

# 1. INTRODUCERE

---

## 1.1 SCURT ISTORIC PRIVIND DEZVOLTAREA ECHIPAMENTELOR DE PRELUCRARE A DATELOR

Un calculator modern reprezintă un sistem complex, care înglobează în construcția sa tehnologii diverse: electronice, magnetice, electromecanice, electrono-optice etc. Astfel, în prezent, pentru realizarea unității centrale a unui calculator, care asigură stocarea programului și a datelor pe termen scurt, secvențierea instrucțiunilor și efectuarea operațiilor de calcul, se utilizează, cu precădere, tehnologii microelectronice. Pentru stocarea datelor și a programelor pe termen lung se folosesc suporturi magnetice sub formă de benzi sau discuri, bazate pe diverse tehnologii magnetice/optice. Pentru implementarea operațiilor de intrare/ieșire sunt folosite în principal tehnologiile electronice și electromecanice.

Evoluția calculatoarelor este strâns legată de progresele înregistrate de tehnologiile amintite mai sus. Cercetările efectuate pentru realizarea de calculatoare cât mai performante au impulsat aprofundarea unor noi aspecte în cadrul acestor tehnologii. Calculatoarele moderne reprezintă rezultatul unui îndelungat proces de căutare ale unor mijloace tehnice adecvate pentru mecanizarea și automatizarea operațiilor de calcul. În evoluția mijloacelor de tehnică de calcul se pot evidenția mai multe etape.

### 1. Etapa instrumentelor de calcul

- Secolul 12 en., China - abacul.
- Sfârșitul sec. 17 și începutul sec.18, J. Napier și R. Bissaker - rigla de calcul.

**2. Etapa mașinilor mecanice de calcul** (bazate pe roți dințate angrenate: roata dințată joacă rolul elementului cu mai multe stări stabile, fiecare stare codifică o cifră zecimală.)

- 1642. B. Pascal realizează o mașină de adunat "Pascaline", care a fost prima mașină de calcul comercializată.
- 1694. von Leibniz construiește o mașină de adunat și înmulțit.
- 1823. Ch.Babbage proiectează primul calculator cu *execuție automată* a programului: "Mașina diferențială"

Proiectul prevedea principalele elemente ale calculatoarelor moderne (unitățile de: memorie, calcul, intrare, ieșire și comandă).

- 1872 E. Barbour realizează prima mașină de calcul cu imprimantă.
- 1892. W. Burroughs construiește o mașină de calcul de birou perfecționată.
- 1912. F. Baldwin și J. Monroe lansează producția de masă a mașinilor mecanice de calculat, cu patru operații aritmetice.

### **3. Mașini electromecanice de calcul** (bazate pe roți dințate angrenate, acționate electric).

- 1930. Producția de masă a mașinilor electromecanice de calcul prevăzute cu operațiile: adunare, scădere, înmulțire, împărțire, rădăcina pătrată, subtotal etc.
- 1937 - 1945. Mașini electromecanice de calcul, bazate pe relee electromagnetice (Mark I), cu program cablat. Releele electromagnetice și contactele lor joacă rolul elementelor bistabile. Cu ajutorul lor se pot codifica cifrele sistemului de numerație binar.

În 1937 Howard Aiken, de la Universitatea Harvard, a propus proiectul Calculatorului cu Secvență Automată de Comandă. Acesta folosea principiile enunțate de Ch. Babbage și tehnologia de implementare pentru calculatoarele electromecanice produse de IBM. Construcția calculatorului Mark I a început în 1939 și s-a terminat la 7 august 1944, data ce marchează începutul erei calculatoarelor.

**4. Mașinile electronice de calcul cu program memorat**, bazate la început pe tuburi electronice, apoi pe tranzistoare și circuite integrate pe scară simplă (SSI: sub 20 de tranzistoare pe pastila de Siliciu), medie (MSI: 20 - 1000 de tranzistoare pe pastila de Si), largă (LSI: 1000 – 50.000 de tranzistoare pe pastila de Si), foarte largă (VLSI: 50.000 – 100.0000 de tranzistoare pe pastila de Si) și ultra largă (ULSI: peste 1.000.000 de tranzistoare pe pastila de Si).

