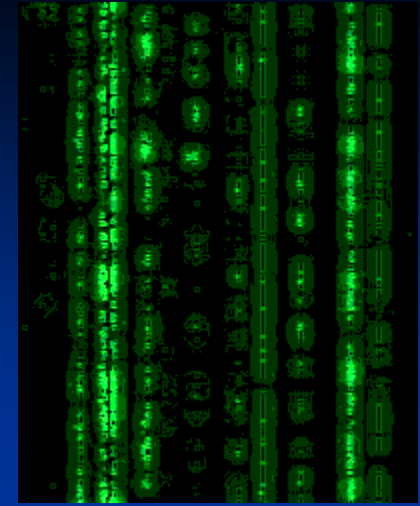


```
0100110010111001  
1011001101000110  
0010100010101101  
1110101101000101
```



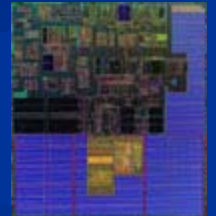
ΗΜΥ 100 – Χειμερινό Εξάμηνο 2006

# Ο Κόσμος των Ψηφιακών Συστημάτων

Χάρης Θεοχαρίδης

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και  
Μηχανικών Υπολογιστών

Πανεπιστήμιο Κύπρου



SCHOOL OF ENGINEERING  
University of Cyprus



Electrical & Computer Engineering



# To Microchip : Απανταχού παρών και (σχεδόν) τα πάντα πληρών:



Sources: Sony, Philips, McLaren Mercedes, Apple, Airbus, Lexus, Toshiba

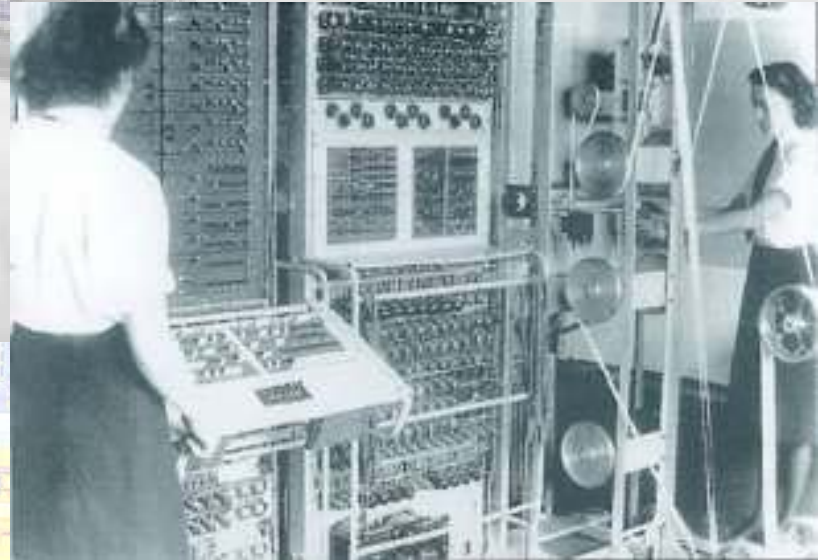


# Ο πρώτος Υπολογιστής του Κόσμου: Colossus

- ο Το Colossus δημιουργήθηκε στο Bletchley Park κατά τον WWII.

<http://www.bletchleypark.org.uk/>

- ο Το Bletchley Park εστία αποκωδικοποίησης Γερμανικών κωδικών τύπου Enigma
- ο Το Colossus δημιουργήθηκε για αποκρυπτογράφηση των Enigma codes.



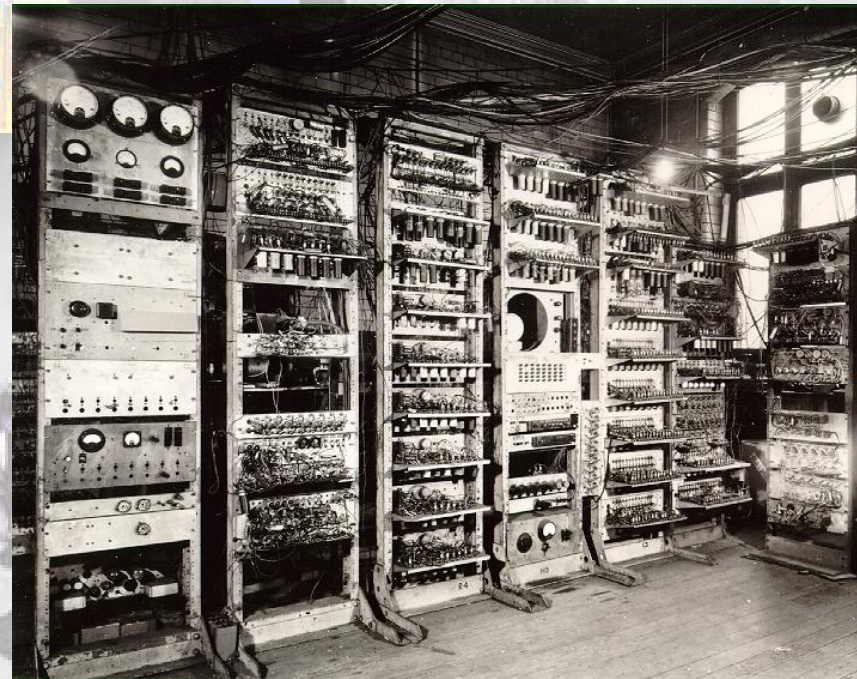
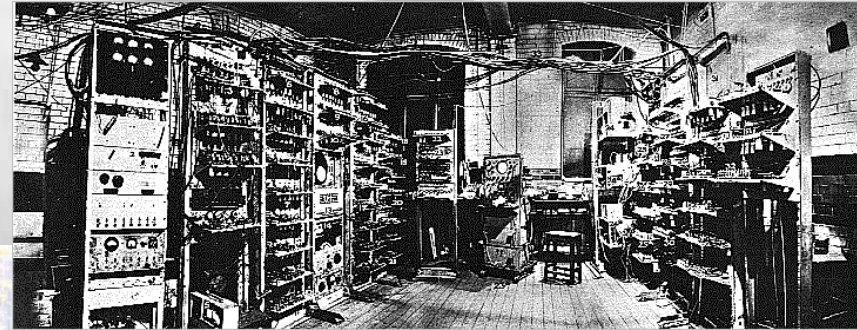
- ο Το Bletchley Park είναι σήμερα μουσείο, το οποίο εστιάζει μουσείο ιστορίας υπολογιστών καθώς επίσης και λειτουργικό αντίγραφο του Colossus.

Top the Colossus computer,  
Bottom left Bletchley Park and  
Bottom right an Enigma machine.  
<http://www.bletchleypark.org.uk/>



# Οι υπολογιστές στο Manchester μετά τον WWII Mark I

- ο Το Πανεπιστήμιο του Manchester πρόσφερε σημαντικά στην ανάπτυξη των πρώτων υπολογιστών. Ανέπτυξαν το πρώτο πρόγραμμα (αποθηκευμένο), υπολογιστή κινιτής υποδιαστολής, τον πρώτο υπολογιστή με βάση το transistor, και τον πρώτο υπολογιστή με “εικονική” μνήμη.



Right Images of Mark 1 the computer built at Manchester University after WWII

Above Kilburn and Williams at the Manchester Mark 1 Console  
<http://www.computer50.org/kgill/index.html>



# Το πρώτο πρόγραμμα Υπολογιστών

19/7/49 Kilburn Highest Factor Routine (amended)

function	C	26	26 <sup>2</sup>	27	line	01234	1345
-24 to C	-G <sub>1</sub>	-	-	-	1	00011	010
← to 26			-G <sub>1</sub>		2	01011	110
-26 to C	G <sub>1</sub>				3	01011	010
← to 27			-G <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>	4	11011	110
-23 to C	a	T <sub>20</sub>	-G <sub>N</sub>	G <sub>N</sub>	5	11101	010
subr 27	a - G <sub>N</sub>				6	11011	001
Test					7	-	011
add 20 to G <sub>1</sub>					8	00101	100
subr. 26	T <sub>N</sub>				9	01011	001
← to 25		T <sub>N</sub>			10	10011	110
-25 to C					11	10011	010
Test					12	-	011
stop	0	0	-G <sub>N</sub>	G <sub>N</sub>	13		111
-26 to C	G <sub>N</sub>	T <sub>N</sub>	-G <sub>N</sub>	G <sub>N</sub>	14	01011	010
subr. 21	G <sub>N+1</sub>				15	10101	001
← to 27	G <sub>N+1</sub>			G <sub>N+1</sub>	16	11011	110
-27 to C	-G <sub>N+1</sub>				17	11011	010
← to 26			-G <sub>N+1</sub>	G <sub>N+1</sub>	18	01011	110
22 to G <sub>1</sub>		T <sub>N</sub>	-G <sub>N+1</sub>	G <sub>N+1</sub>	19	01101	000

20	-3	10111 etc
21	1	10000
22	4	00100

23	-a
24	G <sub>1</sub>

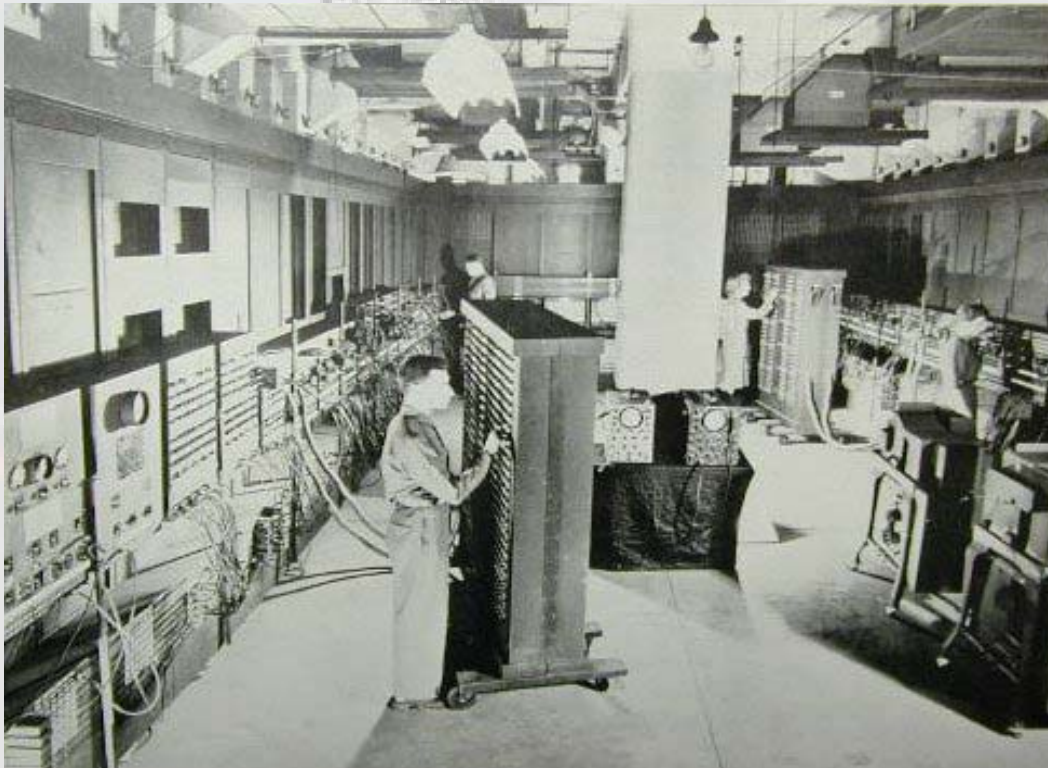
	init.	final
25	-	T <sub>N</sub> (50)
26	-	-G <sub>N</sub>
27	-	G <sub>N</sub>

or 10100



# ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer)

## U.S. Army Computer @ University of Pennsylvania



ο Ο ENIAC είχε γύρω στα 18,000 vacuum tubes, 70,000 resistors, 10,000 capacitors, και 6,000 switches.

