### Introducció a VLSI

Ramon Canal Rosa M. Badia VLSI-GRAU

Tardor 2020



### Evolució de les tecnologies

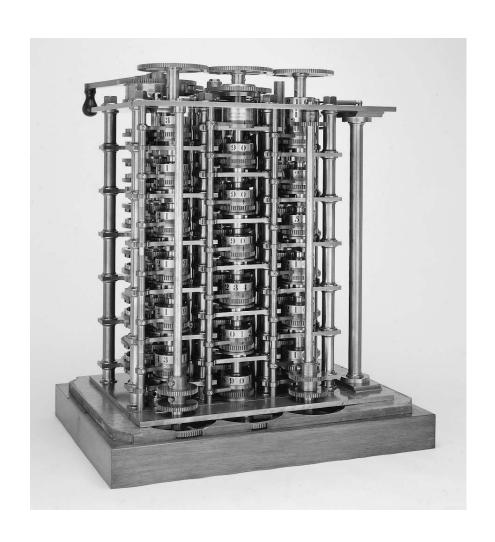
- Sistemes mecànics (1834)
- Sistemes elèctrics (relays) (1938)
- Sistemes electrònics (vàlvules) (1946)

———— memòria —————

- Sistemes electronics (vàlvules) (1948)
- Transistors (1947)
- Circuits integrats (1958)
- Microprocessadors (1972)
  - Transistor MOSFET
  - NMOS, PMOS, CMOS



### The First Computer



The Babbage Difference Engine (1832)

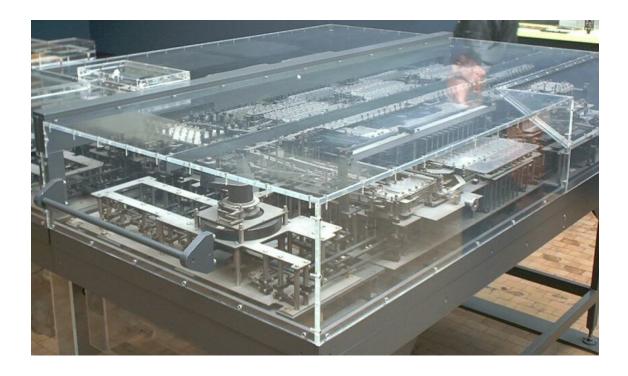
25,000 parts

**cost:** £17,470



### Electro-mechanical

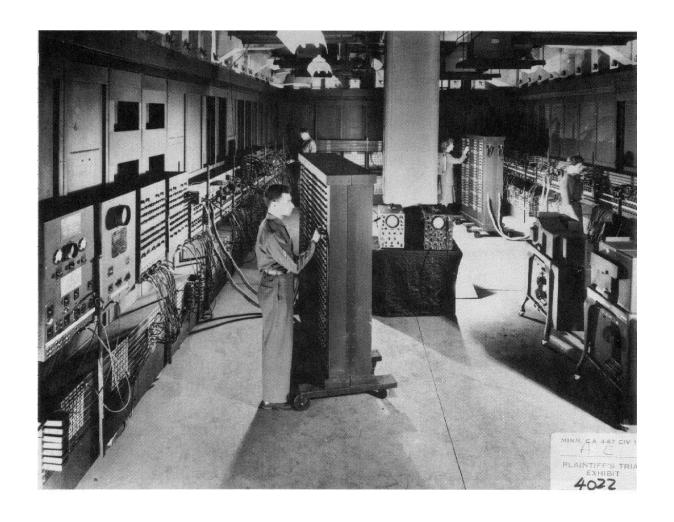
• Z1 (1938 by Konrad Zuse)