Primele calculatoare realizate cu tuburi electronice:

- 1943: la Universitatea din Pennsylvania a început construcția primului calculator bazat pe tuburi electronice ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer ), de către o echipă având în frunte pe J.P. Eckert, J.W. Mauchly și J. von Neumann. Cu această ocazie s-a folosit ideea de a stoca în aceeași memorie, atât datele, cât și programul, ceea ce a permis modificarea relativ ușoară a programului;

- 1945: a început construcția unui alt calculator electronic EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer) pe baza lucrării lui J.von Neumann: "Prima schiță de Raport asupra lui EDVAC". După elaborarea structurii logice de bază a calculatorului cu program memorat, au fost stabilite entitățile funcționale care concureau la realizarea acestuia:
  - un mediu de intrare care să permită introducerea unui număr nelimitat de operanzi și instrucțiuni;
  - o memorie din care se citesc operanzi sau instrucțiuni și în care se pot introduce, în ordinea dorită, rezultatele;
  - o secțiune de calcul, capabilă să efectueze operații aritmetice sau logice asupra operanzilor citați din memorie;
  - un mediu de ieșire, care să permită livrarea unui număr nelimitat de rezultate către utilizator;
  - unitate de comandă, capabilă să interpreteze instrucțiunile citite din memorie și să selecteze diverse variante de desfășurare a operațiilor, în funcție de rezultatele obținute pe parcurs.

Marea majoritate a calculatoarelor construite până în prezent se bazează pe aceste principii, purtând numele de calculatoare de tip von Neumann.

Pe baza proiectului EDVAC, Eckert și Mauchly au produs, în 1951, în cadrul unei companii proprii, primul calculator comercial UNIVAC 1.

La Universitatea Princeton, von Neumann a condus realizarea, în 1951, a calculatorului IAS, care dispunea de posibilitatea de a-și modifica partea de adresă din instrucțiune. Această facilitate asigură reducerea spațiului ocupat în memorie de către program, ceea ce permite prelucrarea unor seturi mai mari de date.

Având în vedere tehnologiile utilizate în construcția calculatoarelor, începând cu anul 1946, se pot evidenția cinci generații de calculatoare.

Întrucât funcția de prelucrare a datelor este legată și de cea de transmitere a datelor, printre caracteristicile specifice fiecărei generații de calculatoare trebuie incluse și elementele reprezentative privind tehnologiile telecomunicațiilor.

În tabelul de mai jos se prezintă caracteristicile generațiilor de sisteme de calcul și de telecomunicații.

## **EVOLUȚIA GENERAȚIILOR DE CALCULATOARE ȘI A TELECOMUNICAȚIILOR**

### **Generația I ( 1946-1956 )**

1. Hardware calculatoare: relee, tuburi electronice, tambur magnetic, tub catodic.
2. Software calculatoare: programe cablate, cod mașină, autocod. Exemple de calculatoare: ENIAC, EDVAC, UNIVAC 1, IBM 650, CIFA 1-4<sup>1</sup>, CIFA 101-102<sup>1</sup>, MARICCA<sup>1</sup>, MECIPT-1<sup>1</sup>.
3. Tehnologia telecomunicațiilor: teletype, telefon.
4. Performanțele calculatoarelor: capacitate memorie 2 Koct, viteza de operare 10.000 instr/s.

### **Generația a II-a ( 1957 - 1963 )**

1. Hardware calculatoare: tranzistoare, memorii cu ferite, cablaj imprimat, discuri magnetice.
2. Software calculatoare: limbaje de nivel înalt (Algol, FORTRAN).
3. Exemple de calculatoare: NCR 501, IBM 7094, CDC 6600, DACICC-1/2<sup>1</sup>, CET 500/501<sup>1</sup>, MECIPT-2<sup>1</sup>, DACICC-200<sup>1</sup>.
4. Tehnologia telecomunicațiilor: transmisiuni numerice, modulație în coduri de impulsuri.
5. Performanțele calculatoarelor: capacitatea memoriei 32 Koct, viteza de operare 2.000.000 instr/s.