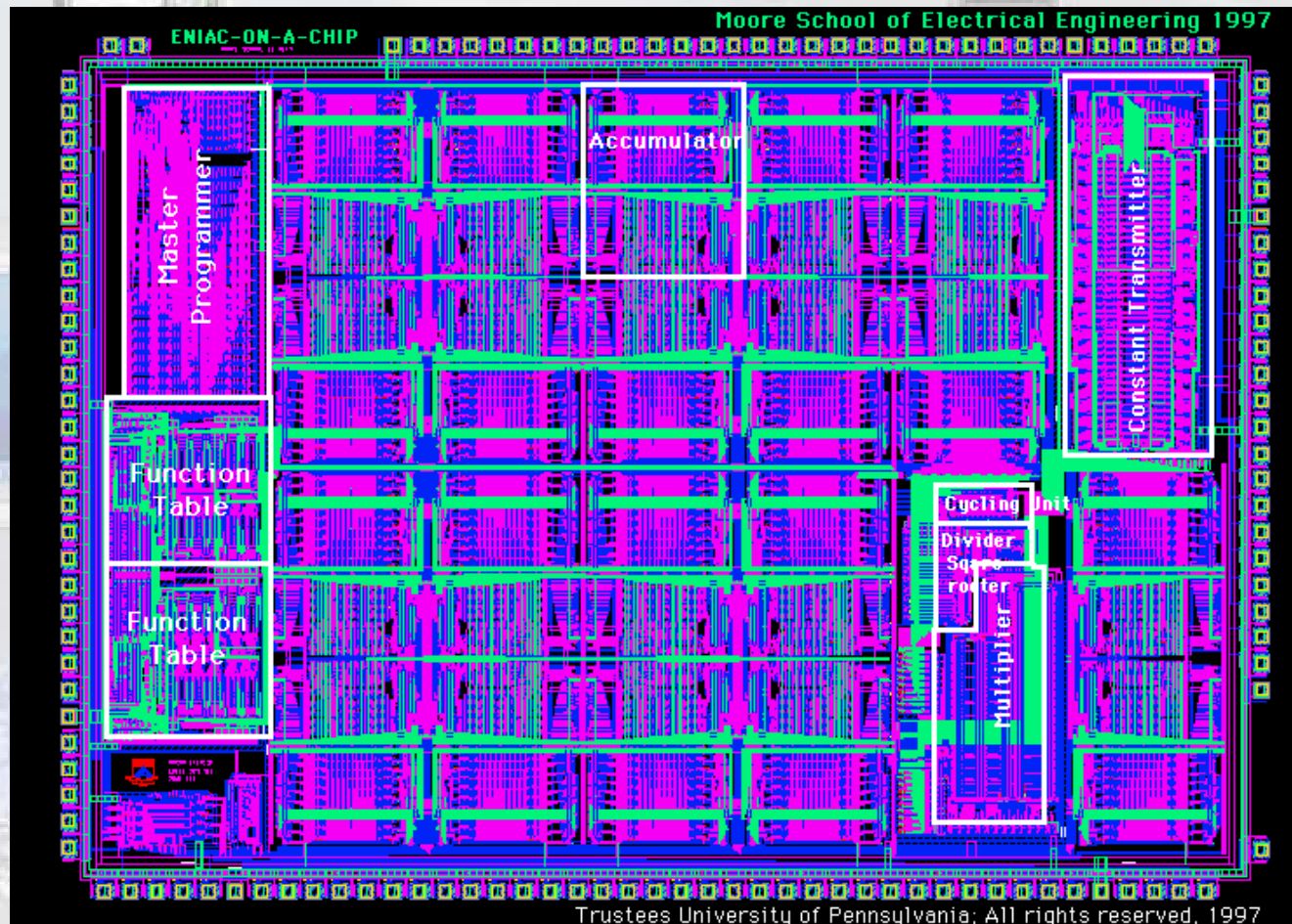
ο Είχε 33 μέτρα μήκος, 3 μέτρα ύψος, και 1 μέτρο βάθος. Κατανάλωνε 140 kilowatts power.



# ENIAC-on-a-Chip

Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania

<http://www.ee.upenn.edu/~jan/eniacproj.html>

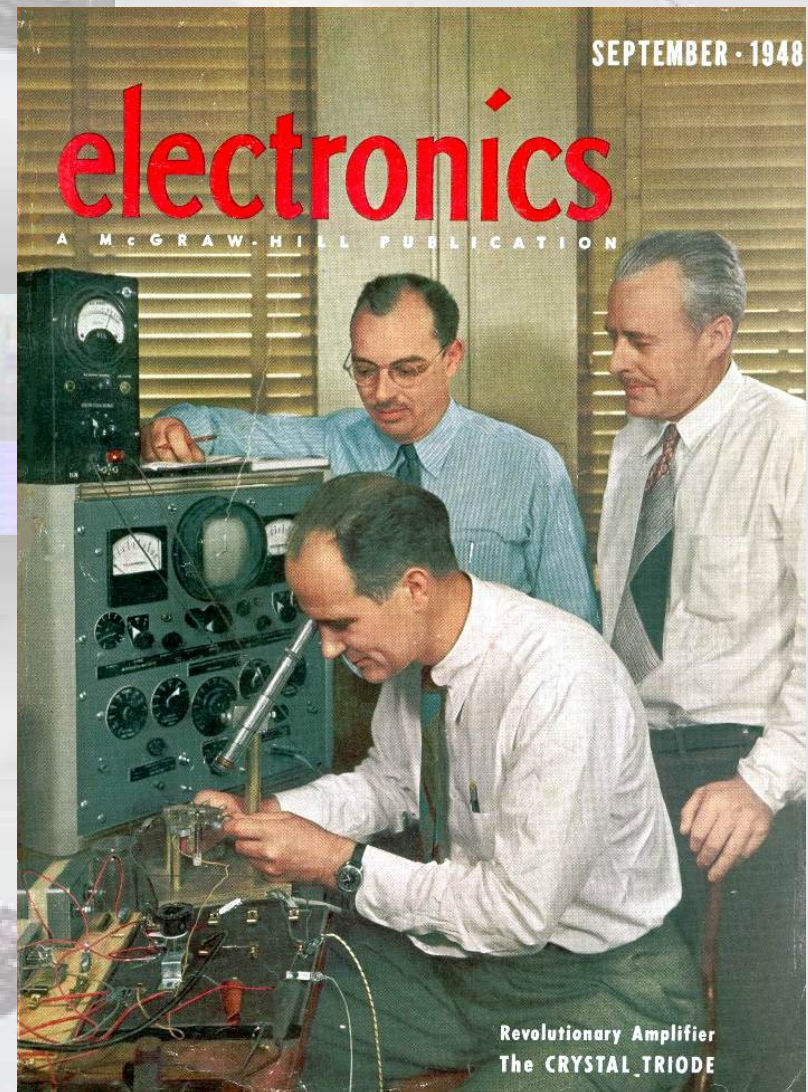


Size: 7.44mm x 5.29mm; 174,569 transistors; 0.5 um CMOS technology (triple metal layer).



# To Transistor

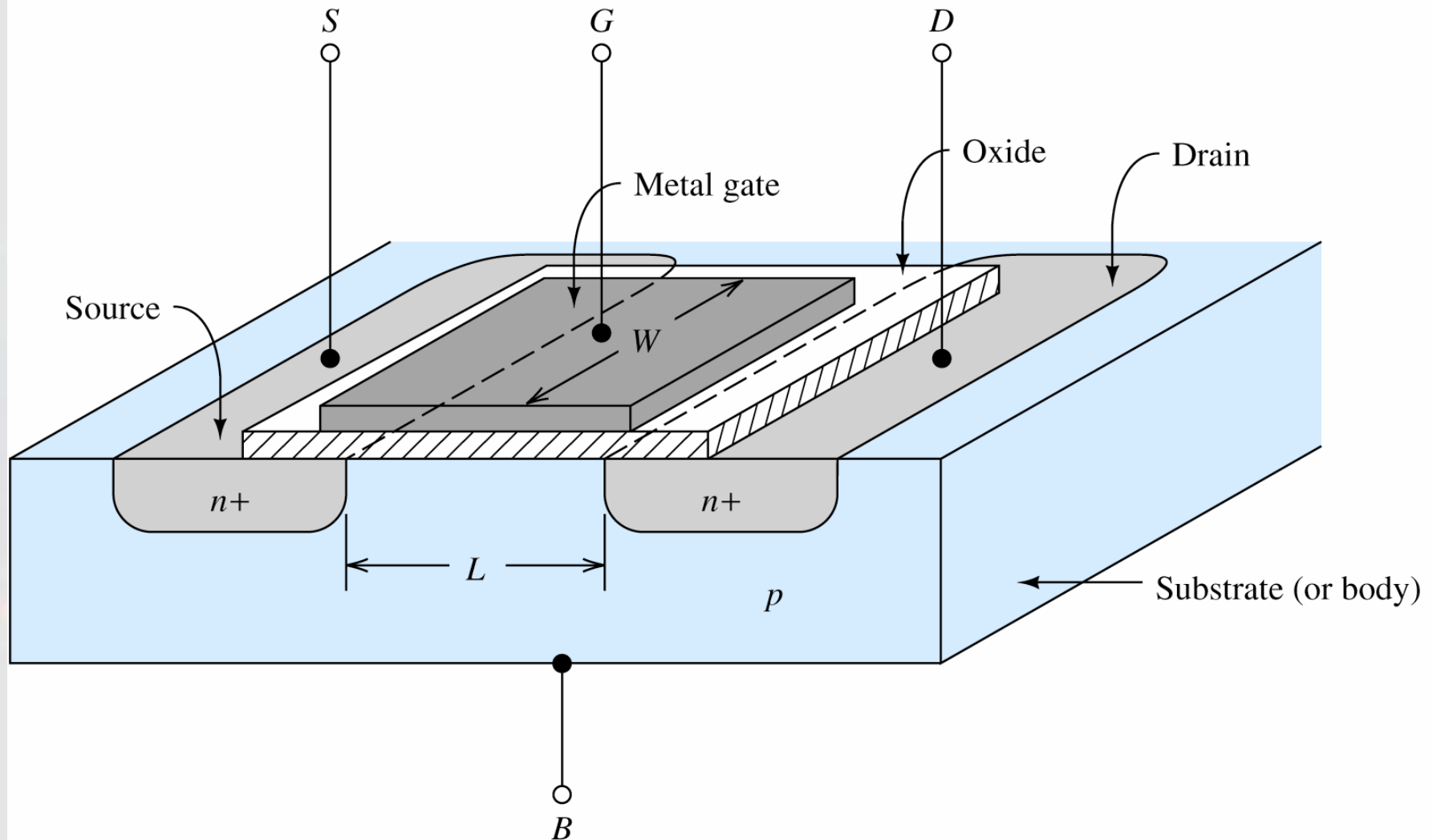
- Οι John Bardeen, Walter Brattain και William Shockley ανακαλύψανε το transistor effect και αναπτύξανε την πρώτη συσκευή τον Δεκέμβριο του 1947, όταν ήταν μέλη του τεχνικού προσωπικού των Bell Laboratories στο Murray Hill, NJ. Πήρανε το πρώτο βραβείο Nobel φυσικής το 1956.
- Σκοπός του ήταν η αντικατάσταση των μεγάλων και αναποτελεσματικών vacuum tubes και μηχανικών διακοπών, αργότερα όμως έφερε την επανάσταση στον χώρο των ηλεκτρονικών!







# Το Τρανζίστορ



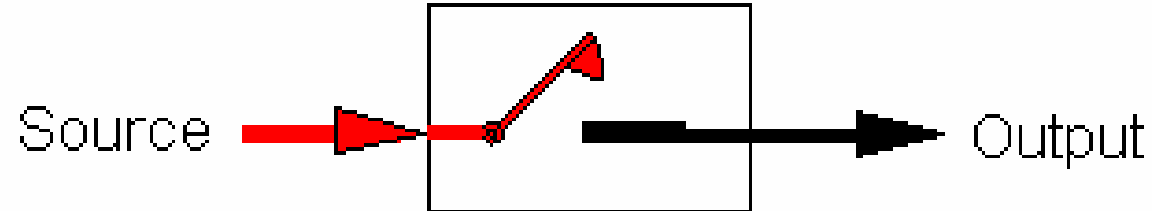
**Figure 12.1**  $n$ -channel enhancement MOSFET showing channel length  $L$  and channel width  $W$ .



