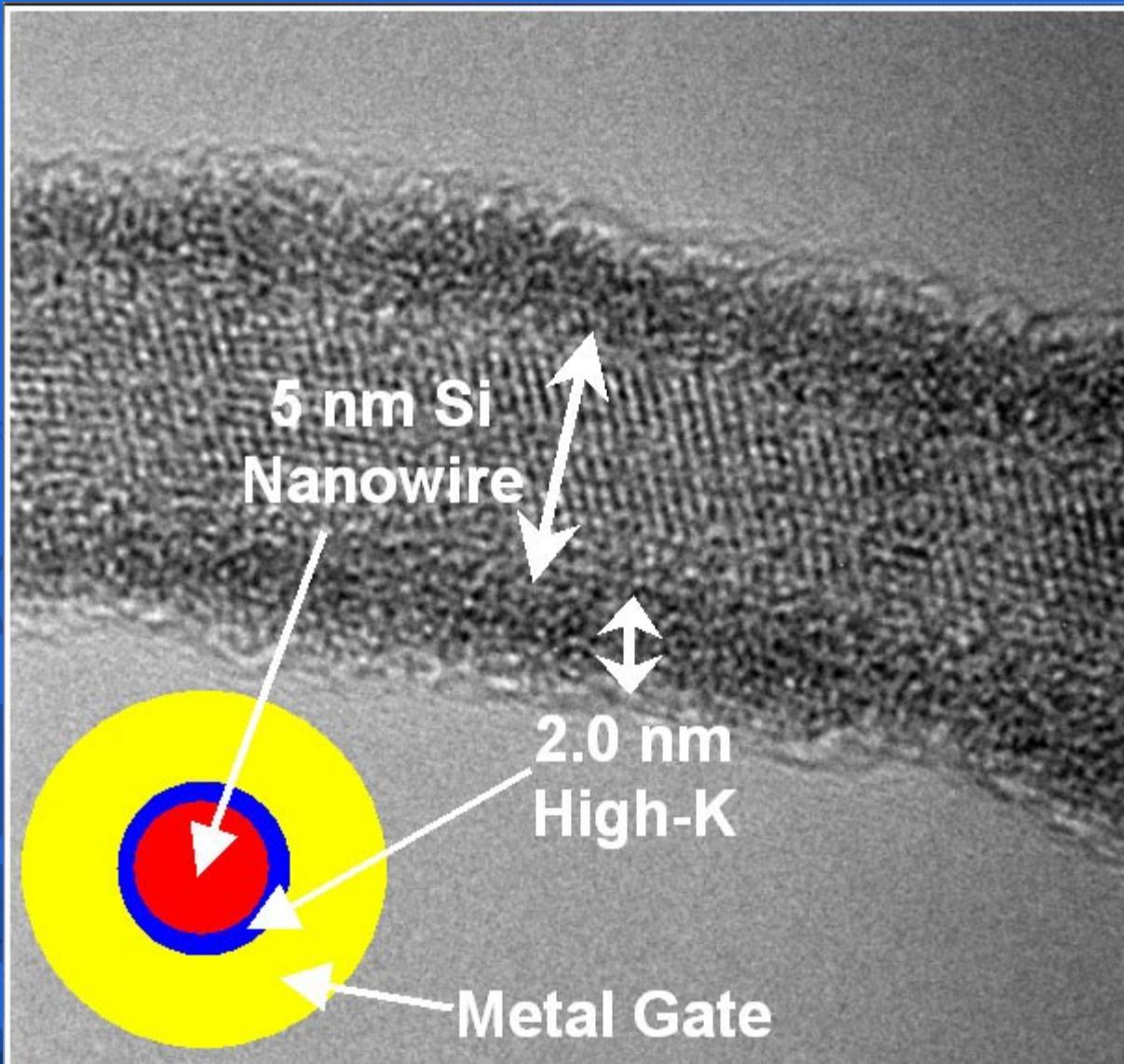


Improving electrostatics optimizes power consumption and performance



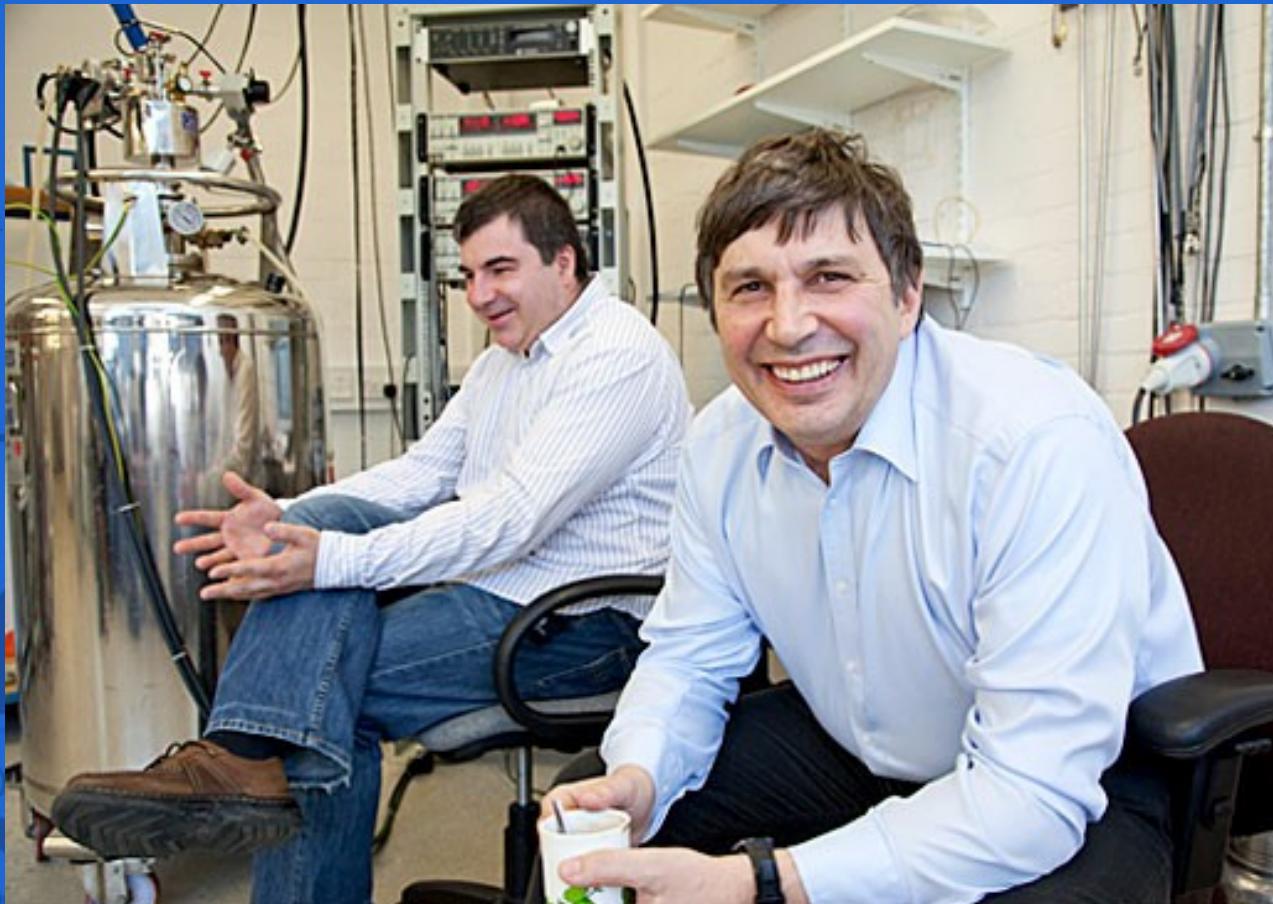
Other names and brands may be claimed as the property of others

Nanodruty



Grafen

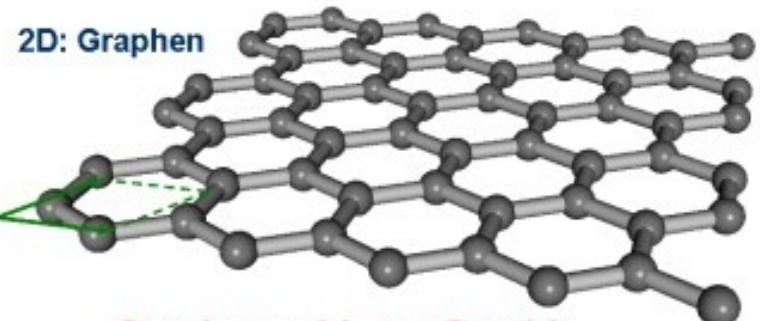
Nagroda Nobla z fizyki w 2010 r.
Andre Geim, Konstantin Novoselov
(Andre Geim – Ig Nobel w 2000 r.)



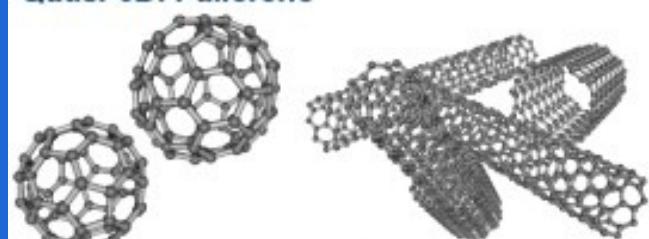
Grafen

Nagroda nobla z fizyki w 2010 r.