Source: Deutsches Technikmuseum Berlin

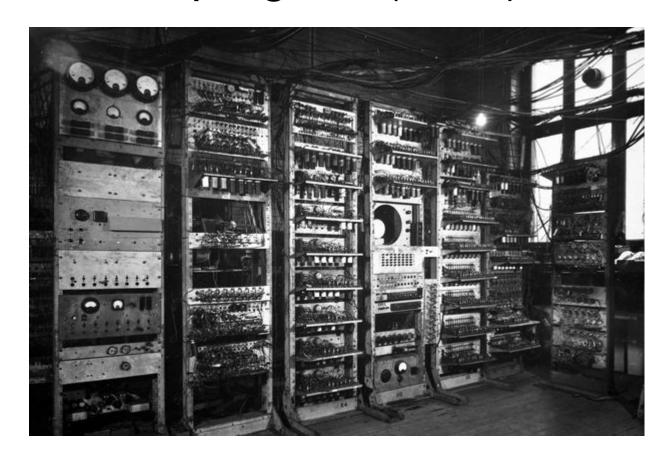


## ENIAC - The first electronic computer (1946)



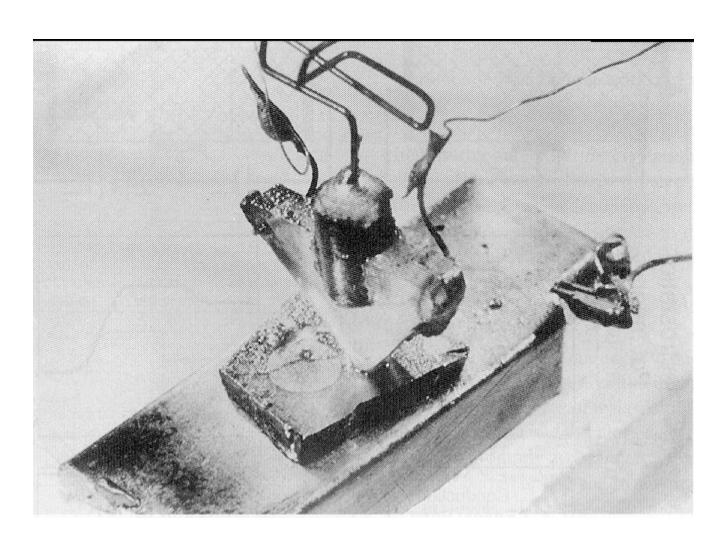


# Manchester Baby – The first electronic computer with stored program (1948)





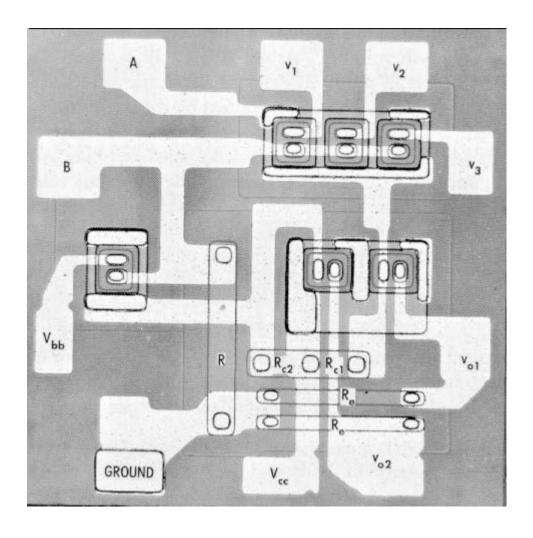
### The Transistor Revolution



First transistor Bell Labs, 1948



### The First Integrated Circuits

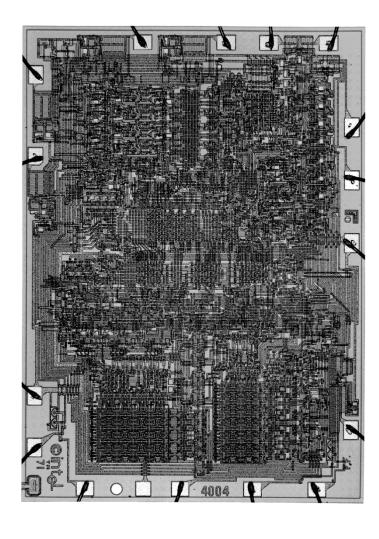


Bipolar logic 1960's

ECL 3-input Gate Motorola 1966



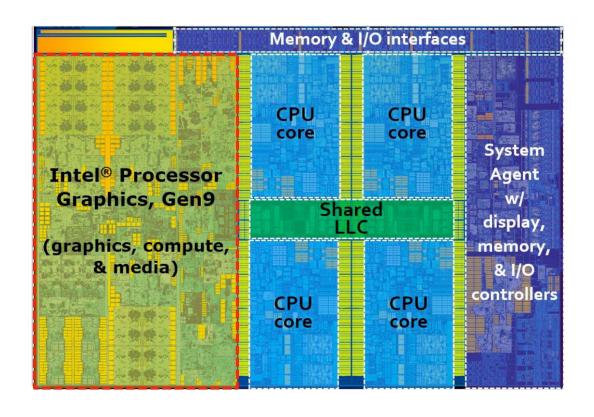
### Intel 4004 Micro-Processor



19711000 transistors1 MHz operation