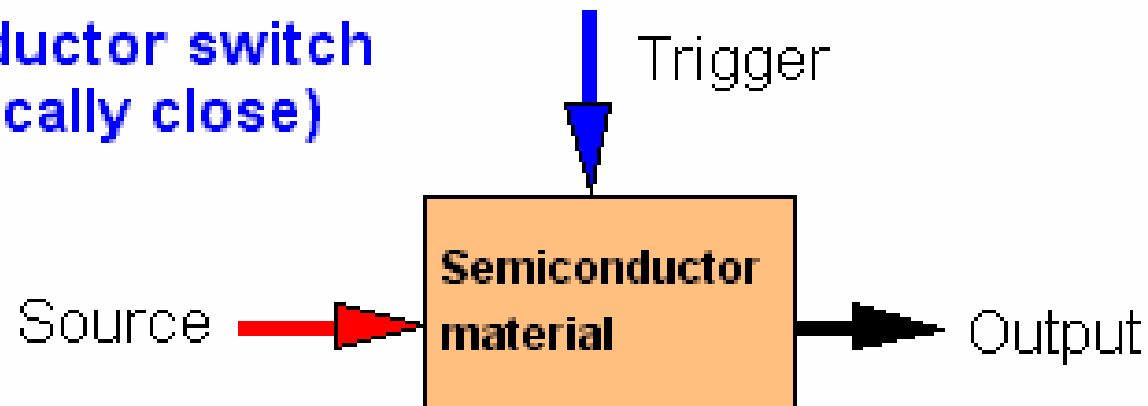
# Το Τρανζίστορ σαν Διακόπτης (switch)

From Computer Desktop Encyclopedia  
© 1998 The Computer Language Co. Inc.

## Mechanical switch (manually close)



## Semiconductor switch (electronically close)





# Intel Corporation - Ιστορία

- 1950's: Ο Shockley φεύγει από την Bell Labs και δημιουργεί τα Shockley Labs στην California. Μαζί του παίρνει μια ομάδα από τους κορυφαίους επιστήμονες, όπως οι Robert Noyce και Gordon Moore.
- 1969: Η Intel ξεκίνησε σαν μικρή εταιρία στην Santa Clara, με επικεφαλής τους Noyce και Moore.
- 1970: Η Busicom παρήγγειλε από την Intel μια σειρά από chips για υπολογιστικές μηχανές. Η Intel δεν είχε εμπειρία από σχεδίαση για ειδικές εφαρμογές, έτσι ανέπτυξε μια αρχιτεκτονική γενικής φύσεως (general-purpose).
- 1971: Η Intel αντιμετωπίζει σημαντικά προβλήματα με την τοποθέτηση αλγόριθμων στα chip και καθυστερεί στην παράδοση των συμφωνημένων.
- Faggin έρχεται στην Intel επιλύοντας τα προβλήματα μέσα σε λίγες βδομάδες.
- Το αποτέλεσμα είναι η Intel 4000 family (μετονομαζόμενη σε MCS-4, Microcomputer System 4-bit), αποτελούμενη από το 4001 (2k ROM), το 4002 (320-bit RAM), το 4003 (10-bit I/O shift-register) και το 4004, ένα 4-bit CPU.



# Intel 4004

- Με την εισαγωγή του το 1971, το Intel 4004 "Computer-on-a-Chip" είχε 2300 transistors και εκτελούσε μέχρι και 60,000 πράξεις ανά δευτερόλεπτο.
- Ήταν το πρώτο single-chip microprocessor περίπου την ίδια απόδοση με το 18,000 vacuum tube ENIAC. Το 4-bit Intel C4004 σε συχνότητα 108 KiloHertz.

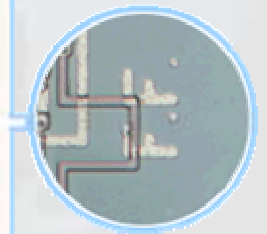
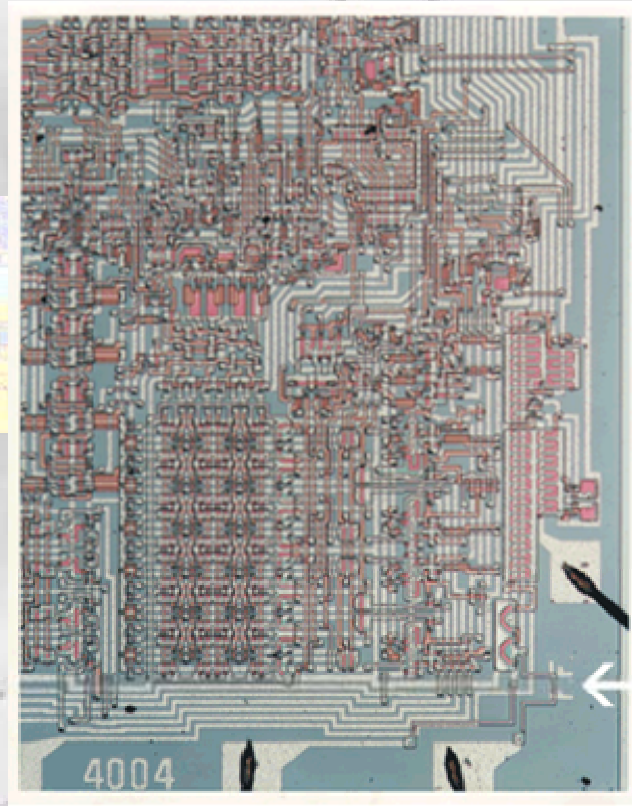
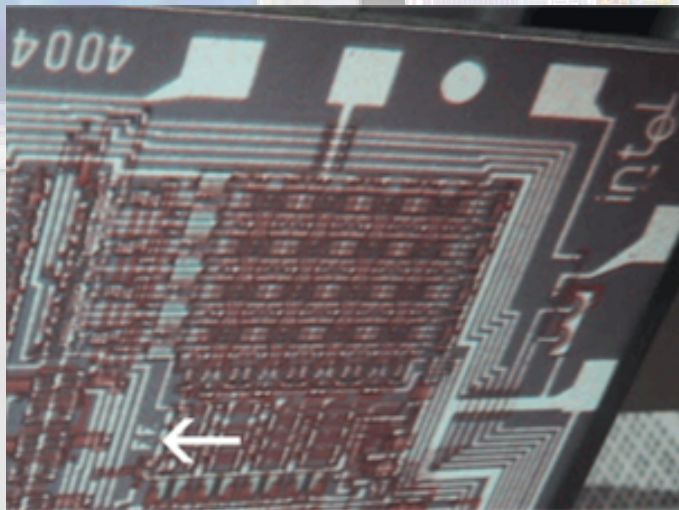




# The Intel 4004



**Fernando Faggin** designed the Intel 4004 processor. His initials were printed on the circuit.





# The Busicom Calculator

- To Busicom calculator χρησιμοποιούσε πέντε Intel 4001's, δύο 4002's, τρία 4003's και το 4004 CPU



The original engineering prototype of the Busicom desk-top printing calculator, the world's first commercial product to use a microprocessor.

<http://www.computerhistory.org/exhibits/highlights/busicom.shtml>



# Intel 8008

- 1972: Ο Faggin ξεκίνησε δουλειά πάνω σε ένα **8-bit processor**, το **Intel 8008**. Το πρωτότυπο είχε μεγάλα προβλήματα με διαρροές ηλεκτρικού φορτίου από τις συσκευές μνήμης. Πλέον η φυσική έπρεπε να συνδυαστεί με την σχεδίαση για επίλυση των προβλημάτων. Το 8008 ανασχεδιάζεται πλήρως και κυκλοφορεί.
- Αμέσως ξεσπά μεγάλο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη μικροεπεξεργαστών.
- Το Intel's 8008 επικροτείται, αλλά αυξάνονται η απαιτήσεις στην ταχύτητα, επικοινωνία με το περιβάλλον, και πιο πολλές εντολές και εισόδους δεδομένων. Η βελτιωμένη έκδοση από τον Faggin, είναι **8080**.
- Ο Faggin φεύγει από την Intel ξεκινώντας την **Zilog**, μετέπειτα παράγοντας το **Z80**.



# Fernando Faggin : Zilog

- Zilog παρήγαγε το 3.5MHz Zilog Z80 (δημοφιλές εκπαιδευτικός επεξεργαστής)
- ... και μετέπειτα, το 16-bit Z8000. Ακόμη ένα τρομερό design, αλλά η Zilog ήταν μικρή εταιρία, με λίγους υπαλλήλους και δεν μπορούσε να προσφέρει την υποστήριξη που πρόσφερε η Intel με δεκάδες χιλιάδες υπαλλήλους.

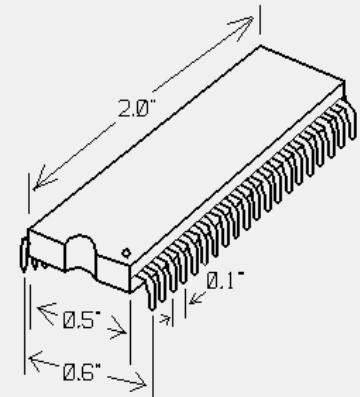
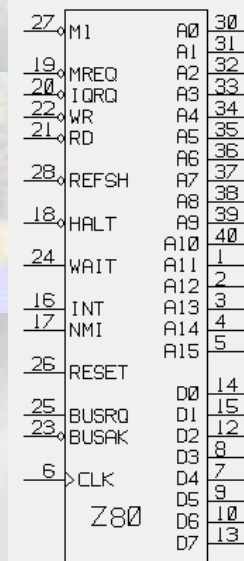






# The Zilog Z80

- ❑ The Z80 microprocessor is an 8 bit CPU with a 16 bit address bus capable of direct access of 64k of memory space.
- ❑ It was based on the 8080; it has a large instruction set.
- ❑ Programming features include an accumulator and six eight bit registers that can be paired as 3-16 bit registers. In addition to the general registers, a stack-pointer, program-counter, and two index (memory pointers) registers are provided.
- ❑ It had a 40 pin DIP package manufactured in A, B, and C models, differing only in maximum clock speed. It was also manufactured as a stand-alone microcontroller with various configurations of on-chip RAM and EPROM.
- ❑ It proves useful for low cost control applications.





# Τα πρώτα Microcontrollers

- 1974: Η **Motorola** (αρχικά κατασκευαστές ραδιόφωνων) εισήγαγε τα τρανζίστορς στα 1950s και αποφάσισε να μπει αργά αλλά δυναμικά στην αγορά. Ανακοίνωσαν το δικό τους 8-bit **6800** processor. Παρόλα τα προβλήματα με την παραγωγή, το 6800 ήταν καλοσχεδιασμένο.
- 1975: Η General Motors πλησιάζει την Motorola για ένα παράγωγο του 6800. Η πείρα της Motorola με κατασκευαστές αυτοκινήτων σπρώχνει και την Ford να ακολουθήσει.
- 1976: Η Intel εισάγει το δικό της 8-bit microcontroller, το MCS-48. Παράγουν 251,000.
- 1980: Η Intel εισάγει το **8051**, ένα 8-bit microcontroller με on-board EPROM memory. Παράγουν 22 εκατομμύρια και 91 εκατομμύρια το 1983.



# Τα πρώτα Computer Games

- 1972: Η βιομηχανία βιντεοπαιχνιδιών είναι πλέον γεγονός, αφού ο Nolan Bushnell ξεκινά την Syzygy, μετονομαζόμενη σε ATARI.
- Bushnell μελέτησε τα πρώτα 8-bit microprocessors και τα χρησιμοποιεί για παραγωγή παιχνιδιών.
- Η πρώτη του προσπάθεια, Computer Space, είναι 'too complicated' και αποτυγχάνει. Στην επόμενη του όμως αποφασίζει "build a game so mindless and self-evident that a monkey or its equivalent (a drunk in a bar) could instantly understand it".
- Παραδόξως, το PONG, το ηλεκτρονικό αντίστοιχο του Ping-Pong, έφερε μεγάλη επιτυχία.