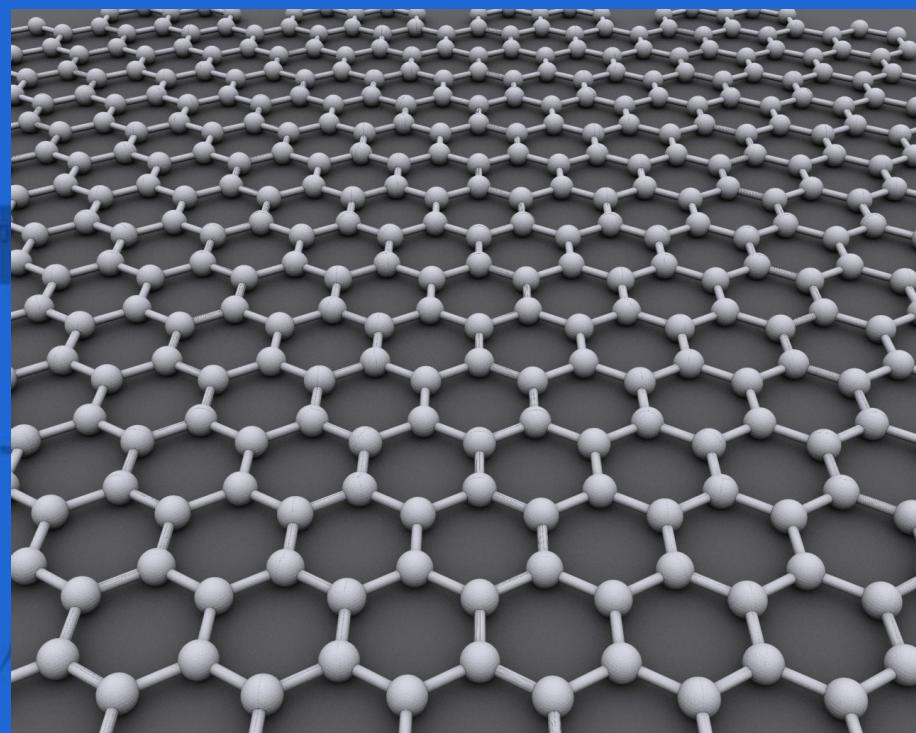
Andre Geim, Konstantin Novoselov



Quasi-0D: Fullerene



3D: Graphit



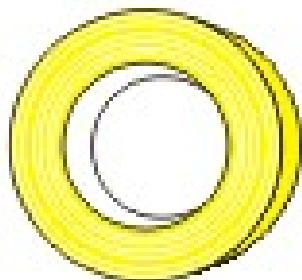
Grafen

Nagroda nobla z fizyki w 2010 r.

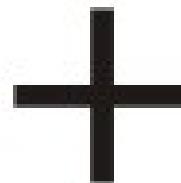
Andre Geim, Konstantin Novoselov

MacGyver in the physics lab

103



Scotch tape



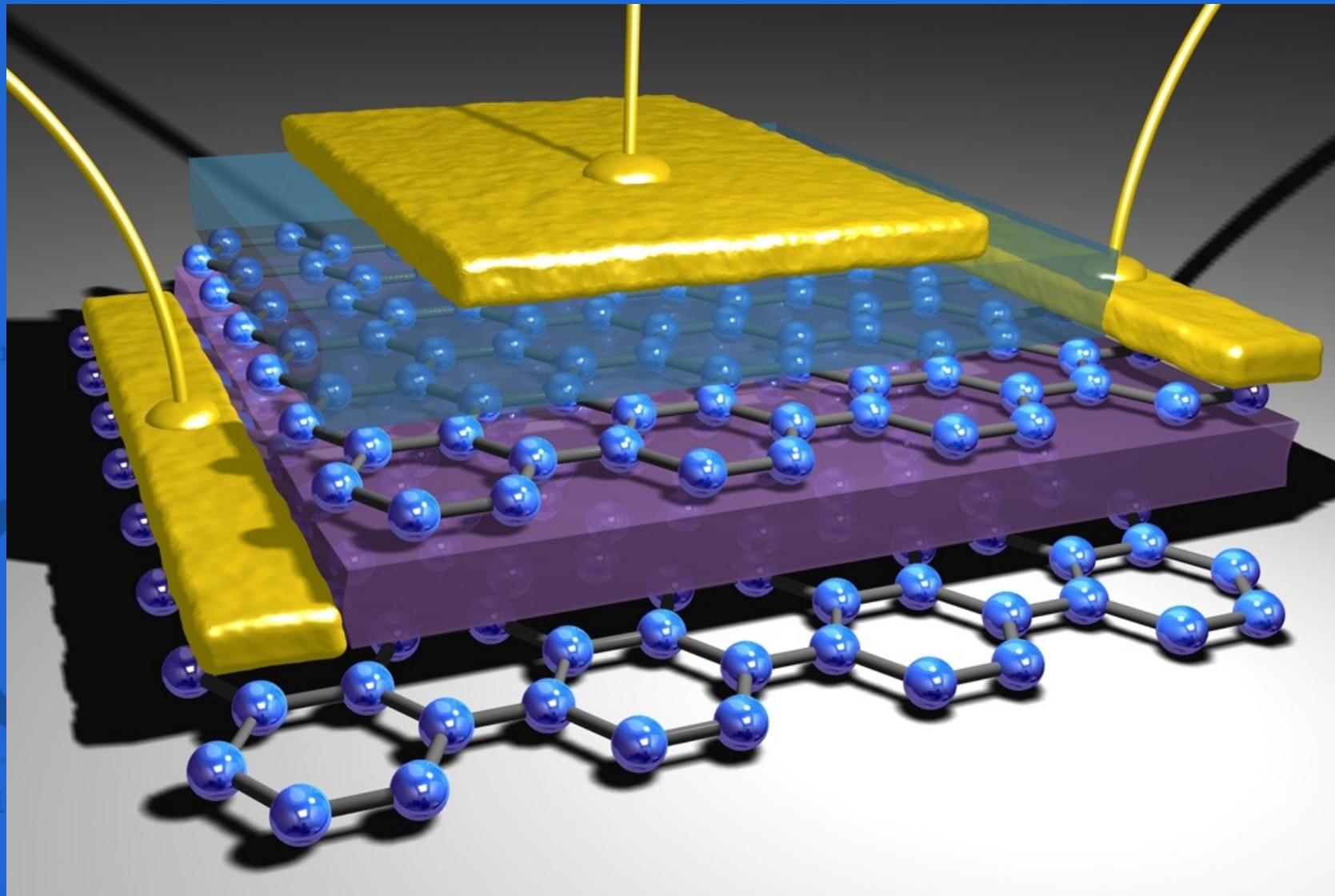
piece of graphite



Nobel prize
2010

www.stripedscience.com

Grafenowy tranzystor

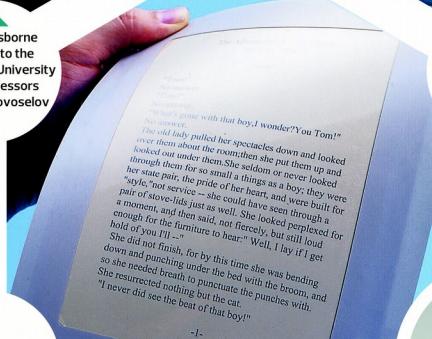


Zastosowania grafenu

WELCOME TO THE GRAPHENE AGE



George Osborne
on a visit to the
Manchester University
lab of Professors
Geim and Novoselov



FLEXIBLE SCREENS

Researchers in South Korea have produced a continuous layer of graphene 63cm wide. This has opened up possibilities in electronics, "You could theoretically roll up your iPhone and stick it behind your ear like a pencil," claims one scientist

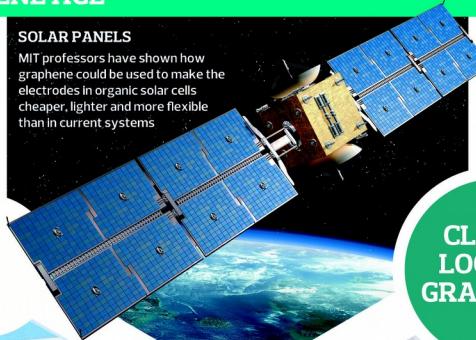


PROSTHETICS

Apart from allowing for the construction of stronger, more flexible and lighter limbs, its conductivity opens up new possibilities for its use in the electrodes used to turn brain signals into movement

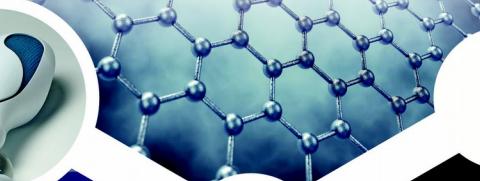
SOLAR PANELS

MIT professors have shown how graphene could be used to make the electrodes in organic solar cells cheaper, lighter and more flexible than in current systems