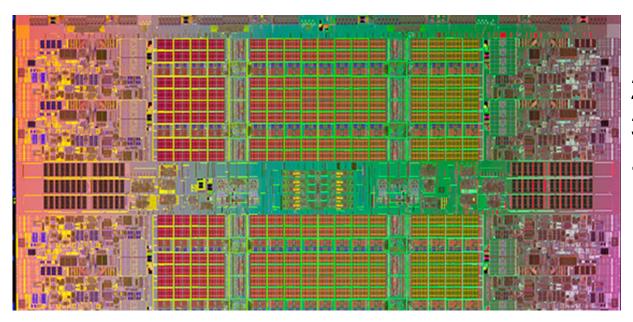
### Intel Skylake microprocessor (4C)



2015
1750M CMOS transistors
~4 GHz operation
14nm



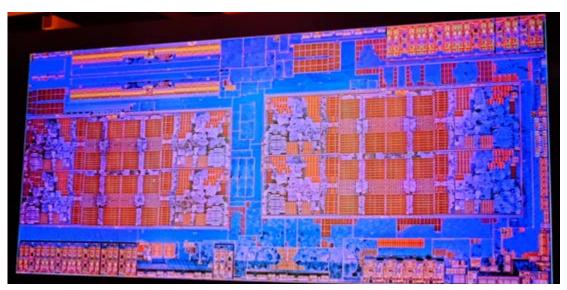
### Intel Broadwell microprocessor (8C)



2016
3200M CMOS transistors
~4 GHz operation
14nm



### AMD "Ryzen" microprocessor (8C)



2017
4800M CMOS transistors
~4 GHz operation
14nm

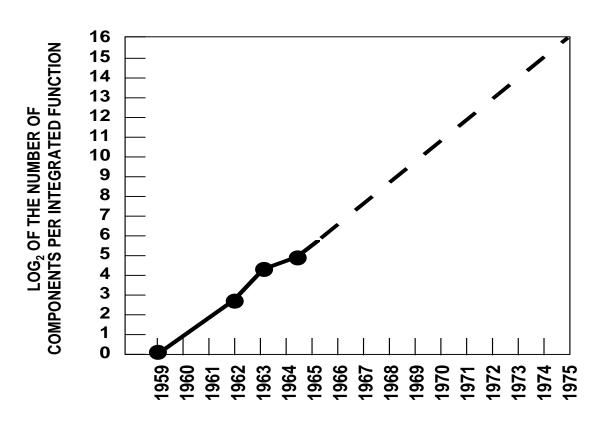


### Llei de Moore

- L'any 1965, Gordon Moore es va adonar que el nombre de transistors en un xip es doblava cada 18 o 24 mesos.
- Va fer la predicció que la tecnologia de semiconductors aniria doblant-se cada 18 mesos.