Computer Space - the first arcade video game



# Early Computers

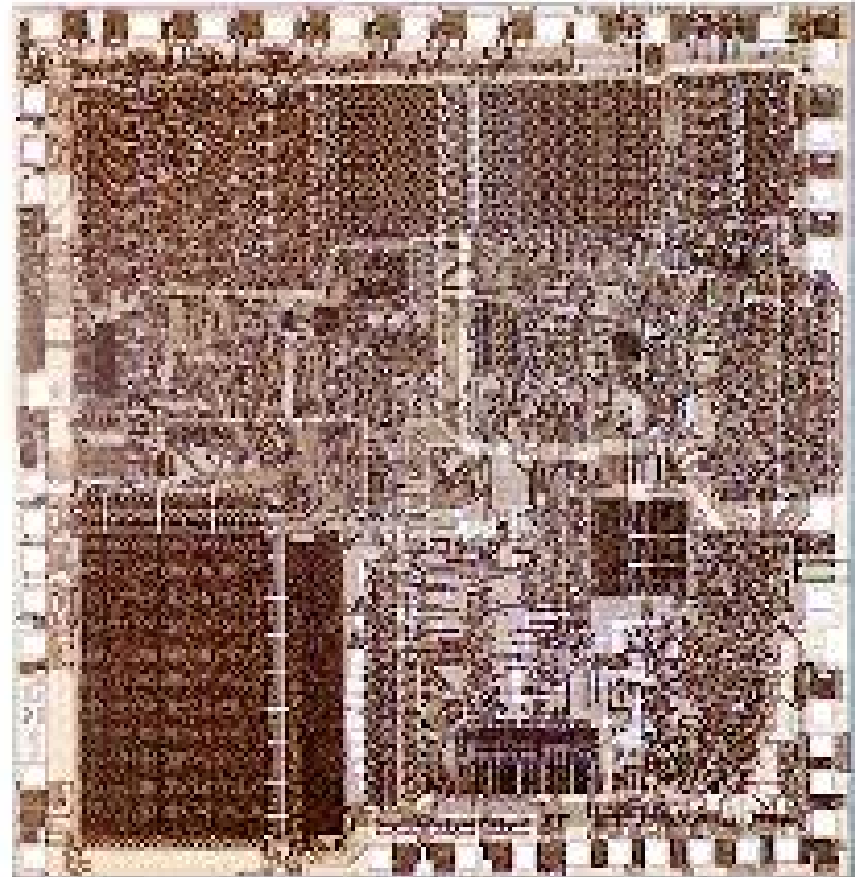
- 1975: Το Popular Electronics περιγράφει ένα ready-to-build computer kit στα \$800 βασισμένο στο Intel 8080. Σε αυτή την φάση τα πιο “μικρά” συστήματα \$30,000.
- Ο Steve Wozniak κτίζει ένα computer στο garage του με ένα \$20 8-bit processor από την MOS Tech. Inc. (την αγόρασε η Commodore το 1977). Αυτό ήταν το πρωτότυπο για το Apple 1.
- 1978: Η Intel ανακοινώνει το 16 bit, 16-bit bus 8086, βασισμένο στο 8080; έχει 10 φορές καλύτερη απόδοση.





# The Intel 8086

- ❑ 29,000 Transistors
- ❑ Clock Speeds: 5, 8 and 10 MHz
- ❑ Introduced: June 8, 1978
- ❑ Approx. 10 times the performance of the 8080





# Early Computers

- 1979: Η Motorola επίσης ανακοινώνει ένα 16-bit 68000. Ο καλύτερος επεξεργαστής στην αγορά. Θα χρησιμοποιούταν από την Apple Macintosh μετέπειτα το 1984.
- Η Intel βλέποντας τον συναγωνισμό (Motorola and Zilog) εφάρμοσε το **'Operation CRUSH'** - μια μεγάλη καμπάνια παροχής υποστήριξης, παραγωγής και διαφήμισης των προϊόντων της.
- Το CRUSH πέτυχε δραστικά, και το 8086 γίνεται το *de facto* standard. Η επιτυχία της Intel την βοηθά στην εισαγωγή καινοτομιών, όπως το **bus width reduced 8088, ένα 16-bit ( με 8-bit bus) microprocessor.**



The early Apple Macintosh



# To IBM PC



The World's First Personal Computer



# The IBM PC



- ❑ 1981: IBM, having seen Apple's success recognise a new personal computer market. They choose Intel over Motorola and Zilog (and their own proprietary processors) because of Intel's long-term commitment to the 8086 line.

- ❑ **IBM selects the Intel 8088** for their PC, introduced in August.

- ❑ Intel bring out the 16-bit 80286 for the IBM PC AT but it has weaknesses, most notably in virtual memory support. The newest 'killer' application software, **Microsoft Windows**, needs a more powerful processor.

- ❑ IBM's service to the computer industry was to make the PC 'open', this meant clone makers could compete with IBM-compatible PCs. New companies such as Compaq and Dell (both from Texas) fare well, as do South Korea's Leading Edge and Taiwan's Acer who produce PCs with AT performance at half the price.

- ❑ 1985: Intel announce the 80386 a 32-bit microprocessor, of 275,000 transistors. It was the world's best performing processor at this time.

- ❑ 1986 Compaq are the first company to bring out a 386 PC. IBM's 386 PC, the PS/2, does not come out for another year.



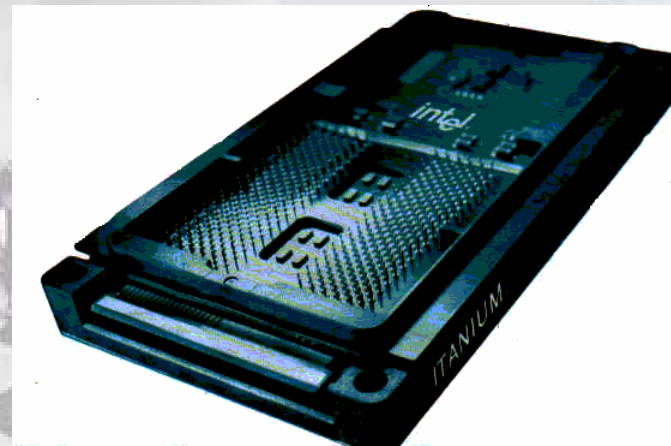
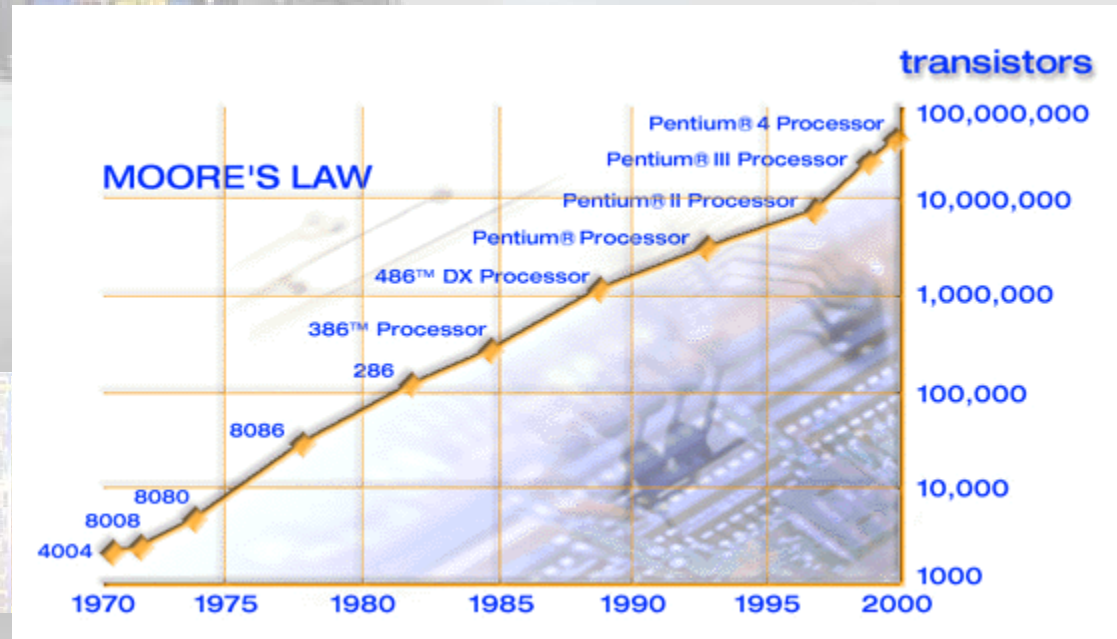




# Moore's Law



- Dr. Gordon E. Moore co-founded Intel in 1968.
- Η παρατήρηση του ότι ο αριθμός των transistor πάνω σε chip διπλασιάζεται κάθε 2 χρόνια έγινε γνωστή σαν ο “Νόμος του Moore” (Moore's Law)



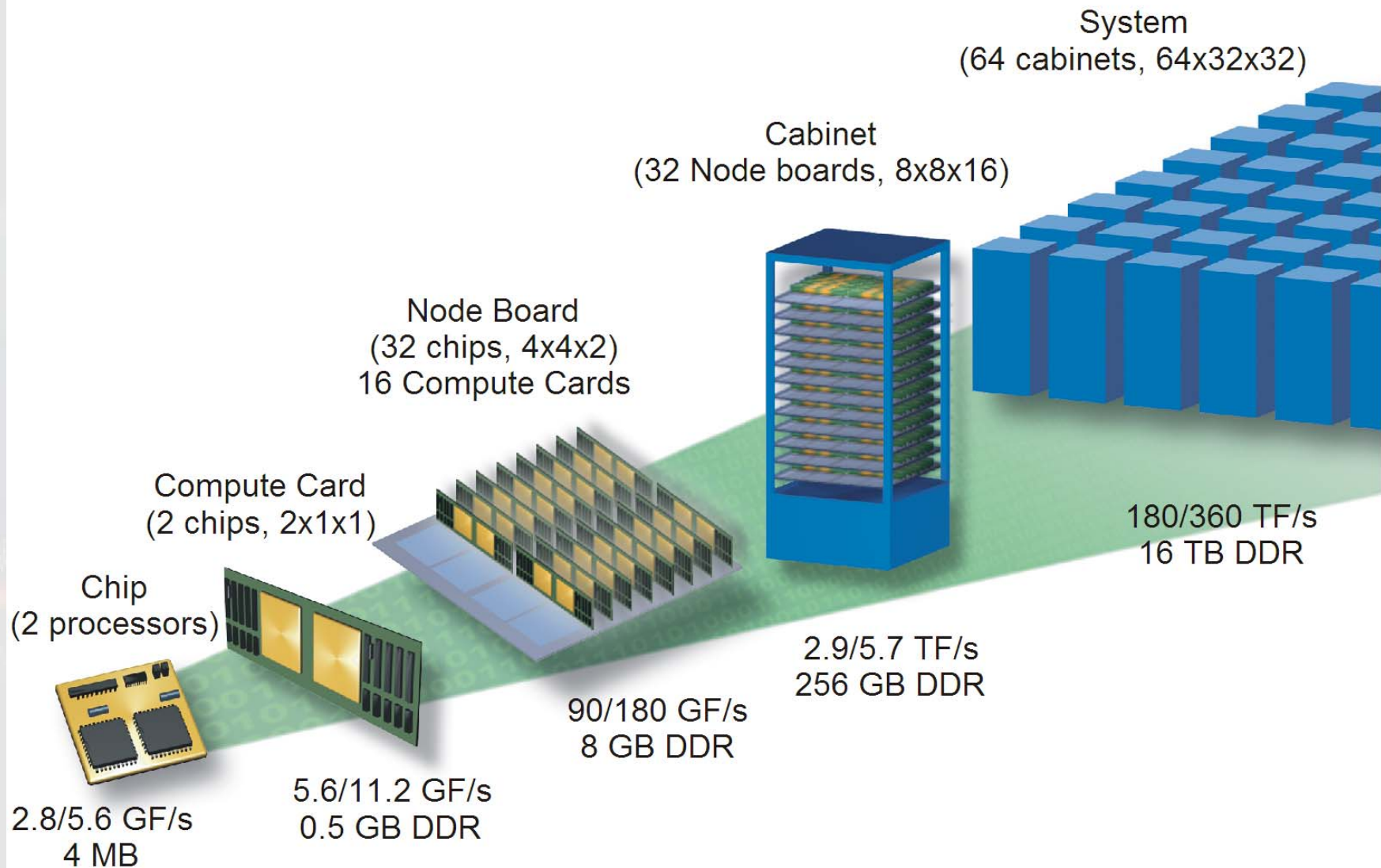


# Transistors per Processor

	Year of introduction	Transistors
4004	1971	2,250
8008	1972	2,500
8080	1974	5,000
8086	1978	29,000
286	1982	120,000
386™ processor	1985	275,000
486™ DX processor	1989	1,180,000
Pentium® processor	1993	3,100,000
Pentium II processor	1997	7,500,000
Pentium III processor	1999	24,000,000
Pentium 4 processor	2000	42,000,000
Next Generation CPUs	2010	1 BILLION!