### **Generația a III-a ( 1964 -1981 )**

1. Hardware calculatoare: circuite integrate, memorii semiconductoare, cablaj imprimat multistrat, microprocesoare, discuri magnetice, minicalculatoare.
2. Software calculatoare: limbaje de nivel foarte înalt, programare structurată, LISP, sisteme de operare orientate pe limbaje ( Algol, Pascal ), timp partajat, grafică pe calculator, baze de date.
3. Exemple de calculatoare: IBM 360-370, PDP11/XX, Spectra 70, Honeywell 200, Cray-1, Illiac IV, Cyber 205, RIAD 1-2, Felix C-256/512/1024, Independent 100/102F<sup>1</sup>, Coral 4001/4030<sup>1</sup>, Felix MC-8<sup>1</sup>, Felix M18<sup>1</sup>, M18-B<sup>1</sup>, Felix M118<sup>1</sup>, Felix M216<sup>1</sup>.
4. Tehnologia telecomunicațiilor: comunicații prin satelit, microunde, rețele, fibre optice, comutare de pachete.

Performanțele calculatoarelor: capacitatea memoriei 2 Moct, viteza de operare 5 mil.op/s.

---

<sup>1</sup> Denumirea calculatoarelor produse în România sunt prezentate cu litere cursive.

### ***Generația a IV-a ( 1982 - 1989 )***

1. Hardware calculatoare: VLSI, sisteme distribuite, discuri optice, microcalculatoare de 16/32 biți, superminicalculatoare, supercalculatoare.
2. Software calculatoare: sisteme de operare evolute, ADA, pachete de programe de largă utilizare, sisteme expert, limbaje orientate pe obiecte, baze de date relaționale.
3. Exemple de calculatoare: IBM-43xx, VAX-11/7xx, IBM-308x, RIAD3, Coral 4021<sup>2</sup>, Independent 106<sup>2</sup>, Felix 5000<sup>2</sup>, Coral 873<sup>2</sup>, 0 Felix PC<sup>2</sup>.
4. Tehnologia telecomunicațiilor: rețele integrate de comunicații numerice (digitale).
5. Performanțele calculatoarelor: capacitatea memoriei 8 Moct, viteza de operare 30 mil.instr/s

### ***Generația a V-a ( 1990 - )***

1. Hardware calculatoare: tehnici evolute de împachetare și interconectare, ULSI, proiectare circuite integrate 3D, tehnologii Ga-AS și Josephson, componente optice, arhitecturi paralele pentru prelucrarea inferențelor, rețele neuronale.
2. Software calculatoare: sisteme de operare cu interfață evoluată cu utilizatorul, limbaje concurente, programare funcțională, prelucrare simbolică (limbaje naturale, recunoașterea formelor: imagini/voce), Prolog, baze de cunoștințe, sisteme expert evolute, CAD, CAM, CAE, multimedia, realitate virtuală, web.
3. Exemple de calculatoare: stații de lucru, supercalculatoare, rețele de supercalculatoare, proiectul japonez și alte proiecte elaborate în unele țări sau grupuri de țări din Europa.
4. Tehnologia telecomunicațiilor: dezvoltarea extensivă a sistemelor distribuite, rețele locale, rețele din fibră optică de mare capacitate, rețele de transmisii radio la frecvențe de ordinul GHz cu spectru împrăștiat, telefonie digitală mobilă, fuzionarea tehnologiilor comunicațiilor și calculatoarelor, Internet.
5. Performanțele calculatoarelor: capacitatea memoriei zeci-sute Moct, viteza de operare 1 Ginstr - 1 Tinstr/s.

În prezent pentru circuitele integrate folosite în calculatoarele electronice se folosesc numeroase tehnologii, care se pot grupa în *tehnologii bipolare* și *tehnologii MOS*.

---

<sup>2</sup> Denumirea calculatoarelor produse în România sunt prezentate cu litere cursive.

### **TEHNOLOGII BIPOLARE:**

- TTL (Transistor Transistor Logic):
  - TTL-S (Schottky TTL),
  - TTL-LS (Low-Power Schottky TTL),
  - TTL-AS (Advanced Schottky TTL),
  - TTL-ALS (Advanced Low-power Schottky TTL),
  - FAST (Fairchild Advanced Schottky TTL).
- ECL (Emitter Coupled Logic).
- I<sup>2</sup>L (Integrated Injection Logic).