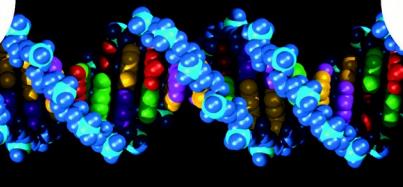
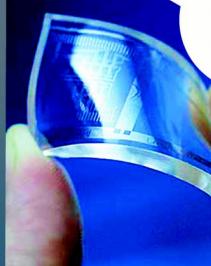
A CLOSER LOOK AT GRAPHENE

Graphene is a one-atom thick form, or allotrope, of carbon – other allotropes include diamond and graphite. It is often described as an atomic-scale chicken wire constructed of carbon atoms and their bonds. When graphene sheets are stacked, three million sheets would be needed to create a 1mm thickness. It's been claimed that it is the strongest material known to man, that a clingfilm-thick layer could support an elephant. Despite its strength it can be stretched by 20% without being damaged. It is also an excellent conductor of electricity and the best conductor of heat that has been discovered



COMPUTER CHIPS

Geim and Novoselov have been working on demonstrating how graphene could replace silicon as the key material in electronic circuits. IBM is one of many electronics firms experimenting with graphene conductors



DNA SEQUENCING

Researchers at British firm Oxford Nanopore, building on discoveries made at Harvard, claim that using graphene could reduce the cost and speed up the process of DNA sequencing



AIR TRAVEL

Using graphene would enable aeroplane manufacturers to develop extremely strong yet light components – bringing down weight and therefore reducing fuel costs



MOBILE PHONES

Nokia is exploring the potential uses of graphene in mobile devices. Aside from smaller, more flexible phones, it may allow built-in solar power and transparent electronics

Postęp technologii (IDF 2014)

Intel Technology Roadmap

22 nm

14 nm

10 nm

7 nm

Manufacturing

Development

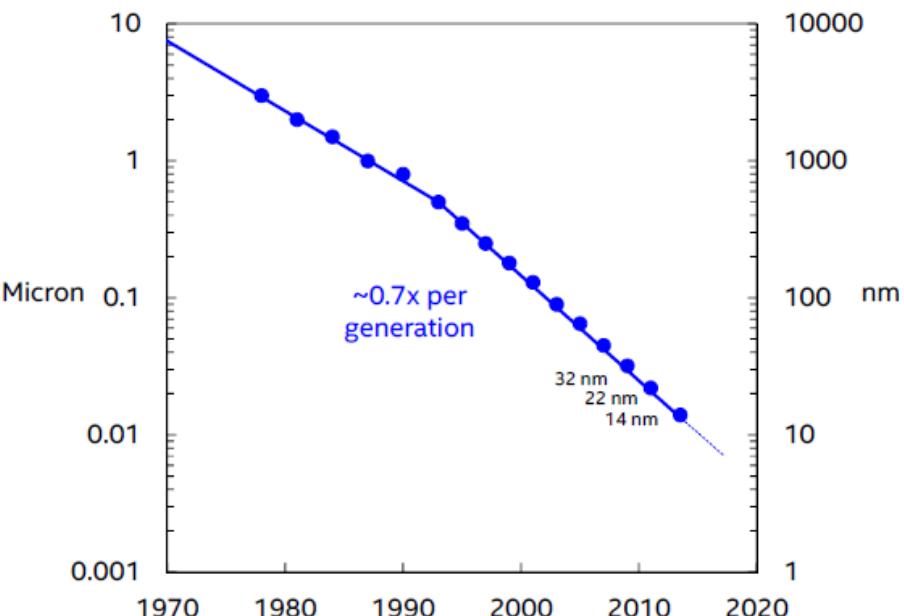
Research

>500 million chips using 22 nm Tri-gate (FinFET) transistors shipped to date

Industry's first 14 nm technology is now in volume manufacturing

Postęp technologii (IDF 2014)

Intel Scaling Trend



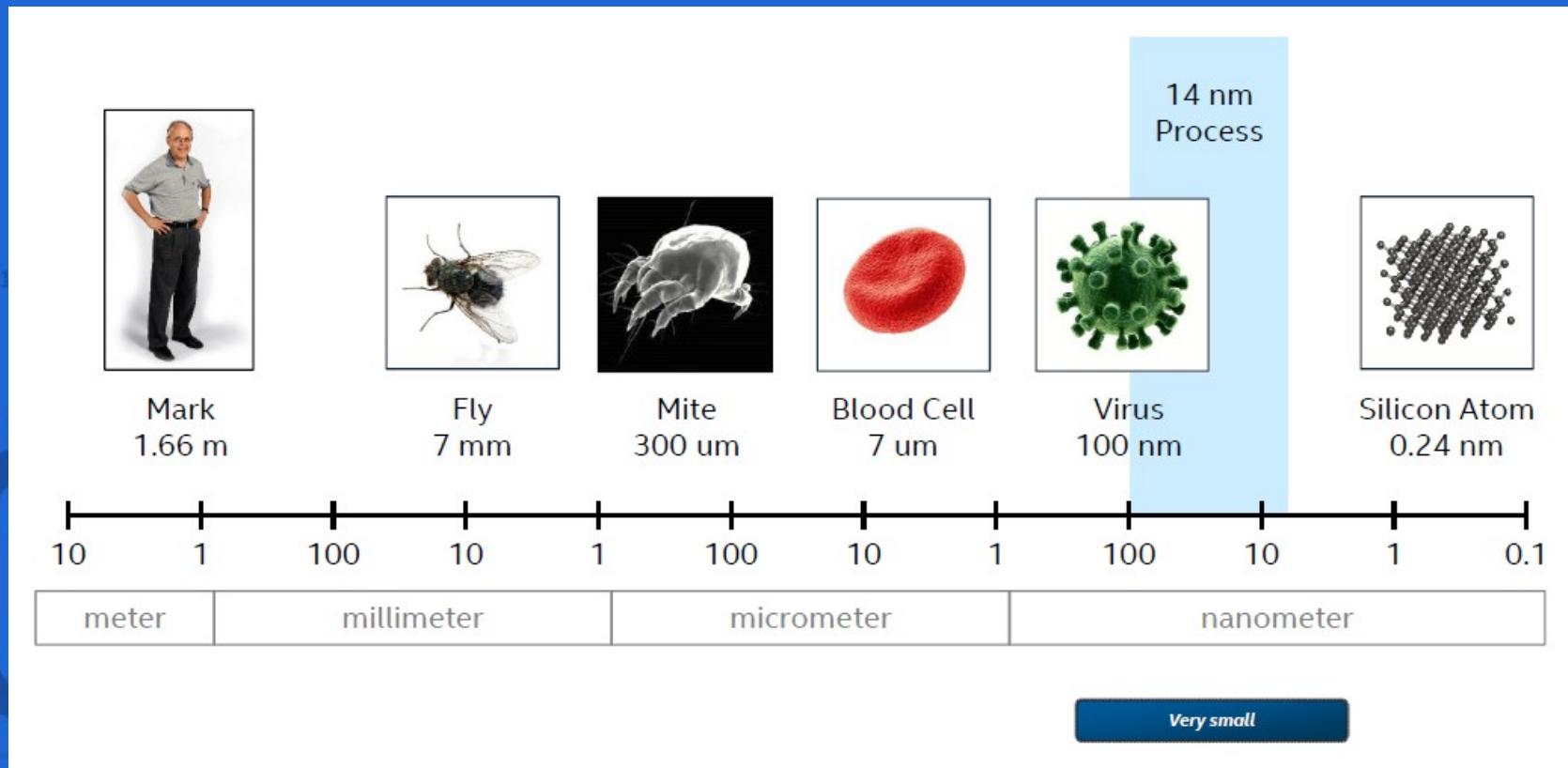
Scaled transistors provide:

- Higher performance
- Lower power
- Lower cost per transistor

Moore's Law continues!

IDF14

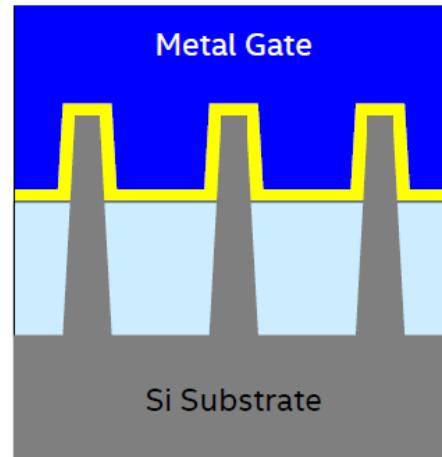
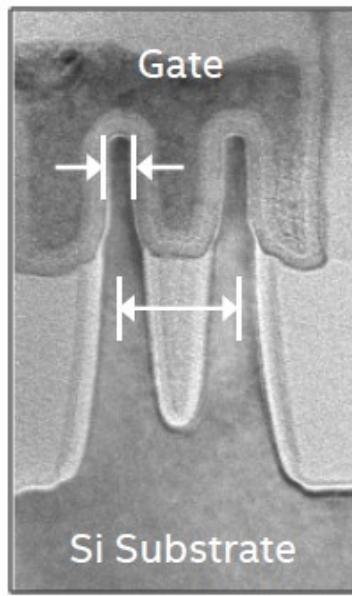
ile to jest 14 nm?