### LLei de Moore



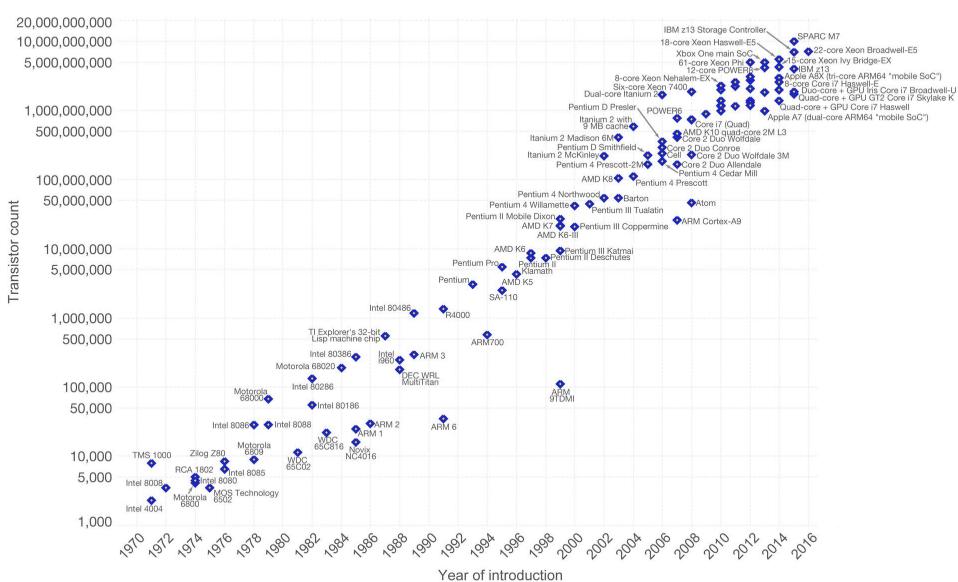
Electronics, April 19, 1965.



#### Moore's Law – The number of transistors on integrated circuit chips (1971-2016)

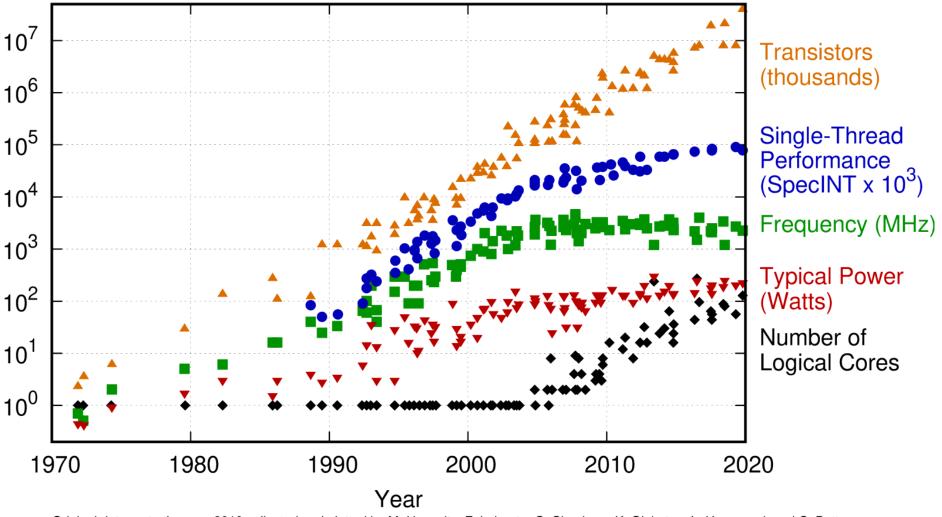


Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important as other aspects of technological progress – such as processing speed or the price of electronic products – are strongly linked to Moore's law.