# To IBM Blue Gene/L

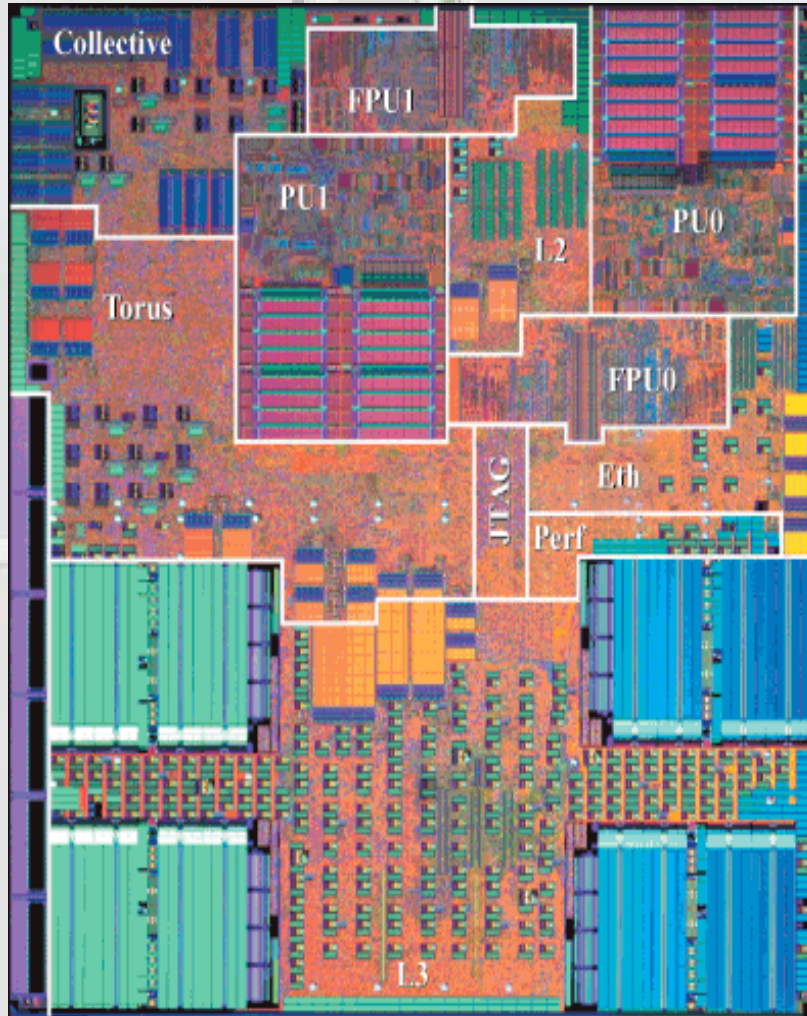


**The World's Fastest Supercomputer**



# Blue Gene / L

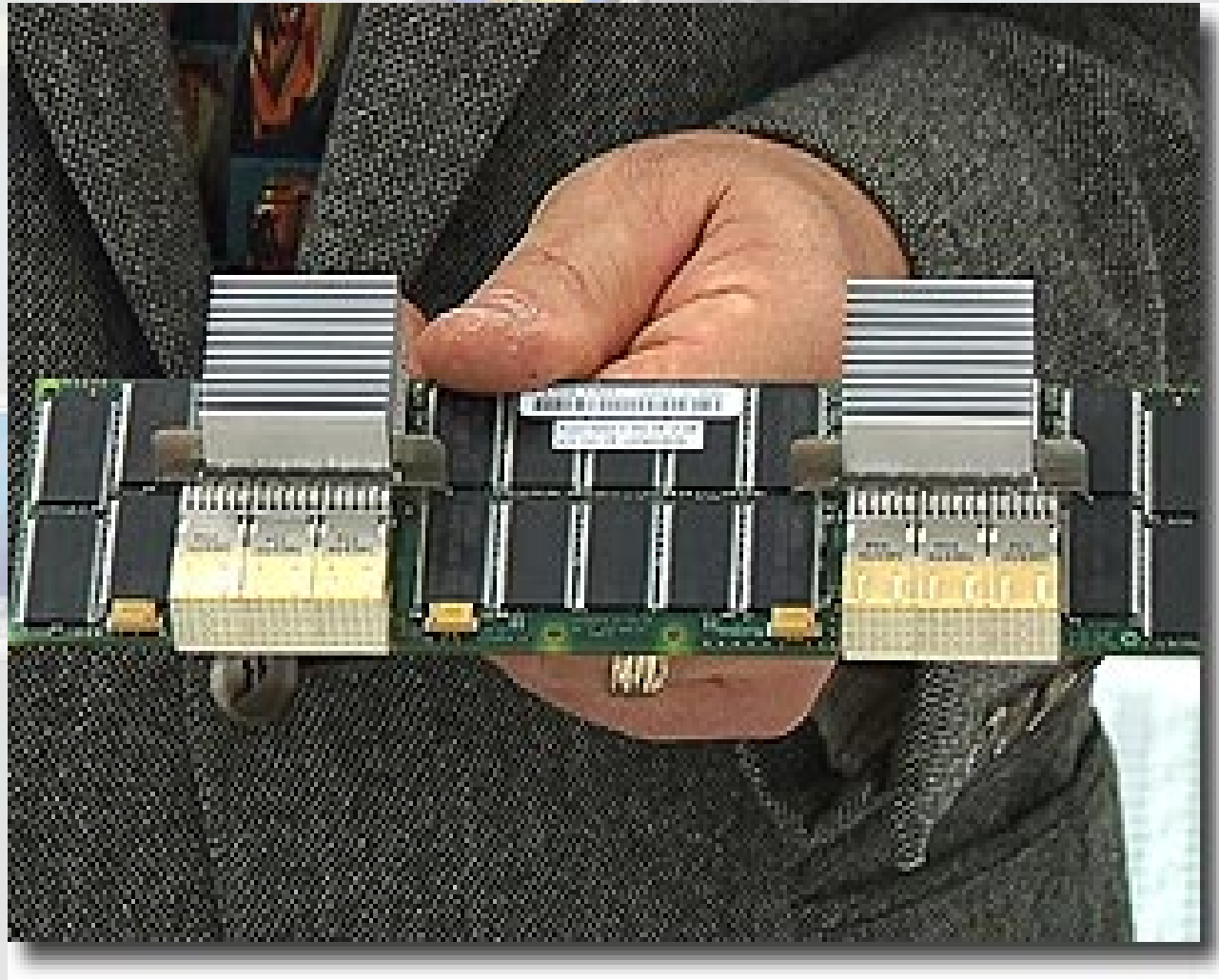
- Δημιουργία από ένα chip με δυο πυρήνες



- System-on-a-chip (SoC)
- 1 ASIC
  - 2 PowerPC processors
  - L1 and L2 Caches
  - 4MB embedded DRAM
  - DDR DRAM interface and DMA controller
  - Network connectivity hardware
  - Control / monitoring equip. (JTAG)



# Compute Card





# Node Card





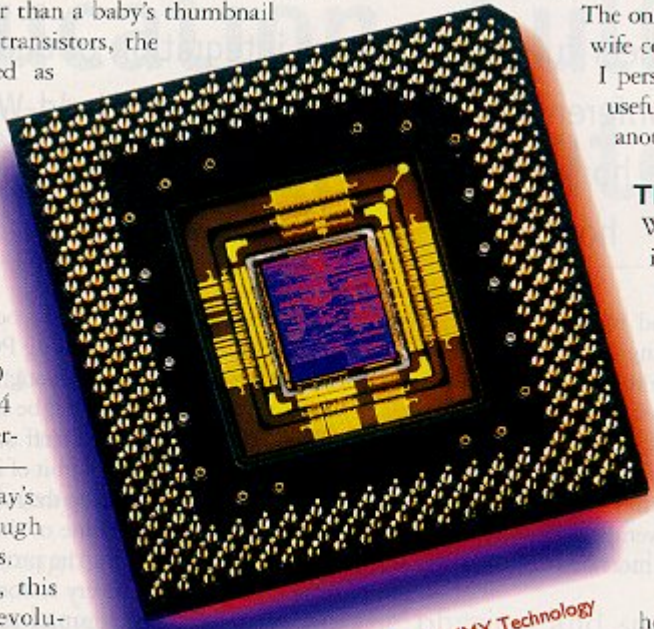
# Racks





# Σχεδιασμός Microchip

... smaller than a baby's thumbnail  
... 10 transistors, the  
... rered as



Intel Pentium Processor with MMX Technology

... out, this  
... revolu-  
... computers  
... applied. It  
... into "dumb"

The only  
wife cou  
I pers  
useful  
another

The  
Wh  
its  
m  
it

... how  
... would cha  
... try. Today, the PC is  
... than 200 million throughout





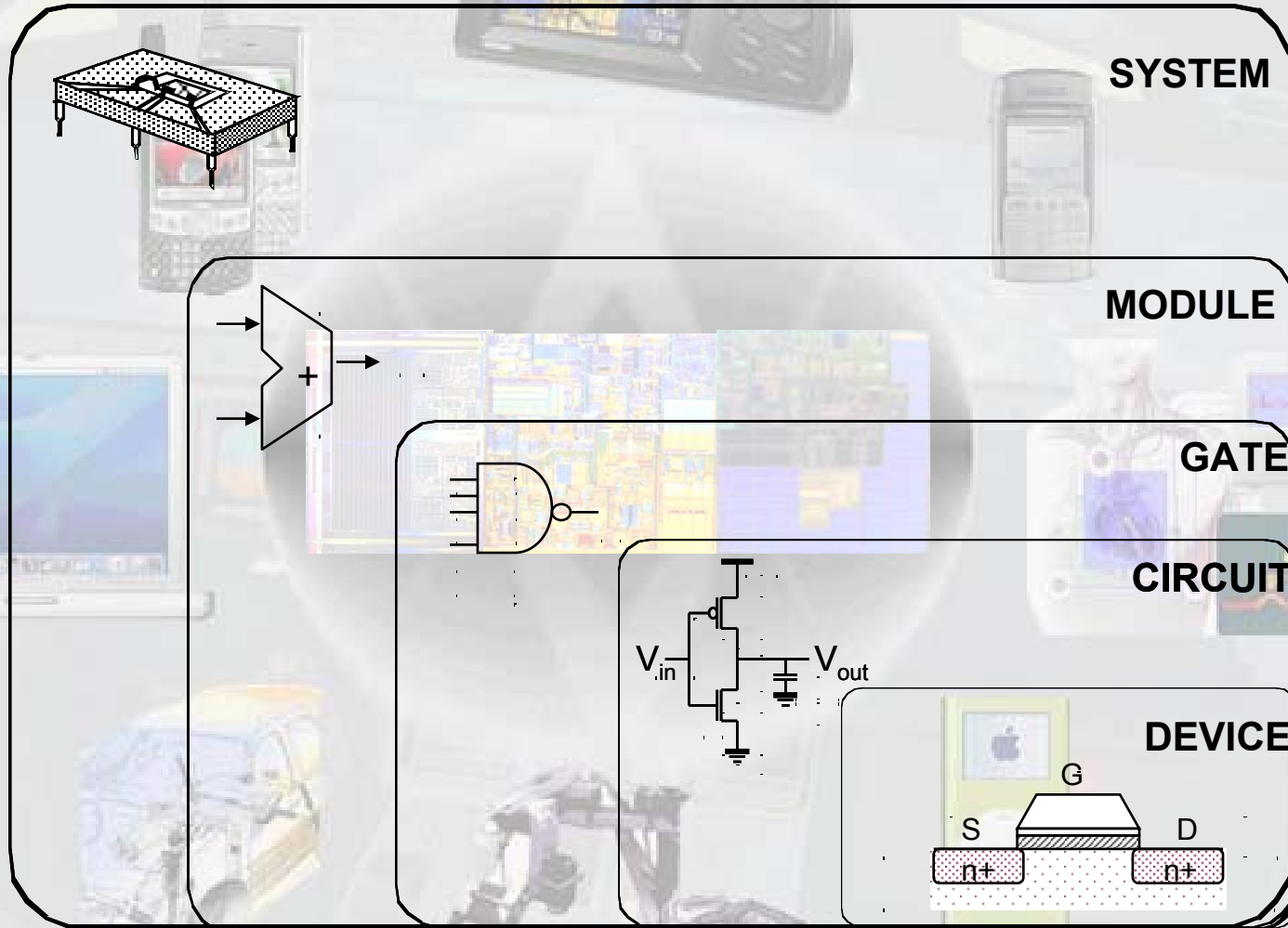


## Σχεδίαση με τη βοήθεια εργαλείων αυτοματοποίησης

- Ανάπτυξη σχεδίου ολοκληρωμένου κυκλώματος
  - Σχεδιασμός μέσω γλώσσας περιγραφής υλικού
  - Σχεδιασμός μέσω σχηματικών (πύλες, τρανζίστορ).
  - Έλεγχος και πιστοποίηση ορθής λειτουργίας.
- Σύνθεση σε υλικό
  - Χρήση του σχεδιασμού για ανάπτυξη του υλικού υπό μορφή layout / μάσκα.
  - Έλεγχος απόδοσης σε σχέση με τεχνικές προδιαγραφές.
- Παραγωγή υλικού
  - Με χρήση της μάσκας (layout mask), ειδικές βιομηχανικές εστίες παράγουν το chip.