14 nm tranzystor tri-gate

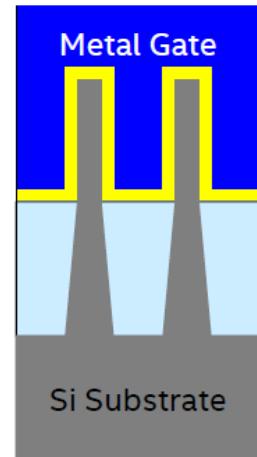
8 nm Fin Width

42 nm Fin Pitch



22 nm Process

1st generation Tri-gate



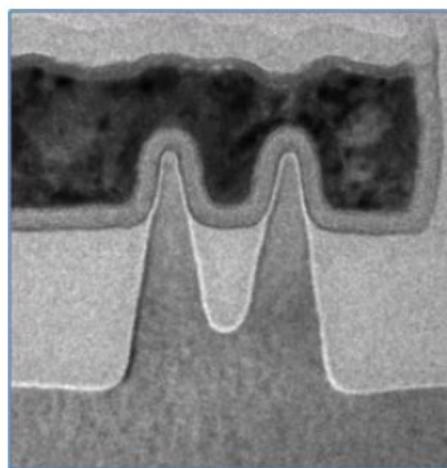
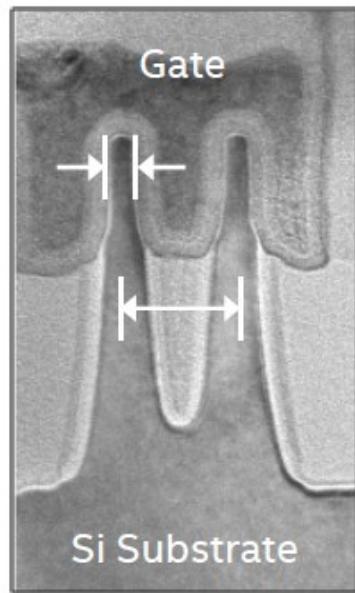
14 nm Process

2nd generation Tri-gate

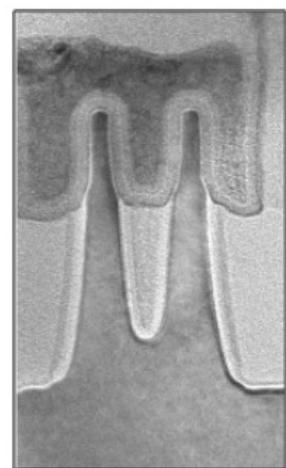
14 nm tranzystor tri-gate

8 nm Fin Width

42 nm Fin Pitch



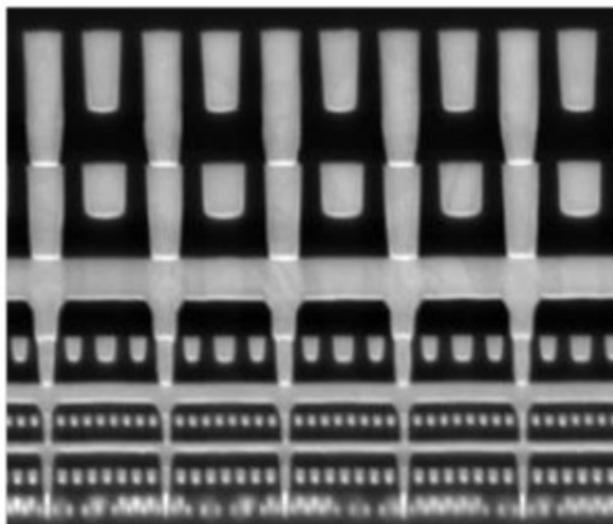
1st generation Tri-gate



2nd generation Tri-gate

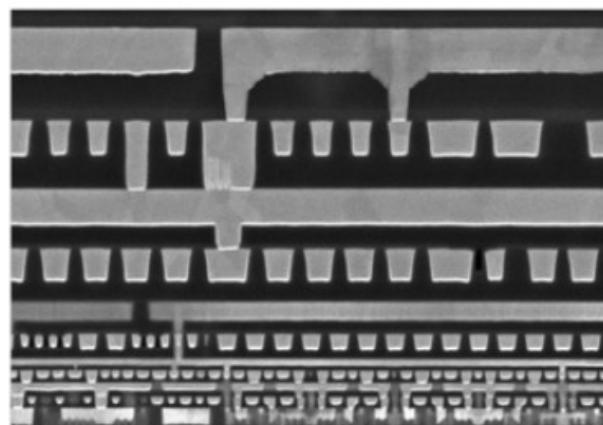
Złącza

22 nm Process



80 nm minimum pitch

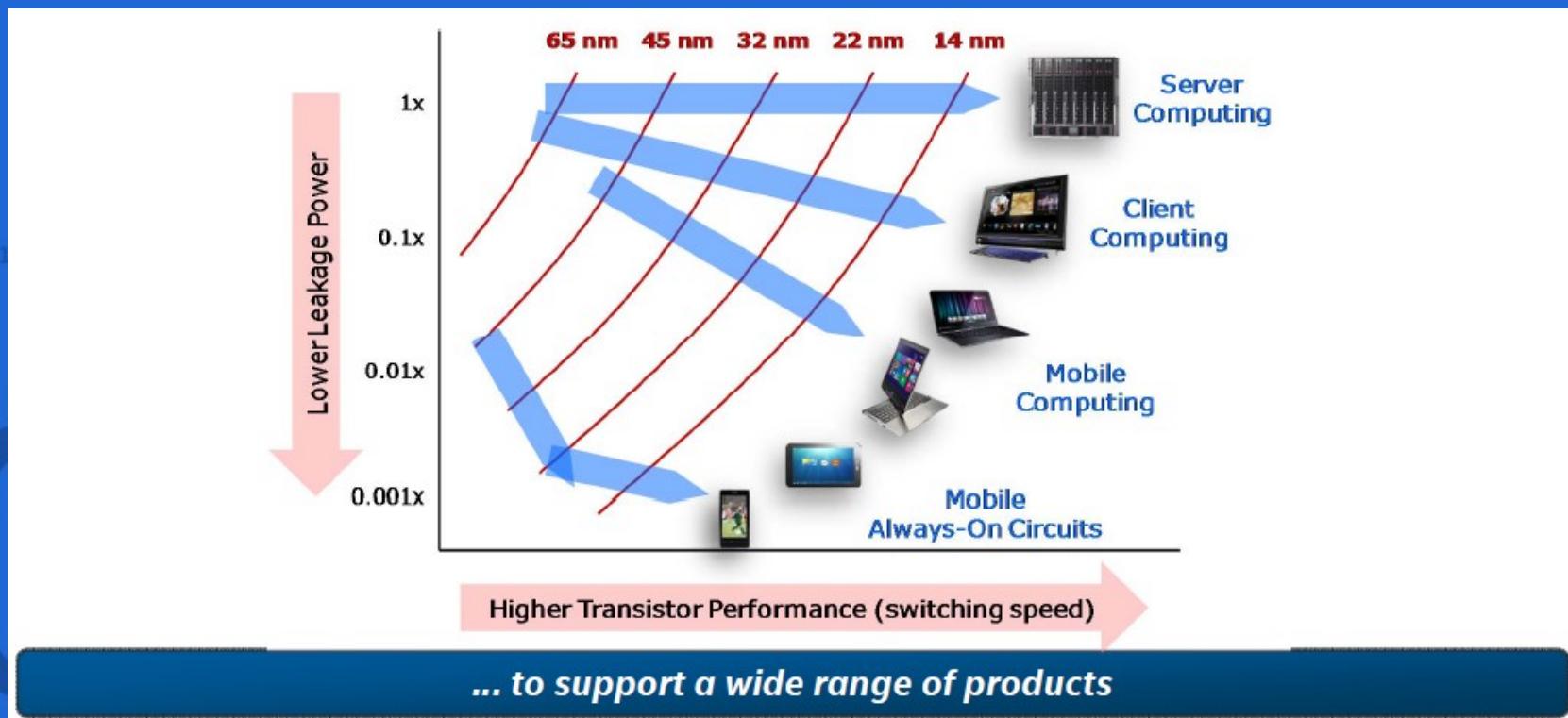
14 nm Process



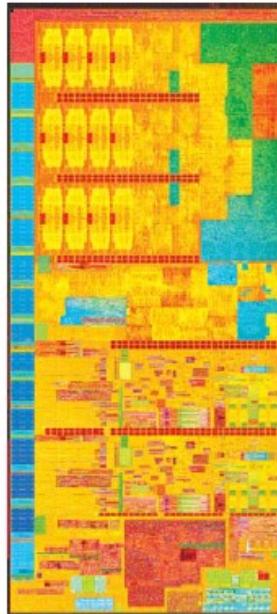
52 nm (0.65x) minimum pitch

52 nm interconnect pitch provides better than normal interconnect scaling

Osiągi



14 nm Intel Core M

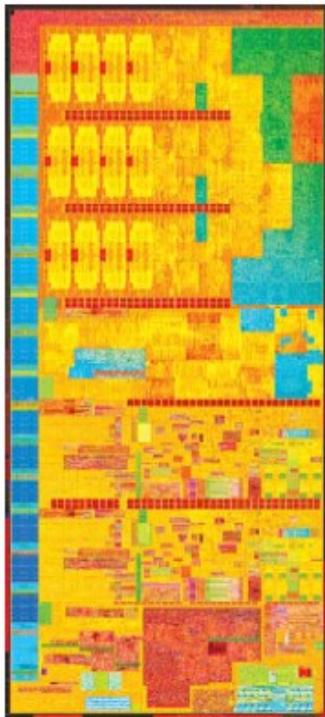


1.3 billion transistors

82 mm² die size

Industry's first 14 nm processor now in volume production

14 nm Intel Core M



- Real Performance
 - Up to 50% faster CPU performance vs. previous generation¹
 - Up to 40% faster graphics performance vs. previous generation²
- Longer Battery Life
 - Power sipping 4.5W processor
- No Fan
 - 60% reduction in thermal design point (TDP)³
- A Conflict-Free Choice
 - Intel® Core™ M is a “conflict-free” product⁴