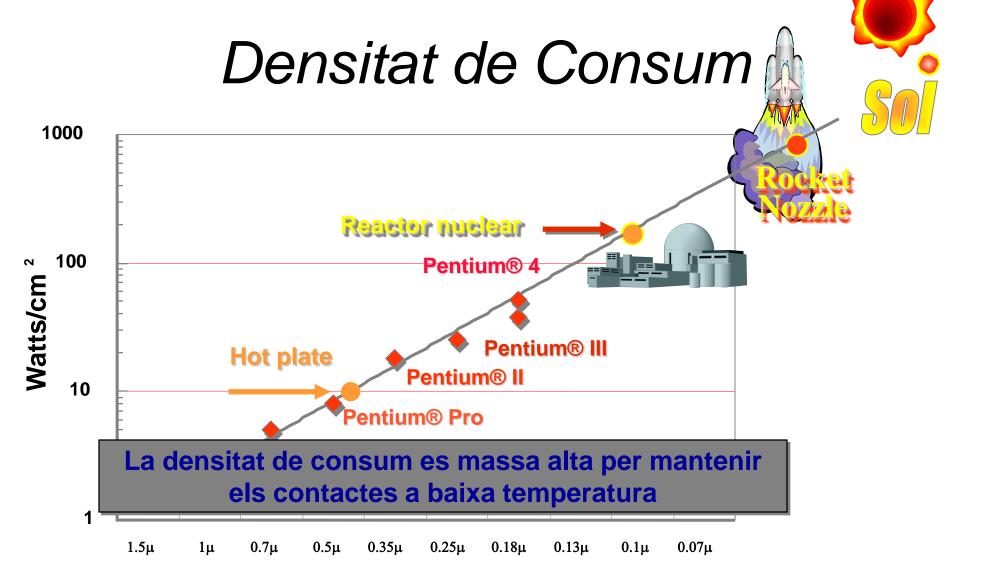


#### 48 Years of Microprocessor Trend Data



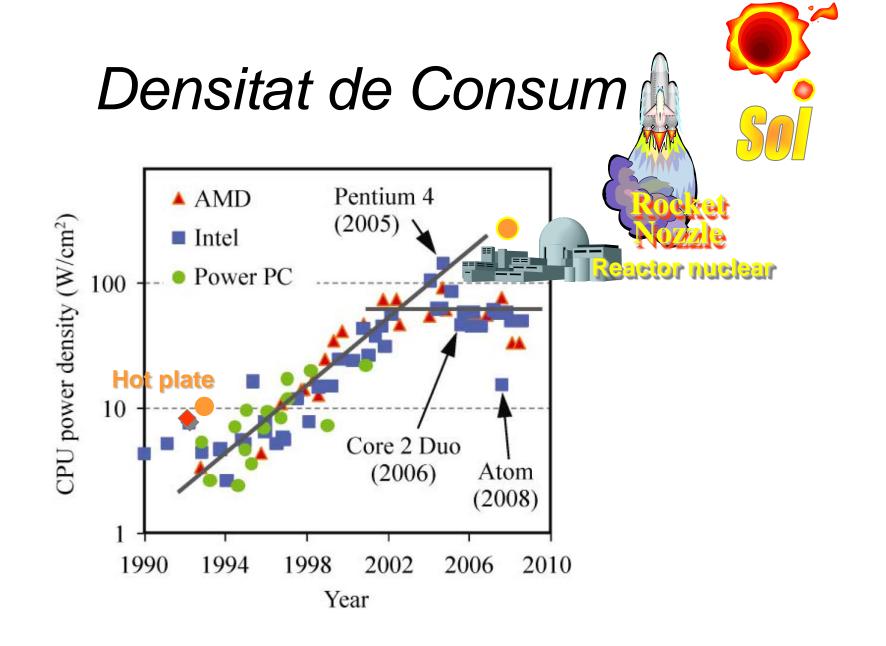
Original data up to the year 2010 collected and plotted by M. Horowitz, F. Labonte, O. Shacham, K. Olukotun, L. Hammond, and C. Batten New plot and data collected for 2010-2019 by K. Rupp