### **TEHNOLOGII MOS:**

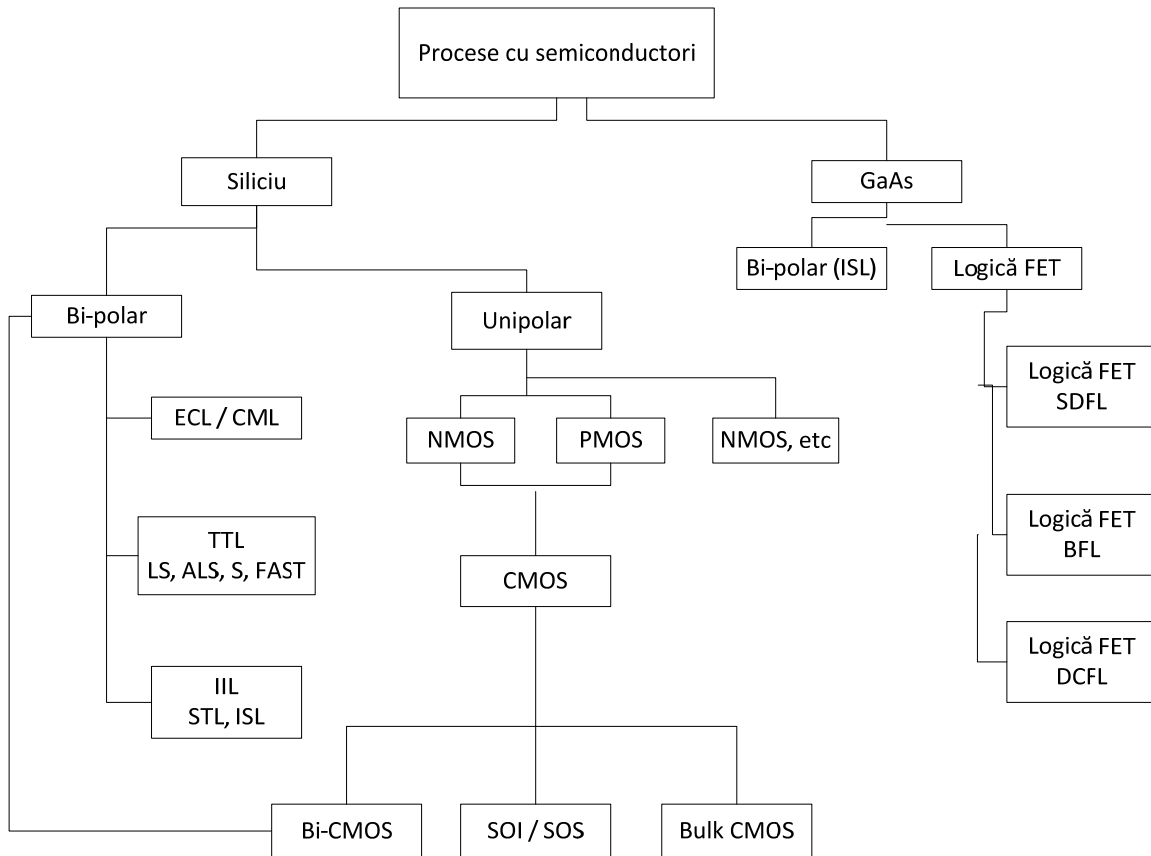
- PMOS (MOS canal P).
- NMOS (MOS canal N):
  - HMOS (High performance MOS).
- CMOS (Complementary MOS):
  - HCMOS (High density CMOS),
  - ACL (Advanced CMOS Logic).
- MNOS (Metal Nitride Oxide Semiconductor):
  - FAMOS (Floating gate Avalanche injection MOS),
  - FLOTOX (FLOating gate Tunnel Oxid).

Circuitele integrate care se folosesc în construcția calculatoarelor se plasează în categoriile: **standard**, specifice aplicațiilor (ASIC - Application Specific Integrated Circuits) și **programabile/configurabile**. La rândul lor circuitele ASIC se împart în:

- Circuite personalizate la cerere (Semi-Custom):
  - Circuite configurabile (Programmable Logic Devices),
  - Circuite predifuzate (Gate Arrays).
- Circuite realizate la comandă (Custom):
  - Circuite precaracterizate (Standard Cells),
  - Circuite realizate complet la cerere (Full Custom).