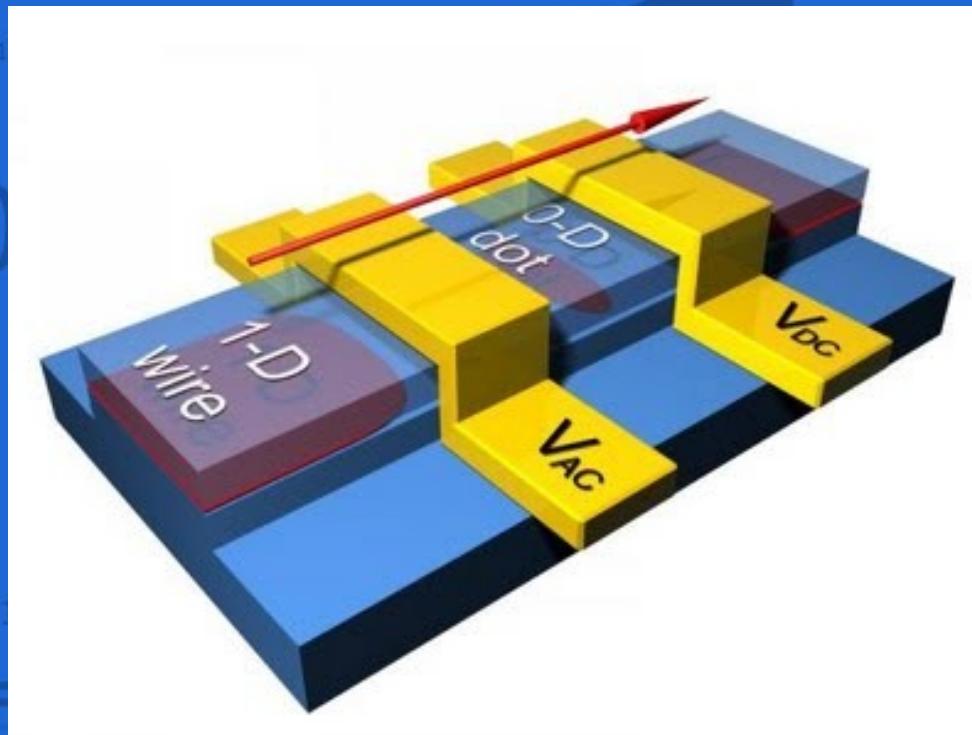
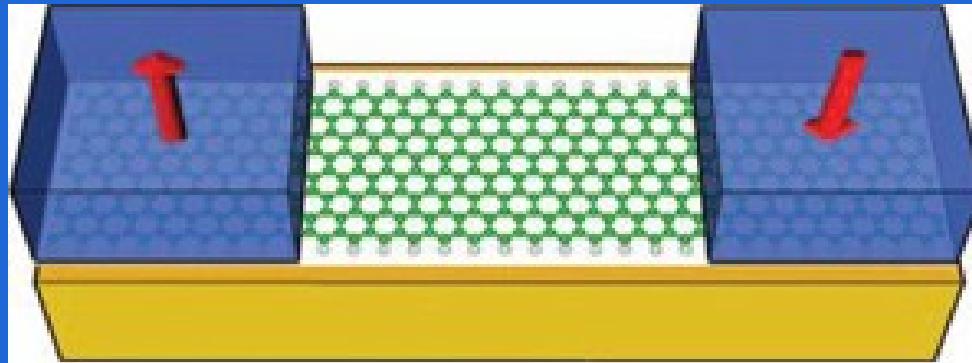
¹ Source: Intel; Based on SPECfp_rate_base2006. System configurations in backup.

² Source: Intel; 3DMark® IceStorm Unlimited v 1.2. System configurations in backup.

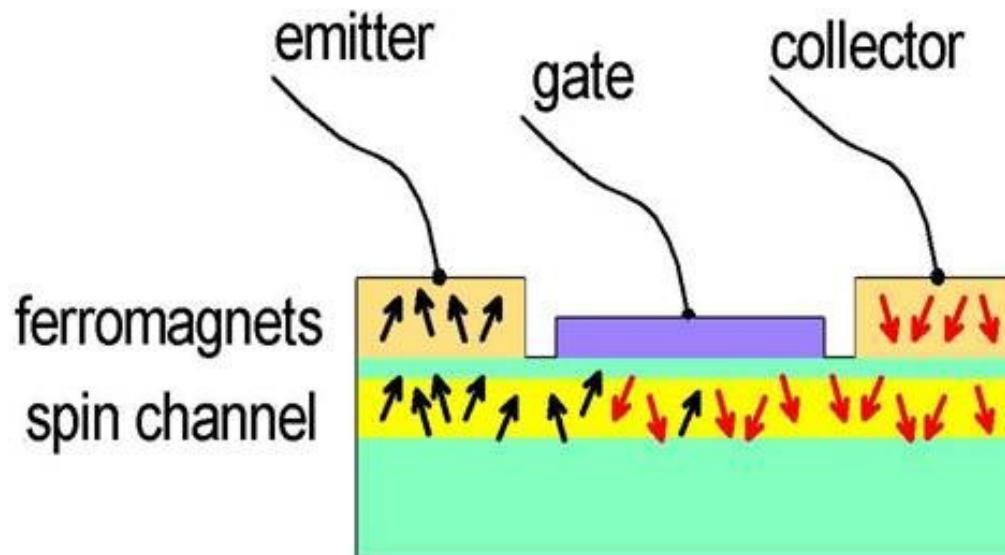
³ Intel has reduced our thermal design power from 18W in 2010 to 11.5W in 2013 to 4.5W with the new Intel Core M processor. That's a 4X reduction over 4 years and a 60% reduction year over year.

⁴ “Conflict-free” means “DRC conflict-free”, which is defined by the Securities and Exchange Commission rules to mean products that do not contain conflict minerals (tin, tantalum, tungsten and/or gold) that directly or indirectly finance or benefit armed groups in the Democratic Republic of the Congo (DRC) or adjoining countries.

Sci-fi: grafenowa spintronika



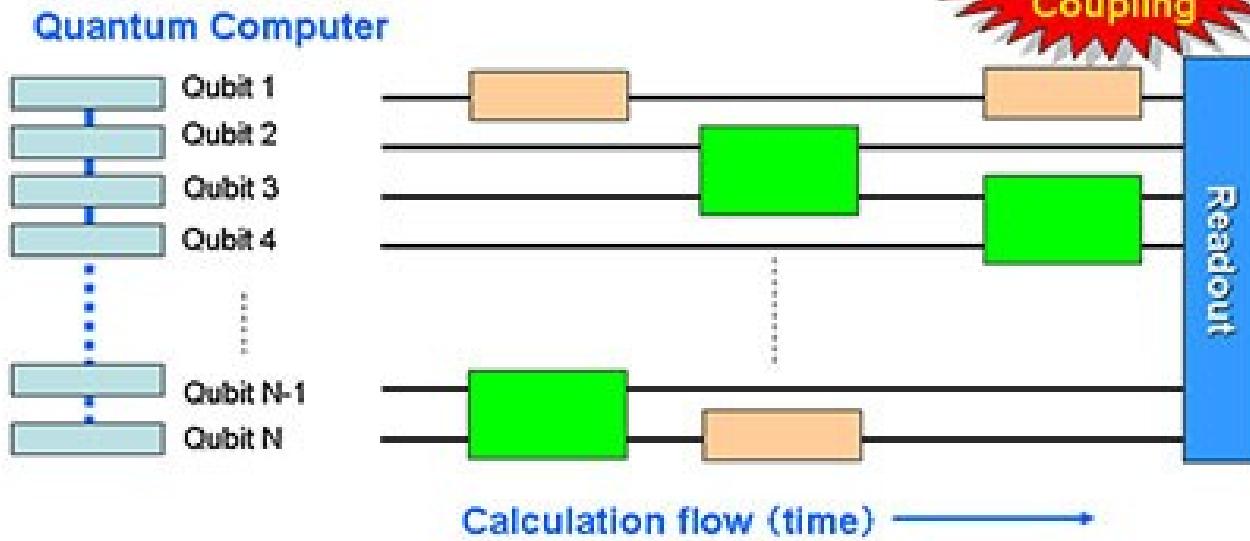
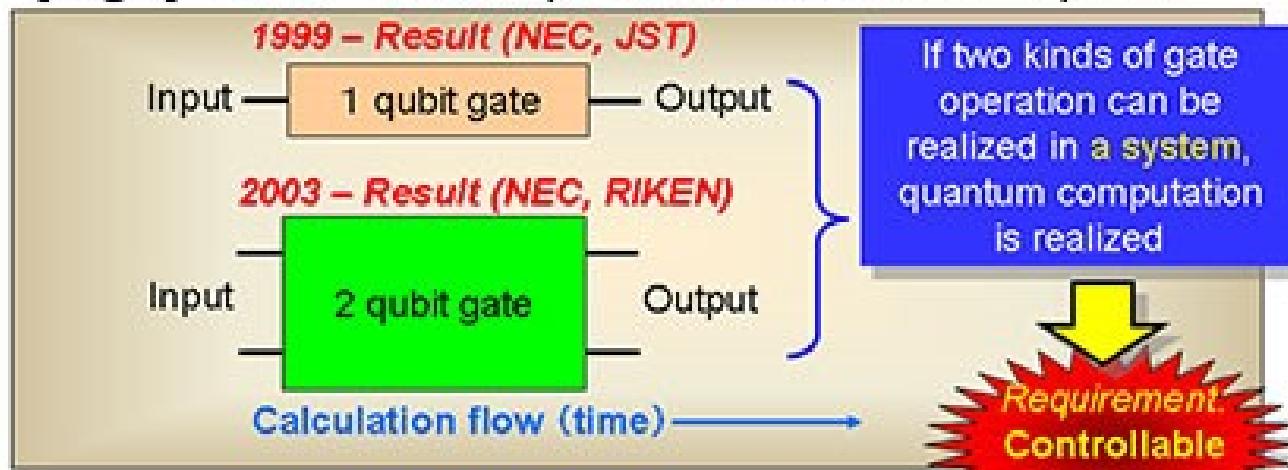
Sci-fi: Spintronika