# Επίπεδα Σχεδιασμού



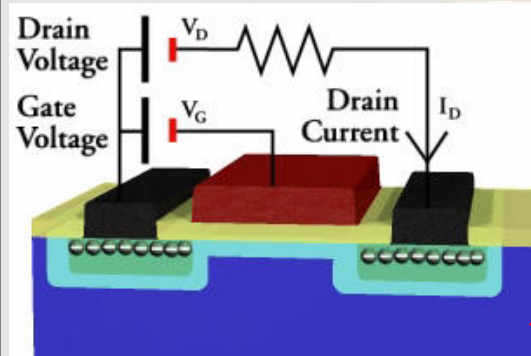
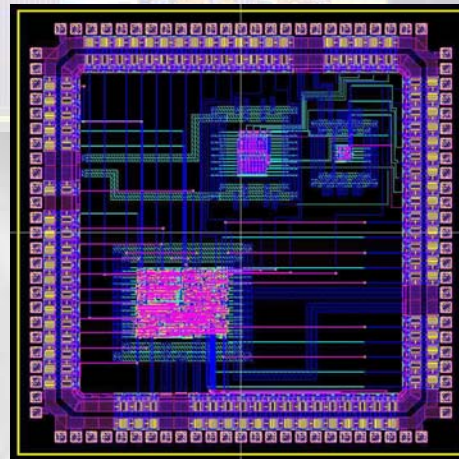
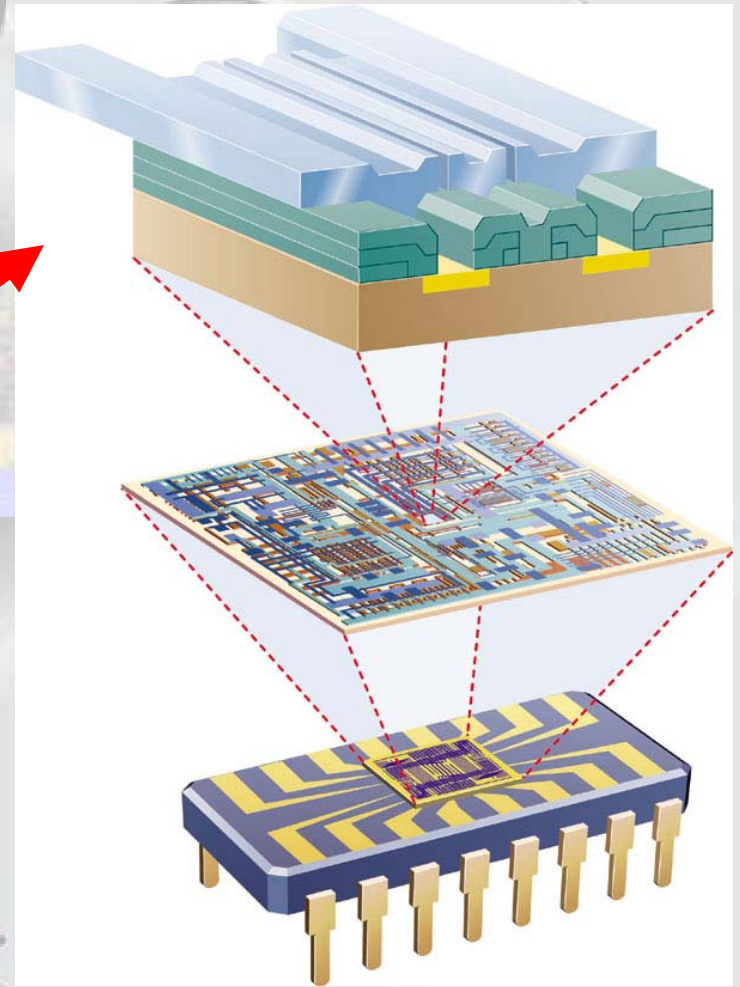


# Ροή Σχεδιασμού

39.4.01

Logic symbols  
(IEC = International Electrochemical Commission)

Binary logic circuit	Used in this document	IEC approved
AND A B Y	AND	&
NAND A B Y	NAND	& with a bubble
OR A B Y	OR	$\geq 1$
NOR A B Y	NOR	$\geq 1$ with a bubble
NOT A Y	NOT (INVERTER)	inverter symbol





# Σήμερα

- Τεράστιο Φάσμα Συσκευών και Ηλεκτρονικών Υπολογιστών με Ενσωματωμένους Επεξεργαστές.
  - Κινητά Τηλέφωνα, Ψηφιακές Φωτογραφικές Μηχανές, MP3 Audio players, κλπ.
- Πολλά προβλήματα που εμποδίζουν στην ανάπτυξη επεξεργαστών με τις σημερινές αποδόσεις.
- Μέτρηση Απόδοσης με:
  - Ταχύτητα
  - Ενέργεια
  - Αξιοπιστία
  - Κόστος
  - Ευελιξία



# Η Κούρσα για GHz

Αύξηση της Ωρολογιακής ταχύτητας (συχνότητας)  
Pentium: Από 60 MHz σε 3,800 MHz σε 12 χρόνια  
Αποτέλεσμα σε ~80% αύξηση απόδοσης.

**ΑΛΛΑ...**

Το 2000, η Intel ανακοίνωσε ότι θα παράγαγε ένα επεξεργαστή στα 10 GHz μέχρι το 2005.

Ο γρηγορότερος Intel επεξεργαστής είναι στα 3.8 GHz (Intel Pentium 4). Σχεδόν ενός χρόνου.

Κατά την παρουσίαση του Prescott, η Intel είπε ότι είναι αφοσιωμένη στο “πρόσθεση αξίας πέρα από τα GHz.”



# Πού πάμε από εδώ;

- Προκλήσεις
  - Αποτελεσματικότητα Κατανάλωσης Ενέργειας
  - Αξιοπιστία
  - Πολυπλοκότητα
  
- Ανερχόμενες Απαιτήσεις
  - Παροχή ασφάλειας
  - Ενσωματωμένοι Επεξεργαστές

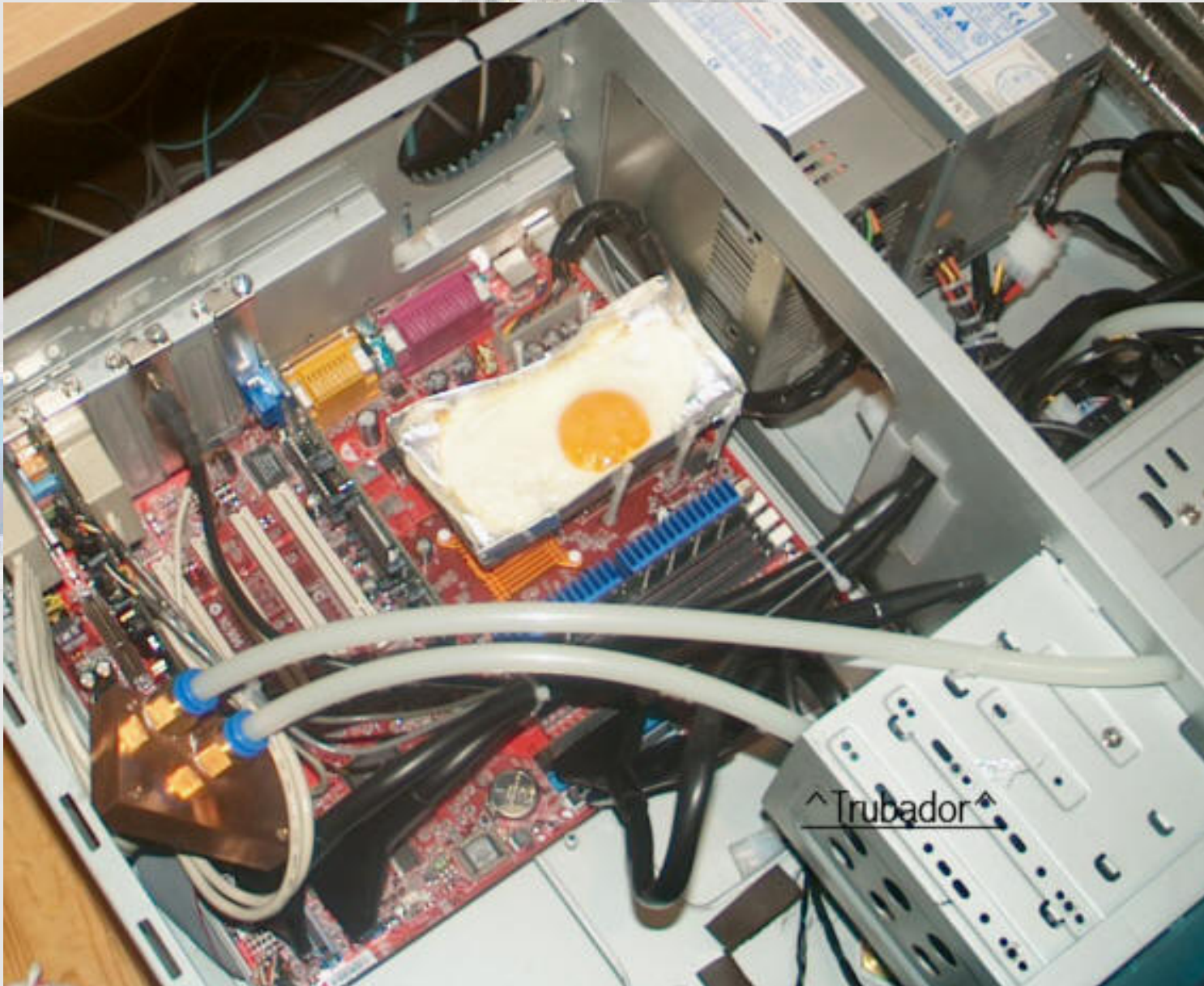


# Η Σημασία στην Κατανάλωση Ενέργειας

- Η Ζωή της Μπαταρίας – όλοι έχετε κινητό τηλέφωνο!
- Κατανομή Θερμότητας
  - Η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική
  - Η ροή της απομάκρυνση της θερμικής ενέργειας επιδρά άμεσα στην λειτουργία
- Κατανάλωση ενέργειας σε κέντρα εξηπυρετητών (servers).
  - Η Google πληρώνει περισσότερα για ενέργεια και κρύωμα στα μηχανήματά της παρά για τα ίδια τα μηχανήματα.