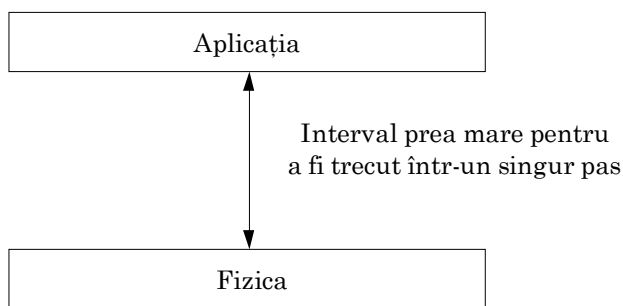
Se amintește că tranzistorul a fost inventat în anul 1947 și că primele exemplare ocupau o suprafață de  $3,5 \text{ mm}^2$ . La sfârșitul anilor 50 a apărut circuitul integrat care, grupând pe aceeași pastilă mai multe tranzistoare, a avut o evoluție spectaculoasă în sensul dublării numărului de componente pe pastilă, la fiecare 18 luni. Aceasta s-a datorat în primul rând numeroaselor perfecționări ale proceselor tehnologice, care au permis rezoluții de ordinul a  $2,5 \mu\text{m} - 0,09 \mu\text{m}$ .

În continuare se vor da unele date privind tehnologiile circuitelor VLSI, în general, evoluția memoriilor și a procesoarelor.



**Figura 1.1.** Familii de circuite logice bazate pe Si și GaAs.

### Niveluri de abstractizare în calculatoare



### Niveluri de abstractizare în calculatoarele convenționale

Aplicația
Algoritm
Limbajul
Modelul de calcul/mașina abstractă
Setul de instrucțiuni (ISA)
Microarhitectura (RTL)
Porțile
Circuitele
Dispozitivele
Fizica / Biologia

Figura 1.2. O primă detaliere a nivelurilor de abstractizare în calculatoare.

Tabelul 1.1. Niveluri de abstractizare (detaliere) pe structuri și componente.

Nivelul PMS (Processor, Memory Switches)			<b>Structuri:</b> rețele, sisteme de procesoare multiple, calculatoare <b>Componente:</b> procesoare, memorii, comutatoare, traductoare, operatori asupra datelor, legături, controlere
Nivelul programelor	Subnivelul limbajelor evolute	Aplicații	<b>Structuri:</b> pachete statice, ecuații cu derivate parțiale, simulatoare de sisteme energetice <b>Componente:</b> biblioteci matematice, rutine, rutine de formatare
		Rutine aplicative	<b>Structuri:</b> funcții matematice, pachete pentru aplicații grafice <b>Componente:</b> subrutine, alocatoare de memorie



		Pachete de Asistență în timpul execuției	<b>Structuri:</b> alocatoare de memorie, rutine de I/E, sisteme de fișiere <b>Componente:</b> apeluri ale sistemului de operare	
		Sisteme operare	<b>Structuri:</b> planificatoare, alocatoare, comunicații <b>Componente:</b> subrutine, corutine, programe	
	Subnivelul ISP (Instruction Set Protocol)		<b>Structuri:</b> set de instrucțiuni <b>Componente:</b> stare memorie, stare procesor, calcul adresă efectivă, decodificare instrucțiuni, execuție instrucțiuni	
Nivelul proiectării	Subnivelul transferurilor între registre	Unitate de comandă	Microprogramată	<b>Structuri:</b> microprogram, microrutină <b>Componente:</b> microsecvențiator, memorie de microinstrucțiuni
			Convențională	<b>Structuri:</b> secvențiator <b>Componente:</b> mașini secvențiale
		Unitate de execuție		<b>Structuri:</b> unitate aritmetică, registre generale <b>Componente:</b> registre, operatori asupra datelor
		Subnivelul circuitelor de comutație	Circuite secvențiale	
Circuite combinaționale			<b>Structuri:</b> codificatoare, decodificatoare, operatori asupra datelor <b>Componente:</b> porți logice	
Nivelul circuitelor		<b>Structuri:</b> amplificatoare, elemente de întârziere, ceas, porți <b>Componente:</b> tranzistoare, relee, rezistențe, capacități		

## 1.2. STUDIU DE CAZ

Sun Microsystems a lansat SPARCstation 1 în aprilie 1989. Acesta reprezintă, în prezent, un proiect vechi, însă important, deoarece a fost una dintre primele stații de lucru care au făcut uz, în mod extensiv de ASIC (Application Specific Integrated Circuits), pentru a rezolva următoarele probleme:

- performanțe mai bune la un cost scăzut;
- dimensiuni mici, putere consumată redusă;
- număr mic de componente, simplificarea asamblării, fiabilitate îmbunătățită.