SPIN TRANSISTOR

Sci-fi: komputery kwantowe

[Fig1] Basic Concept of Quantum Computer



Sci-fi: komputery kwantowe

Dwie strategie łamania skomplikowanego szyfru

Komputer typu PC

Komputer otrzymuje skomplikowane dane wejściowe (szyfr)

Komputer sprawdza każdą z kombinacji znaków po kolei, jedna po drugiej.



Komputer kwantowy

Komputer otrzymuje skomplikowane dane wejściowe (szyfr)

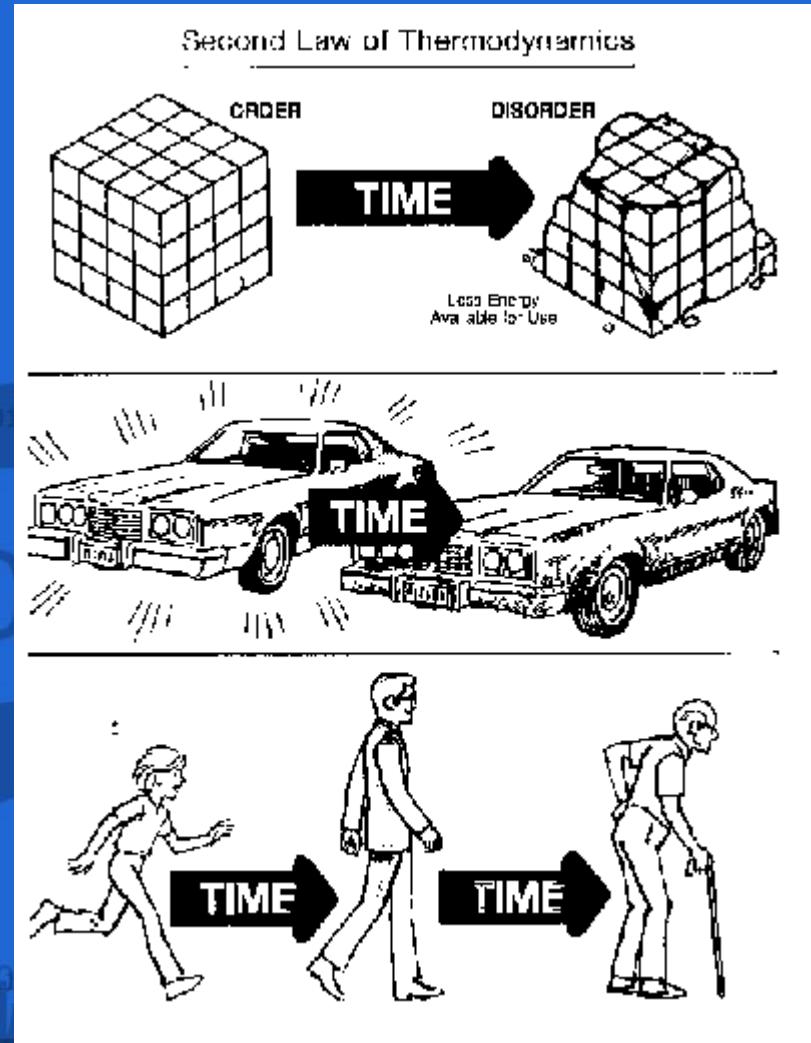
Komputer sprawdza jednocześnie wiele kombinacji znaków.



II zasada termodynamiki

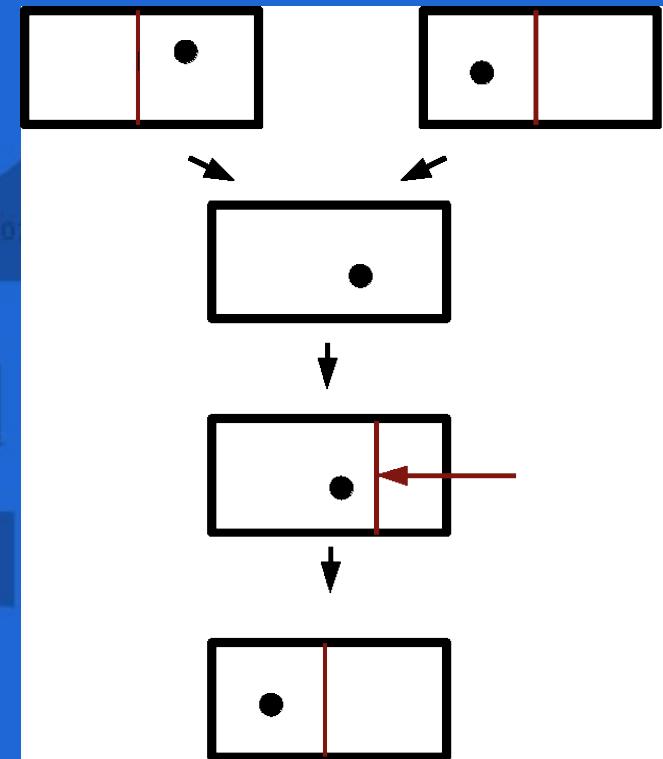
II zasada termodynamiki stwierdza, że wielkość fizyczna zwana entropią (wyrażająca stopień nieuporządkowania układu) w układach izolowanych może pozostawać stała lub rosnąć, lecz nie może samoczynnie maleć. Nie można zatem zbudować perpetuum mobile.

Z drugiej strony, II zasada termodynamiki stwierdza również nieodwracalność wielu procesów fizycznych, dzięki czemu zmiany entropii można traktować jak strzałkę czasu



Zasada Landauera

R. Landauer wykazał w 1961 r., że wymazanie 1 bitu informacji w temperaturze T wymaga dyssypacji energii (wydzielenia ciepła) ($kT \ln 2$), a więc jest procesem nieodwracalnym.



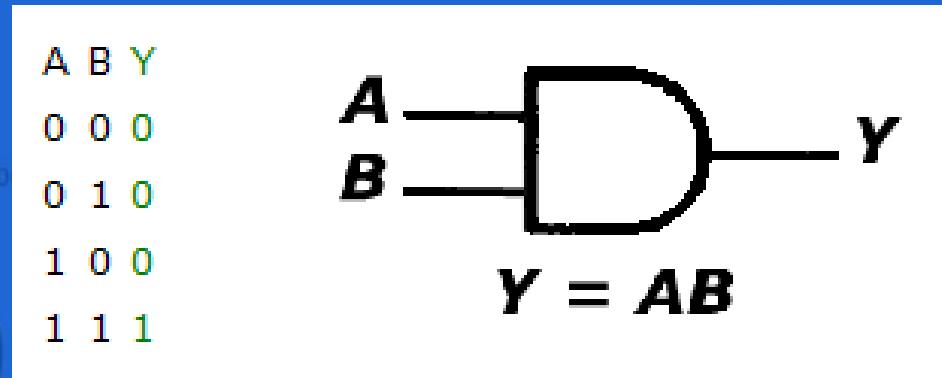
Odwracalność obliczeń

Miniaturyzacja klasycznych układów półprzewodnikowych ma swoją fizyczną granicę wyznaczaną przez zasadę Landauera – ciepło wydzielane w trakcie kasowania informacji w bramce o zbyt małych rozmiarach może ją spalić.

Bramki w technologii CMOS wydzielają obecnie ok. 108 kT (ok $4 \times 10^{-13} \text{ J}$) na każde przełączenie, gdyby więc udało się uzyskać odwracalność logiczną i fizyczną bramek, procesor nie wydzielałby w ogóle ciepła (pomijając prądy upływu)!