# Hot Chips

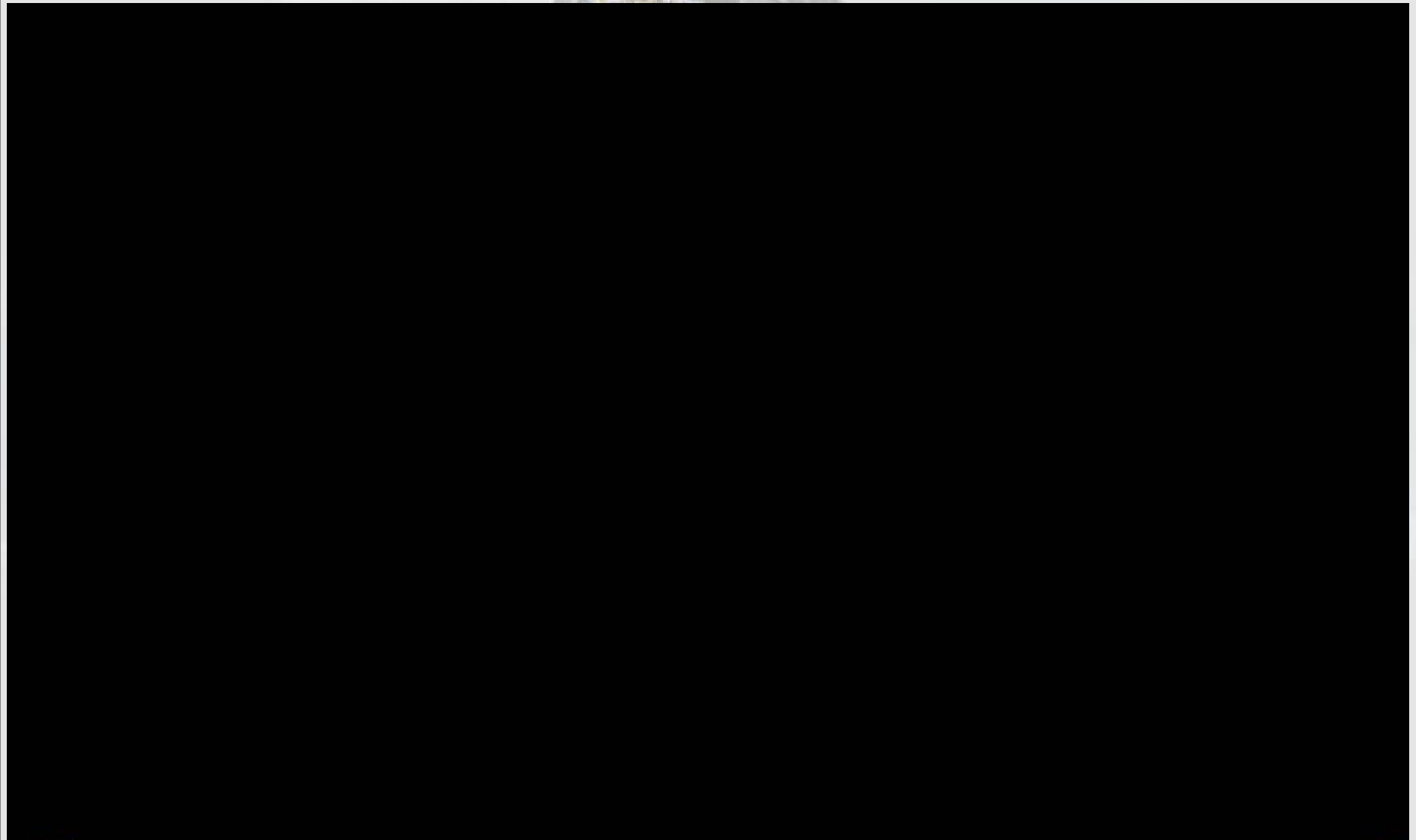


^Trubador





# Θερμοκρασία - Επιπτώσεις



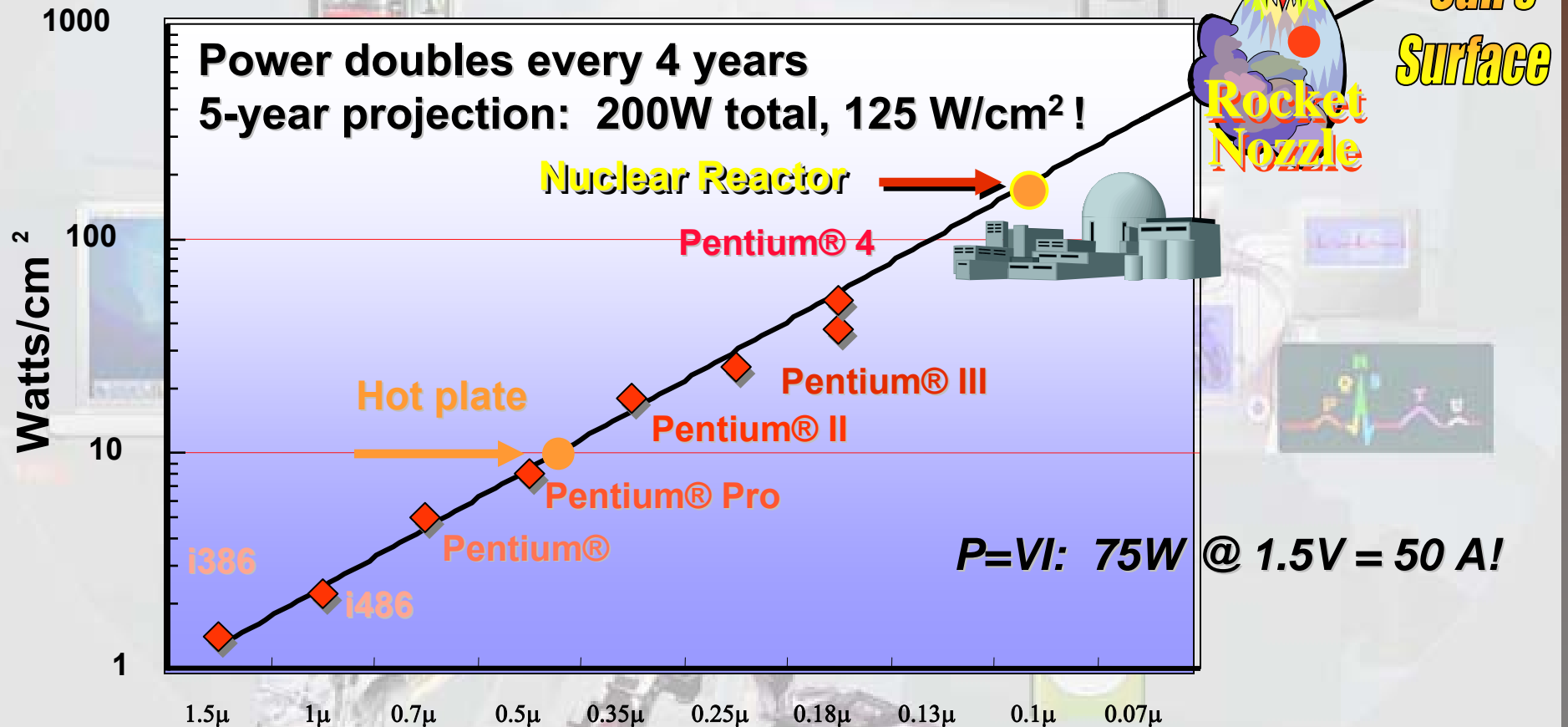
Ready

01:11





# Power Density



\* "New Microarchitecture Challenges in the Coming Generations of CMOS Process Technologies" – Fred Pollack, Intel Corp. Micro32 conference key note - 1999. Courtesy Avi Mendelson, Intel.



# Chip-Level Cooling

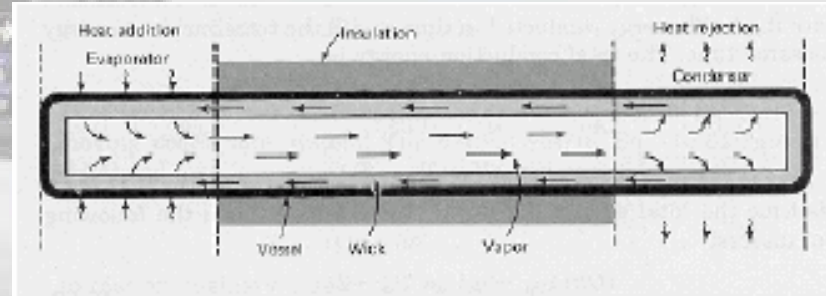
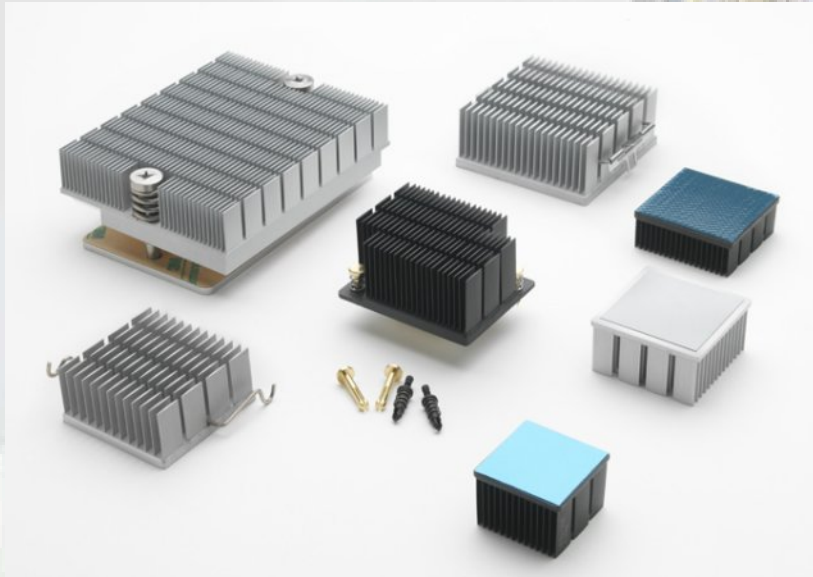


Figure 5. Heat pipe illustration [3].

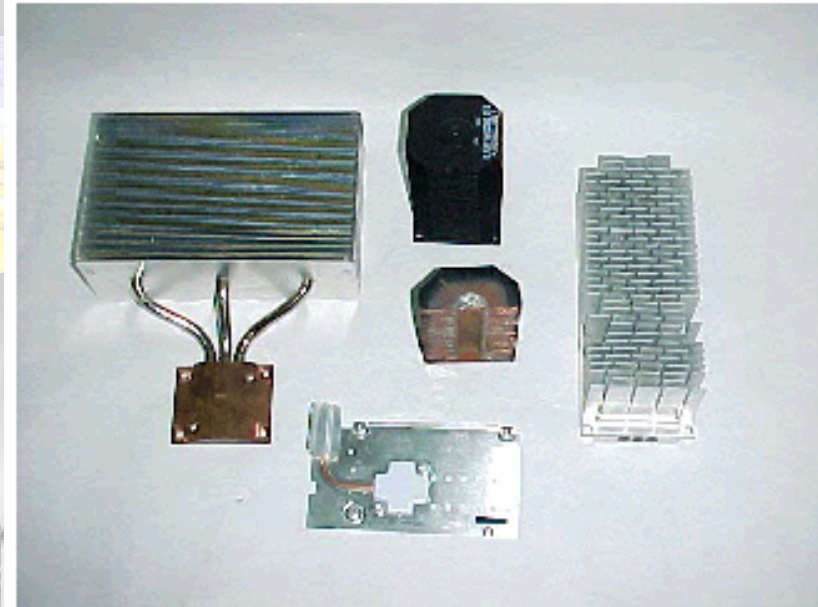


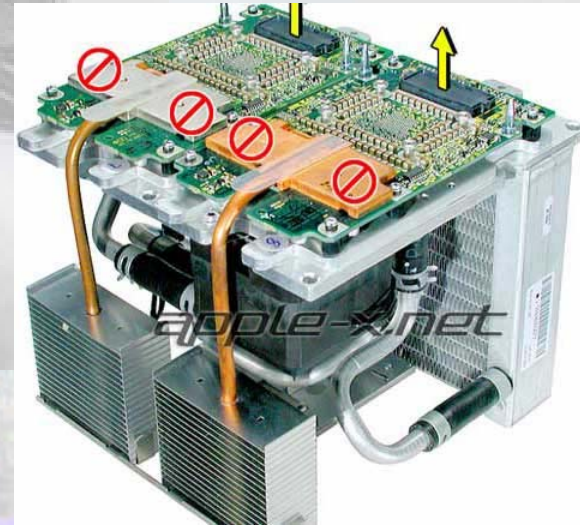
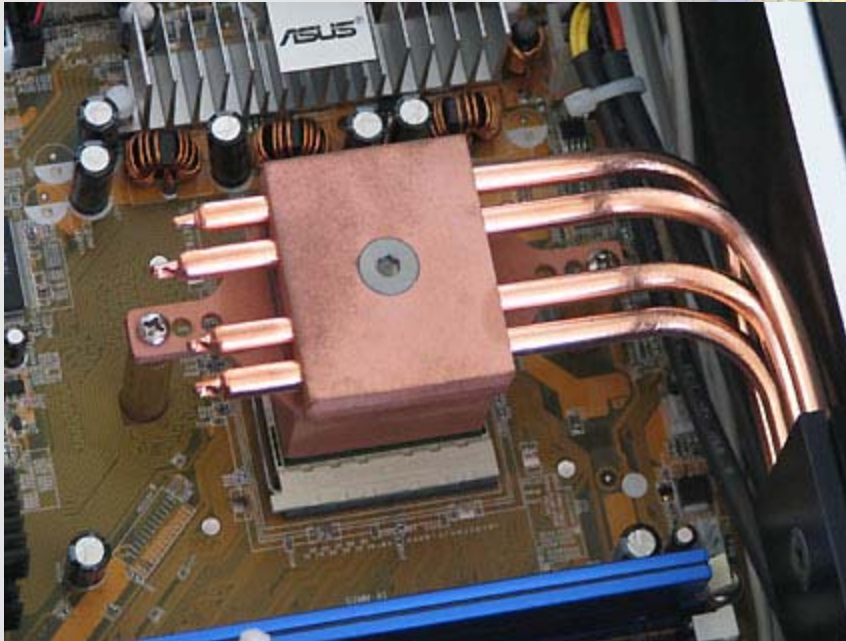
Figure 6. Heat pipe examples.