SPARCstation 1 conține circa 50 CI pe placa de bază a sistemului - excluzând DRAM, folosit pentru implementarea memoriei de sistem (componente standard).

Proiectanții lui SPARCstation 1 au partiționat sistemul în 9 circuite ASIC, care sunt prezentate în Tab.1., și au scris specificațiile pentru fiecare ASIC, în circa 3 luni. Companiile LSI Logic și Fujitsu au proiectat unitatea pentru întregi (UI) și unitatea de prelucrare în virgulă mobilă (UVM) conform acestor specificații.

ASIC-ul pentru ceas se bazează pe un proiect obișnuit. Dintre cele 6 ASIC-uri rămase: controlorul video/tamponul de date, controlorul RAM și controlorul de acces direct la memorie (ADM) sunt definite de către magistrala de sistem, de 32 de biți, (Sbus), și de către celelalte ASIC-uri cu care acestea se conectează.

Restul sistemului este partiționat în alte 3 ASIC-uri: controlorul de memorie cache, unitatea de management al memoriei (UMM) și tamponul de date. Aceste 3 ASIC-uri, împreună cu UI și UVM au întârzieri critice și determină partiționarea sistemului.

Proiectarea ASIC-urilor 3-8 din Tabelul 1.2 a necesitat un efort de 6 luni pentru 5 ingineri de la Sun, după ce au fost elaborate specificațiile.

Pe durata procesului de proiectare, inginerii Sun au simulat întreaga stație SPARC 1- inclusiv sistemul de operare Sun (SunOS)

**Tabelul 1.2 ASIC-urile folosite în implementarea lui SPARCstation1 de către Sun Microsystems**

	<b>SPARCstation 1 ASIC</b>	<b>Porți (k-porți)</b>
1	SPARC unitatea pentru întregi (UI)	20
2	SPARC unitatea de virgulă mobilă (UVM)	50
3	Controlorul de cache	9
4	Unitatea de management al memoriei (UMM)	5
5	Tampon de date	3
6	Controlor pentru accesul direct la memorie (ADM)	9
7	Controlor video/tampon de date	4
8	Controlorul RAM	1
9	Generator de ceas	1

Tabelul 1.3 prezintă uneltele software utilizate pentru proiectarea SPARCstation 1, multe dintre ele fiind în prezent depășite.

**Tabelul 1.3. Unele CAD folosite pentru proiectarea lui Sun Microsystems SPARCstation 1.**

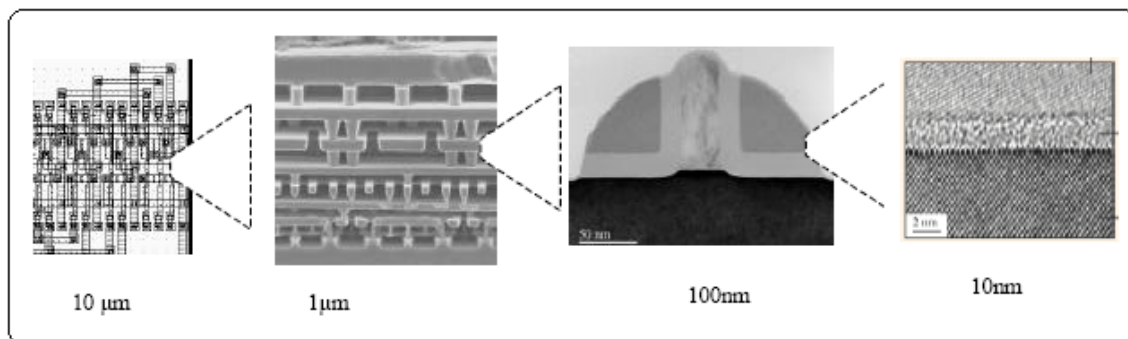
Nivelul proiectării	Funcția	Denumirea pachetului software
Proiectare ASIC	Proiectare fizică ASIC Sinteză logică ASIC Simulare ASIC	LSI logic Unelte proprii și de la UC Berkeley LSI logic
Proiectare placă	Preluarea schemei Circuit imprimat Verificarea sincronizării	Valid Logic Valid Logic Allegro Quad Design Motive and internal tools
Proiectare mecanică	Cabinet și anexe mecanice Analiză termică Analiză structurală	Autocad Pacific Numerix Cosmos
Management	Planificare Documentație	Suntrac Interleaf and FrameMaker