Nieodwracalność klasycznych bramek

Klasyczne bramki logiczne używane współcześnie do wykonywania obliczeń są zwykle **bramkami nieodwracalnymi**. Oznacza to, że np. bramka NAND:



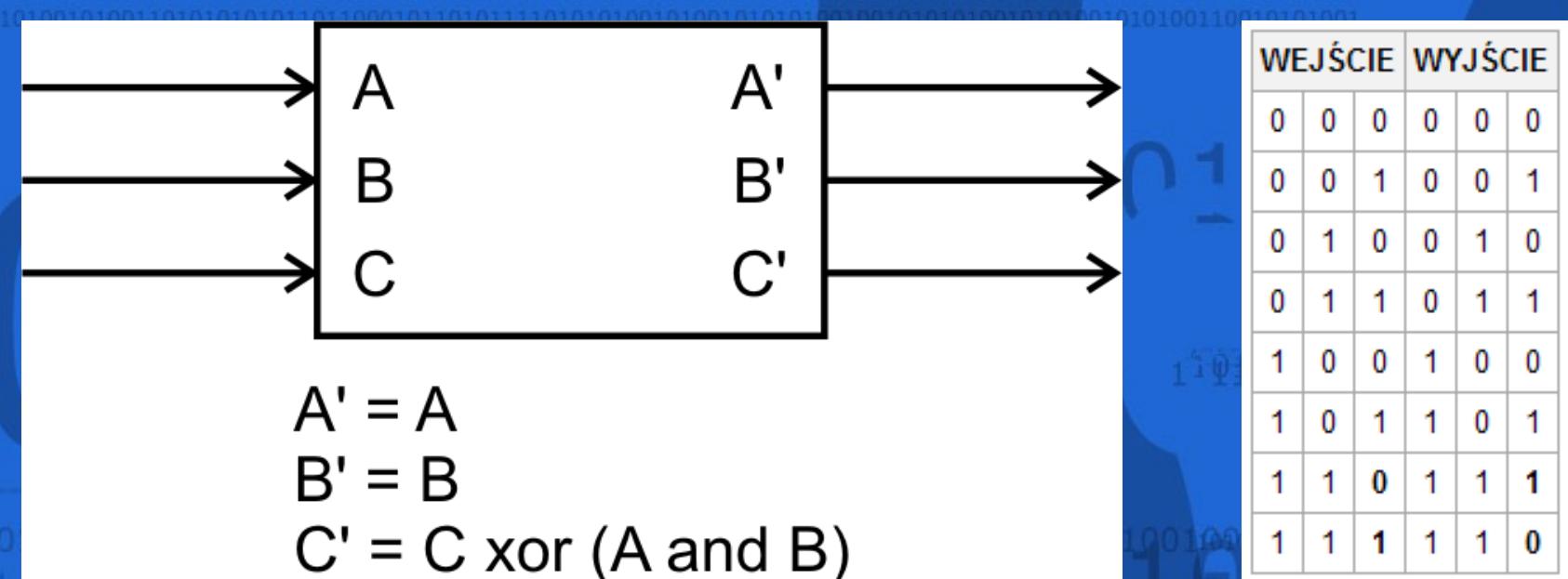
przyjmuje 2 bity wejściowe i produkuje 1 bit wyjściowy, ale odwzorowanie to nie jest jednoznaczne: na podstawie stanu wyjścia bramki nie można odtworzyć jej stanu wejściowego (**nieodwracalność logiczna**). **Nieodwracalność fizyczna** wynika z niemożności elektryczznego zamienienia styków wejściowych i wyjściowych.

Nieodwracalność obliczeń

Zgodnie z zasadą Landauera, w trakcie pracy bramki NAND tracimy średnio 1 bit informacji (spośród czterech stanów wejściowych mogą być rozpoznane co najwyżej dwa), tak więc do przełączania bramki wymagana jest energia co najmniej ($kT \ln 2$). Jeśli więc bramka dołączona jest do baterii o skończonej pojemności, istnieje teoretyczna granica nieprzekraczalnego czasu wykonywania obliczeń.

Odwrocalna bramka Toffoliego

Odwrocalna wersja uniwersalnej bramki logicznej to **bramka Toffoliego**. Przy jej pomocy można zrealizować dowolną funkcję logiczną.



Kwantowa logika binarna - kubity

Klasyczny bit może przyjmować tylko dwie wartości $\{0, 1\}$ (<{orzeł,reszka}, {TAK,NIE}).

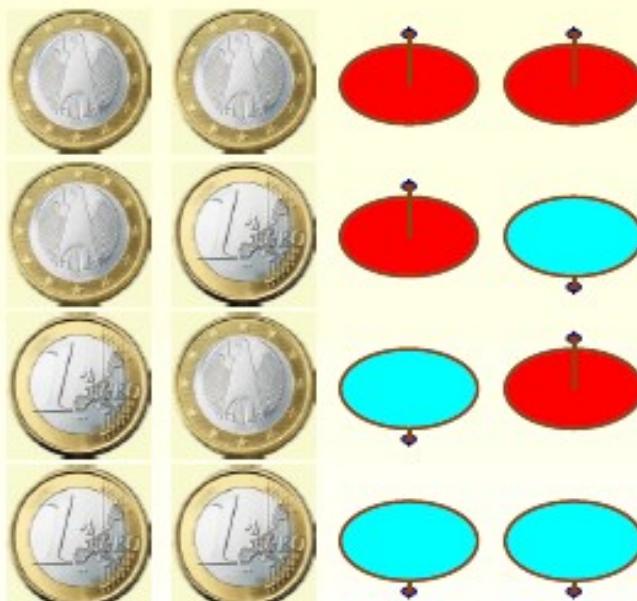
Układ znajduje się albo w stanie 0 (orzeł,TAK) albo w stanie 1 (reszka,NIE).

Kwantowym odpowiednikiem klasycznego bitu jest dowolny układ dwustanowy: dwa poziomy atomu, spin połówkowy, foton o dwóch wzajemnie ortogonalnych stanach polaryzacji, itp.

Taki układ to **qubit** (quantum bit); po polsku **kubit**.

Rejestry kwantowe

Rzucając dwie monety możemy uzyskać cztery różne rezultaty:



Rejestry kwantowe

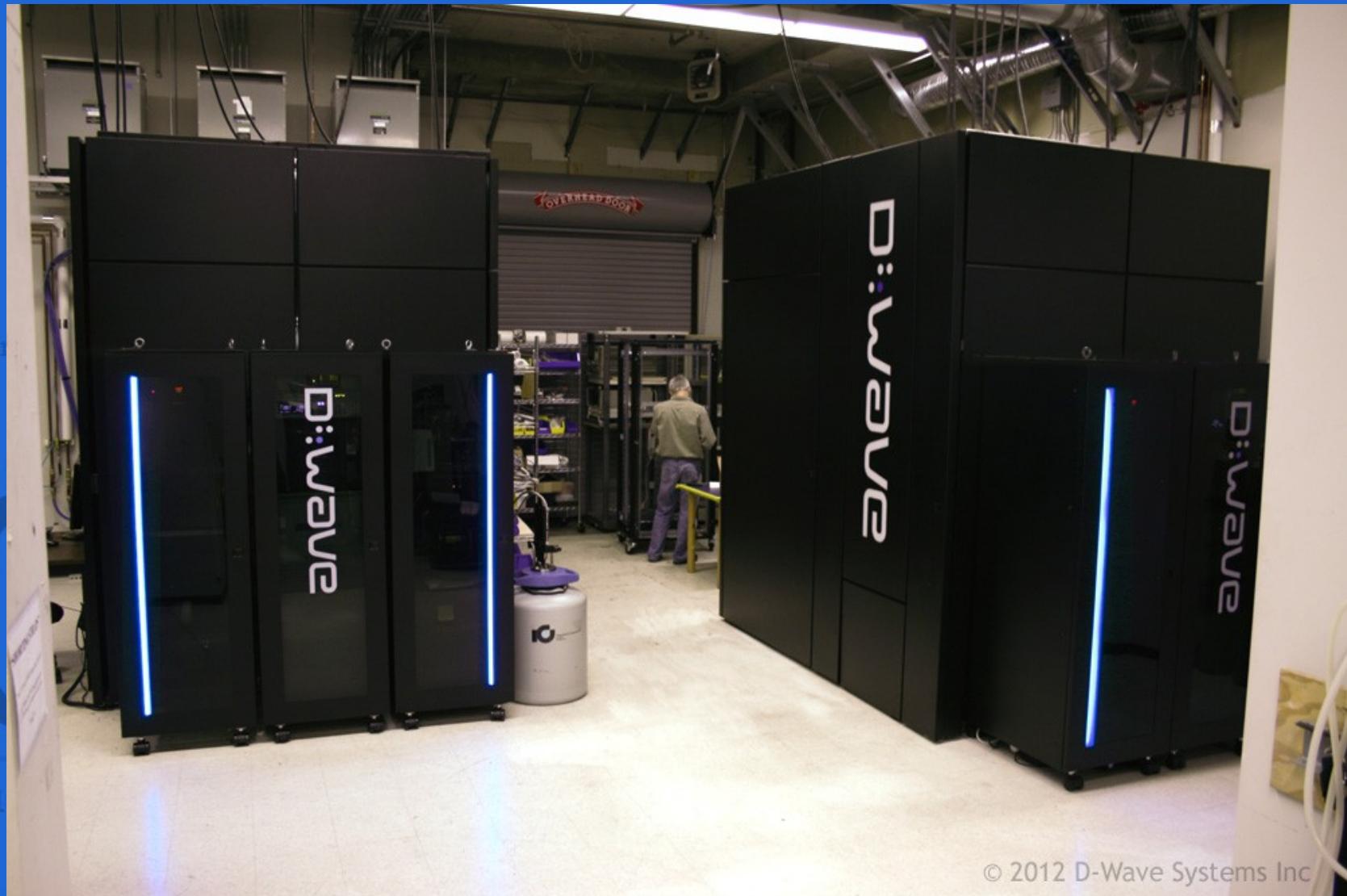
Klasycznie na przechowanie czterech liczb potrzebujemy **czterech** rejestrów dwubitowych — każda liczba w innym rejestrze.