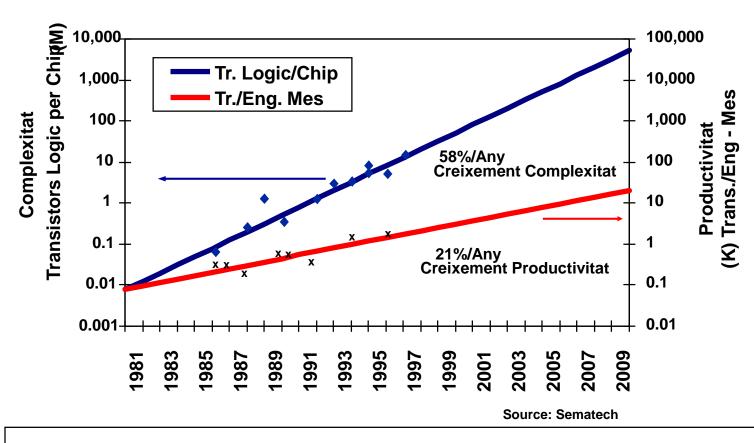
<sup>&</sup>quot;New Microarchitecture Challenges in the Coming Generations of CMOS Process Technologies" – Fred Pollack, Intel Corp. Micro32 conference key note - 1999.







### **Productivity Trends**



La complexitat supera la productivitat del disseny

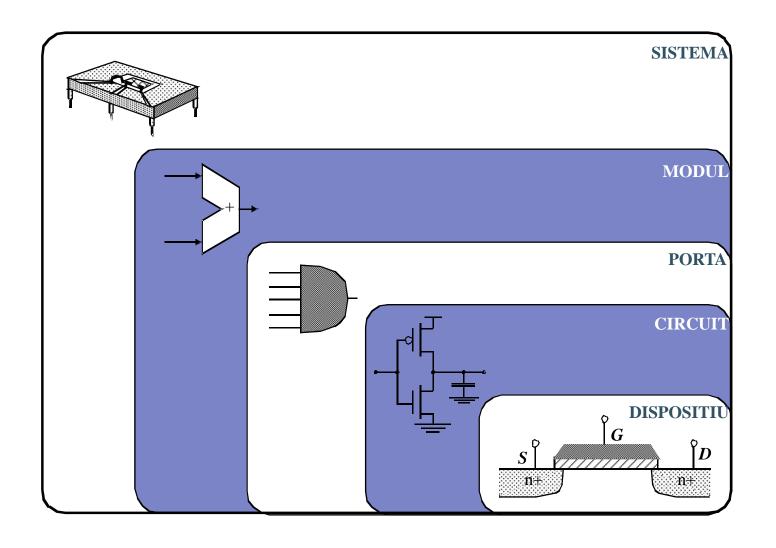


### **Escalat**

- La tecnologia es redueix un 0.7/generació
- Cada nova generació pot integrar 2x més funcions per xip; el cost del xip no s'incrementa significativament
- El cost d'una funció decreix per 2
- Però ...
  - Com dissenyar xip amb més i més funcions?
  - La població d'enginyers no es dobla cada dos anys...
- Per tant, calen métodes de disseny més eficients
  - Explotar diferents nivells d'abstracció