Το κρύωμα προαπαιτεί κόστος, μέγεθος, θόρυβο και περισσότερη κατανάλωση ενέργειας

Τα τρανζίστορς μικραίνουν και σε μέγεθος, και σε κόστος.



# Απομακρύνοντας την Ζέστη



Liquid cooling system in  
Apple G5s



Heat sinks in 6XX series  
Pentium 4s



# Αξιοπιστία

- Σημαντικότερο Πρόβλημα!
- Πρέπει να εντοπίζονται τυχόν λάθη
- Πρέπει ένα σύστημα να λειτουργεί στην παρουσία λαθών

## ❑ SUN FIRE 15K Crash Mysteriously

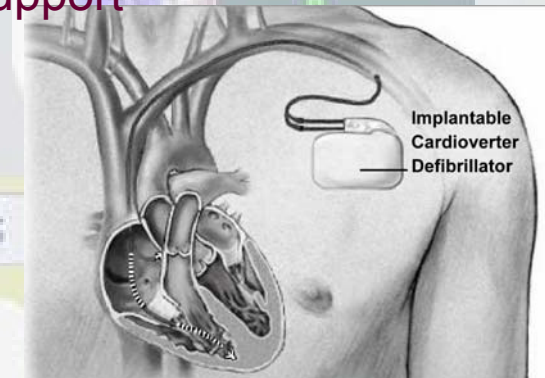
It's ridiculous. I've got a \$300,000 server that doesn't work. The thing should be bullet-proof." --- Forbes magazine, 2000

## ❑ NO SECOND CHANCE ! Evidence of soft errors in life-support devices such as cardiac defibrillators"

- 22 errors over 284672 device days (779 years)
  - ❑ .028 errors per year
- 5 million patients

## ❑ Highest failure rate of all other reliability mechanisms combined.

- TI, Baumann, IRPS 2002

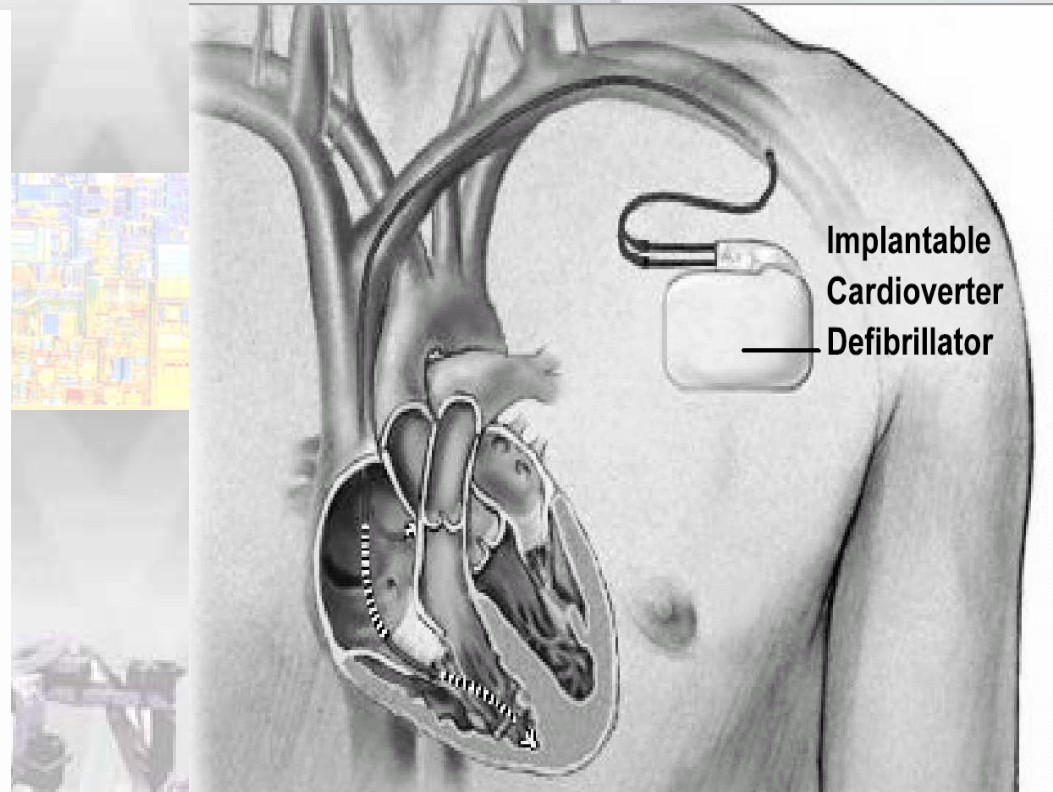
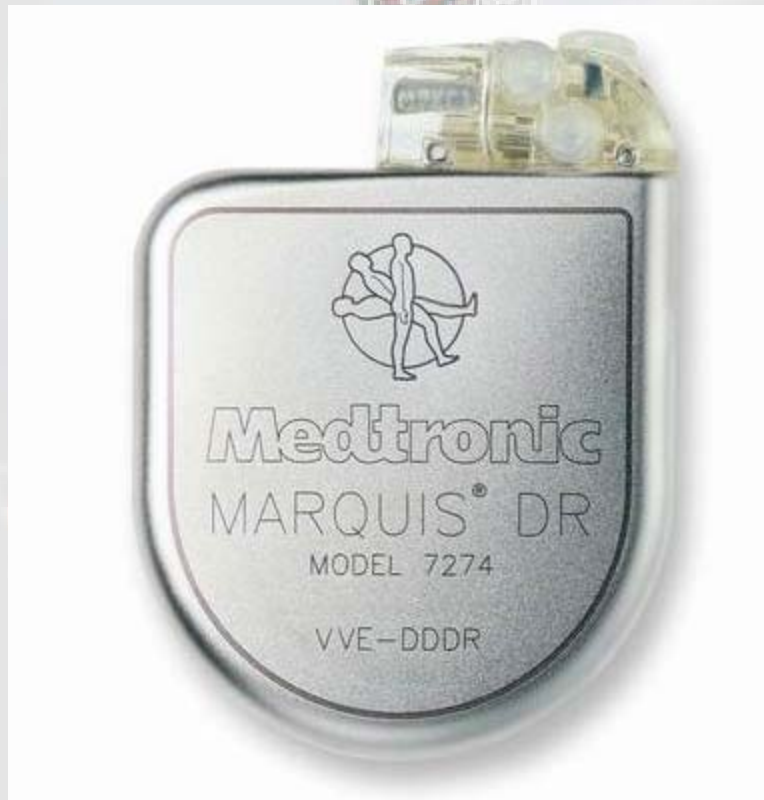


source: [www.fda.gov](http://www.fda.gov)



# ICD

- **Implantable Cardioverter Defibrillators (ICDs)**  
“Emergency Room in the Chest”



\* Pictures from [www.fda.gov](http://www.fda.gov)

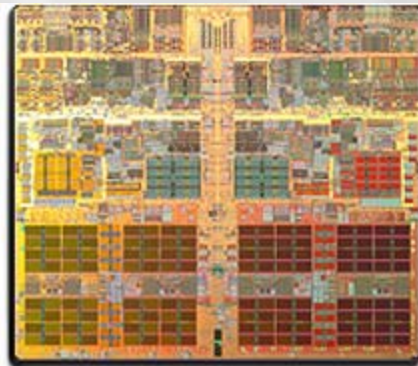
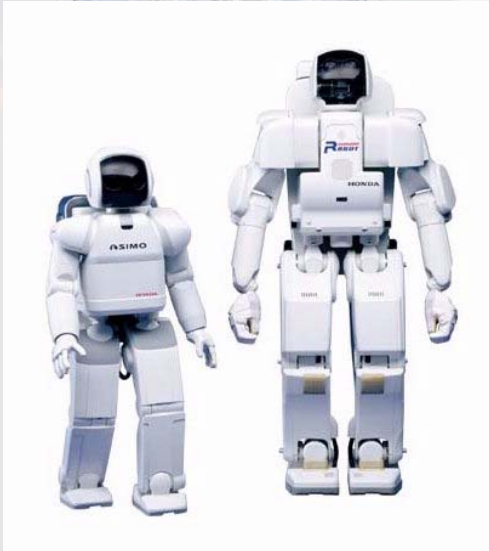
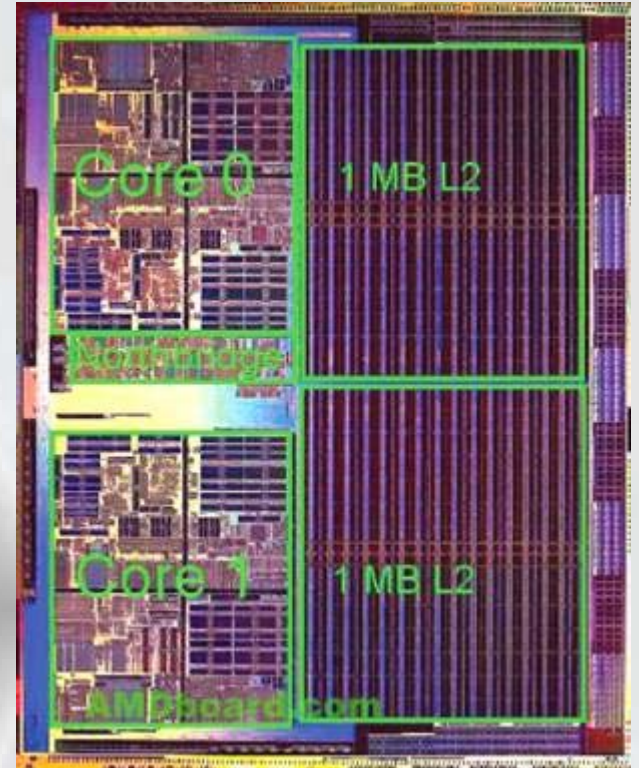
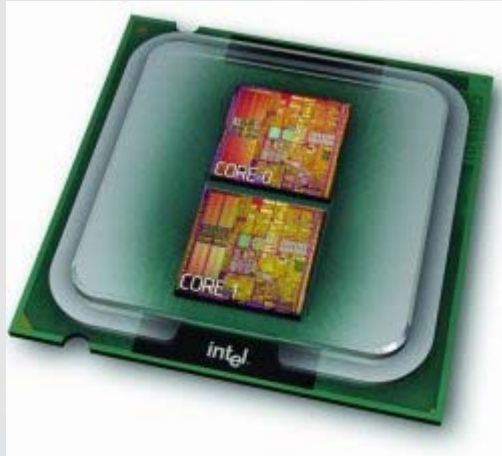


# Ο Ρόλος του Μηχανικού

- Σχεδιασμός και Εφαρμογή ψηφιακών συστημάτων στην καθημερινή ζωή:
  - Μελέτη, Σχεδίαση, Ανάπτυξη
  - Πιστοποίηση Ελέγχου και Αξιολόγηση
- Βελτίωση Υφιστάμενων Συστημάτων
- Περιβαλλοντική και Ενεργειακή Ευαισθησία
- Αξιοπιστία
- Ισορροπία Κόστους / Απόδοσης σε σχέση με Αξιοπιστία και Ενέργεια
- Προσφορά στην Κοινωνία Άρτιου Τεχνολογικού Εξοπλισμού, με γνώμονα τις ανάγκες της κοινωνίας και του περιβάλλοντος.



# Το μέλλον!



Double the computational power on each chip







# Acknowledgments

- Dr. Mary Jane Irwin
- University of Birmingham
- Intel Corporation
- AMD Corporation
- Apple Corporation
- Honda, Lexus, Airbus
- Tom's Hardware Guide
- International Business Machines Corporation (IBM)