Gdybyśmy dysponowali rejestrem kwantowym złożonym z N kubitów, to moglibyśmy przechować w takim rejestrze 2^N liczb!

Przy $N = 300$ liczba ta przekraczałaby liczbę atomów we wszechświecie!

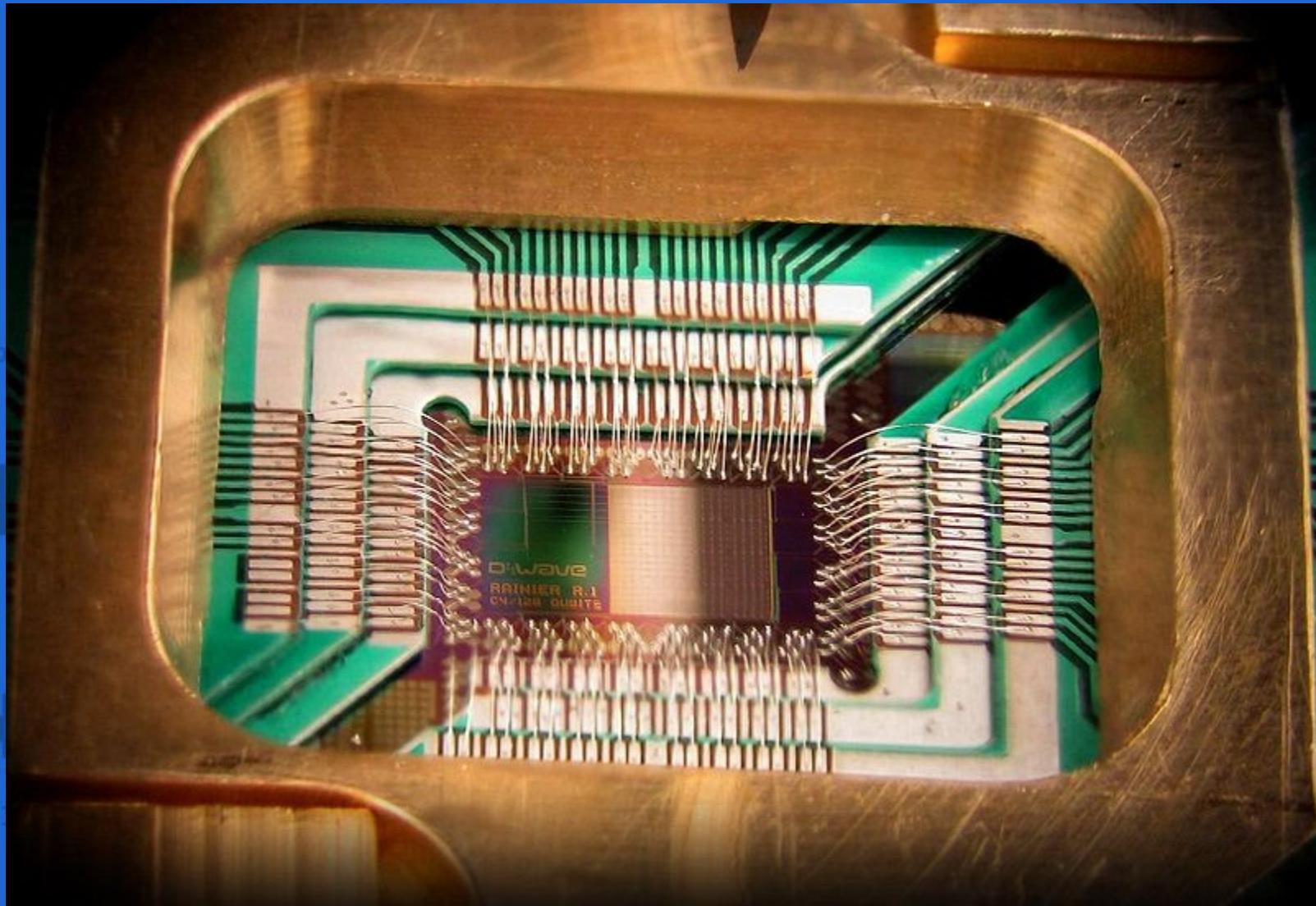
Komputer kwantowy wykonuje operacje na całym rejestrze, czyli na wszystkich 2^N liczbach jednocześnie. Nazywa się to **kwantowym parallelizmem**.

Komputer kwantowy D-Wave



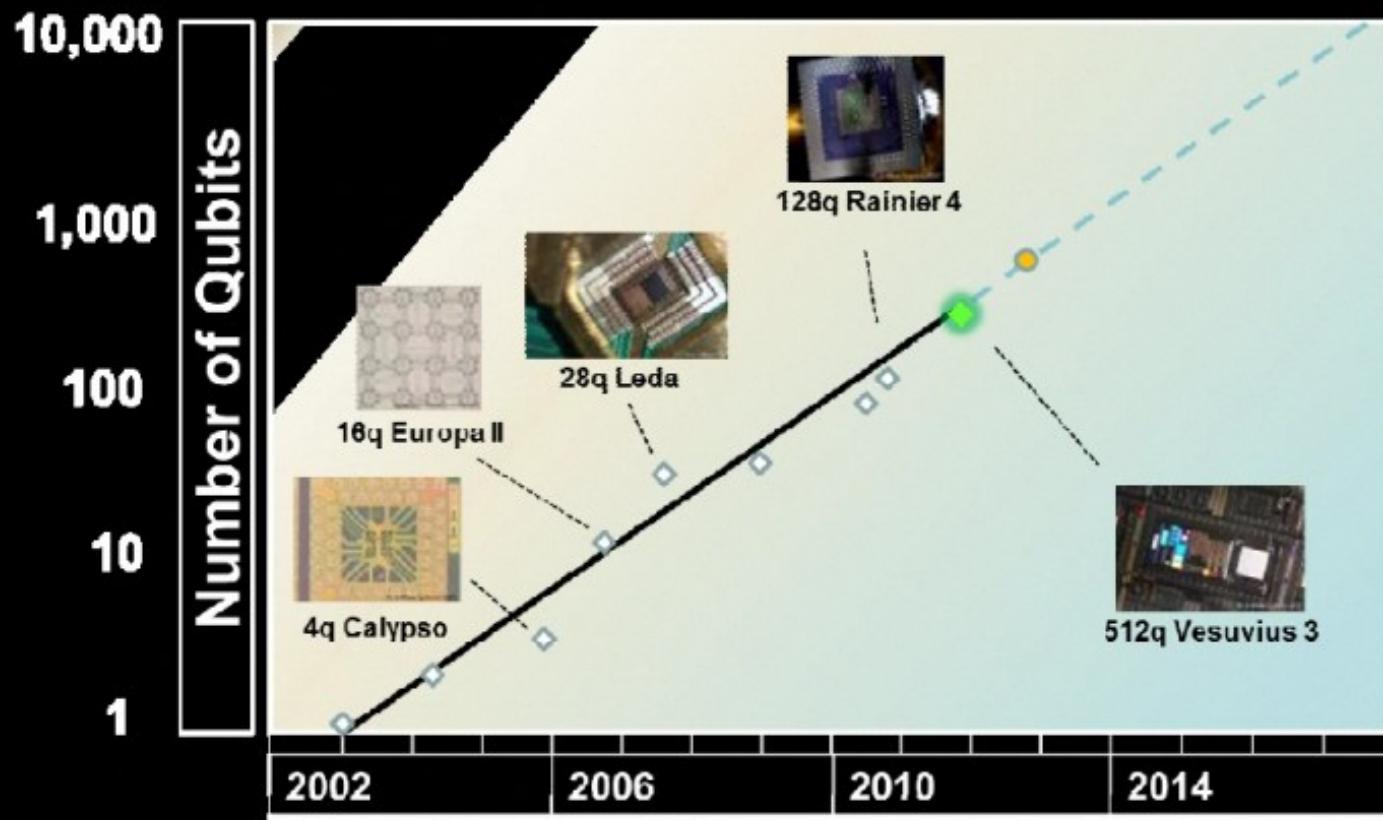
© 2012 D-Wave Systems Inc

Procesor kwantowy



Procesory kwantowe

The evolution of an idea



Po co to wszystko?!

The Old World



- Physically big - lots of cooling
- Often plugged in

The New World



- Smaller, thinner, lighter – much less cooling
- May have smaller voltage regulators

Po co to wszystko?!