### Design Abstraction Levels



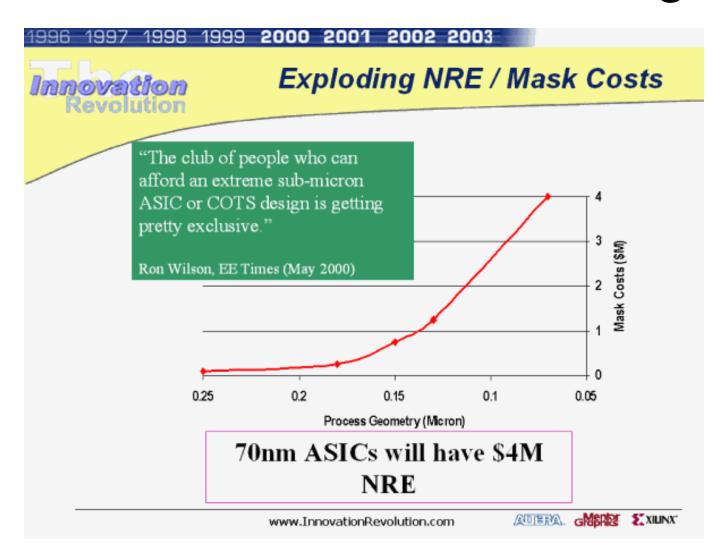


### Introducció a la tecnologia VLSI

- La tecnologia VLSI és el procés de dissenyar i implementar circuits digitals integrats directament sobre silici.
- El procés d'implementació de circuits VLSI ha evolucionat de forma continua des dels anys 60.
- Inicialment s'utilizaven components discrets.
- SSI (Small Scale of Integration): Integració de portes AND, OR, bistables, etc.
- MSI (Medium SI): Integració de sumadores, registres, multiplexors, etc.
- LSI (Large SI): Integració de petits controladores o microprocessadors.
- VLSI (Very Large SI) Integració de microprocessadors i circuits de propòsit específic.
- ULSI (Ultra Large SI)

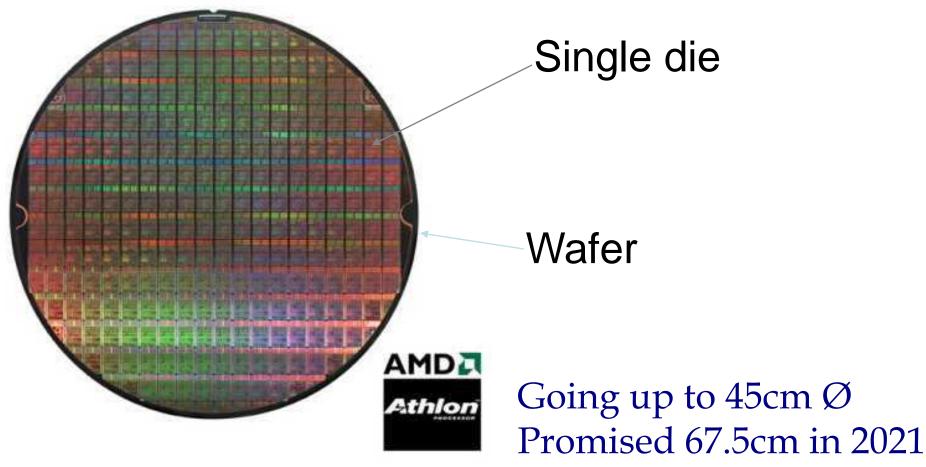


### NRE Cost is Increasing



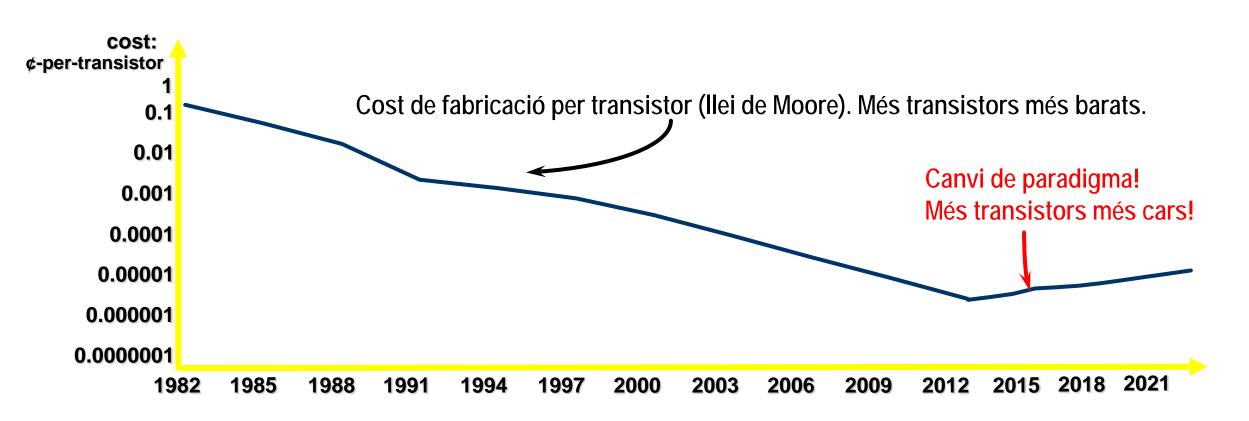


### Die Cost





### Cost per Transistor



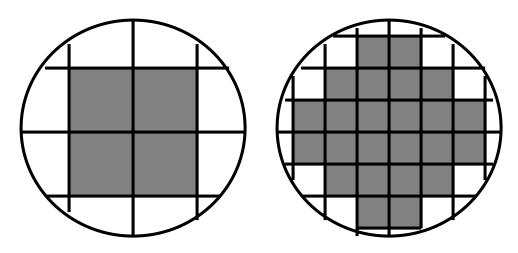


### Yield

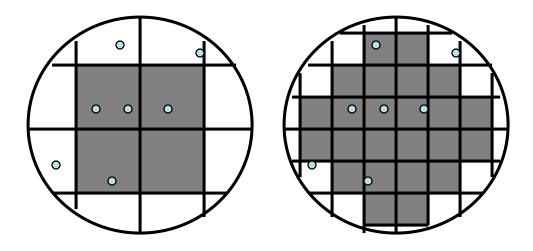
$$Y = \frac{\text{No. of good chips per wafer}}{\text{Total number of chips per wafer}} \times 100\%$$

$$Die cost = \frac{Wafer cost}{Dies per wafer \times Die yield}$$

Dies per wafer = 
$$\frac{\pi \times (\text{wafer diameter/2})^2}{\text{die area}} - \frac{\pi \times \text{wafer diameter}}{\sqrt{2 \times \text{die area}}}$$



### **Defects**



die yield = 
$$\left(1 + \frac{\text{defects per unit area} \times \text{die area}}{\alpha}\right)^{-\alpha}$$
  
  $\alpha$  is approximately 3

 $die cost = f (die area)^4$ 

### Alguns Exemples (1994)

Xip	Nivell s metall	Ampl. Linees	Cost oblea	Def./ cm <sup>2</sup>	Area mm²	Dies/ oblea	Yield	Cost die
386DX	2	0.90	\$900	1.0	43	360	71%	\$4
486 DX2	3	0.80	\$1200	1.0	81	181	54%	\$12
Power PC 601	4	0.80	\$1700	1.3	121	115	28%	\$53
HP PA 7100	3	0.80	\$1300	1.0	196	66	27%	\$73
DEC Alpha	3	0.70	\$1500	1.2	234	53	19%	\$149
Super Sparc	3	0.70	\$1700	1.6	256	48	13%	\$272
Pentium	3	0.80	\$1500	1.5	296	40	9%	\$417



### Eines de disseny

- El disseny de sistemes VLSI es un procés molt complex que requereix automatitzar el cicle de síntesi. Per això existeixen eines de disseny.
- Hi ha tres famílies d'eines de disseny
  - Eines de síntesi
    - Permeten el disseny i implementació a partir de llenguatges de descripció de hardware.
  - Anàlisi y verificació
    - Permeten garantir les prestacions i la correctesa del disseny
  - Test del circuit fabricat
    - Permeten verificar que no s'ha produït errors en el procés de fabricació i encapsulat



### Conclusions

- Cal conèixer la tecnologia en què es basen els microprocessadors per poder entendre la seva evolució
- Actualment, la tecnologia és el CMOS i el disseny VLSI.
- Els paràmetres més importants per un microprocessador són:
  - Principalment, velocitat i consum (també àrea)
- Que es tradueixen a:
  - Resistències, capacitàncies, retards, voltatges, freqüències i tamanys de transistors



### Introducció a VLSI

Ramon Canal Rosa M. Badia VLSI-GRAU

Tardor 2020