SPARCstation 1 costa circa \$9000 în 1989. Având o viteză de execuție de circa 12 milioane instrucțiuni/s (MIPS) se obținea \$750/MIPS. Folosind tehnologia ASIC s-au redus dimensiunile plăcii de baza la 21,6 x 28,0 cm<sup>2</sup>, cu o putere consumată de circa 12 W. SPARCstation 1 “pizza box” era mai redusă ca dimensiuni decât un calculator personal compatibil IBM, în 1989.

### **1.3 TENDINȚE GENERALE PRIVIND DEZVOLTAREA DOMENIULUI VLSI (14)**

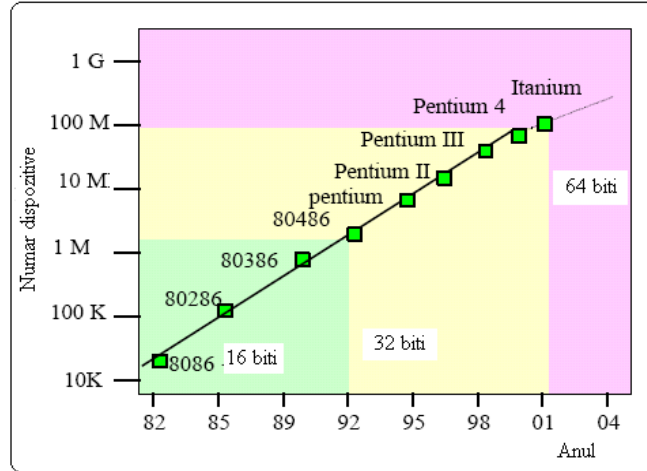
Evoluția tehnicilor de fabricație a circuitelor integrate este unică în istoria industriei moderne. Tendințele privind creșterea vitezei, mărirea densității, cât și reducerea costului circuitelor integrate s-au menținut în mod constant, pe parcursul ultimilor 30 de ani.

În continuare se prezintă tendințele de scalare a tehnologiei.



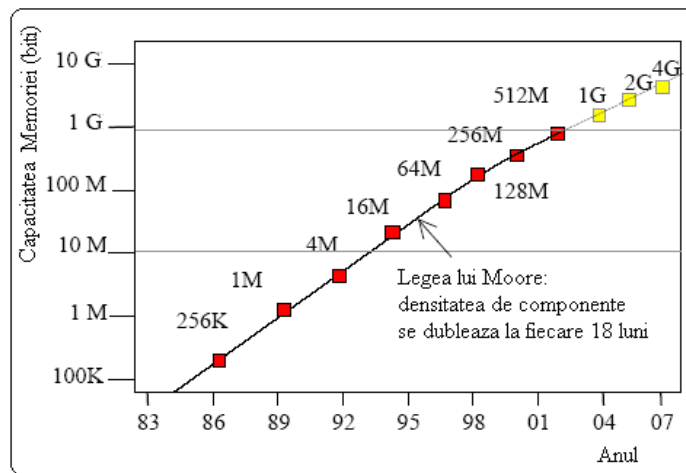
**Figura 1.3. Structuri reprezentative pentru un circuit integrat la diverse niveluri de detalieri de la 10μm la 1nm. (IBM, Fujitsu)**

Mai jos se prezintă evoluția în timp a complexității procesoarelor Intel, ca număr de dispozitive pe un circuit integrat. Pentium IV, care se producea în 2003, avea circa 50.000.000 tranzistoare MOS, pe o pastilă de 2x2 cm<sup>2</sup>.



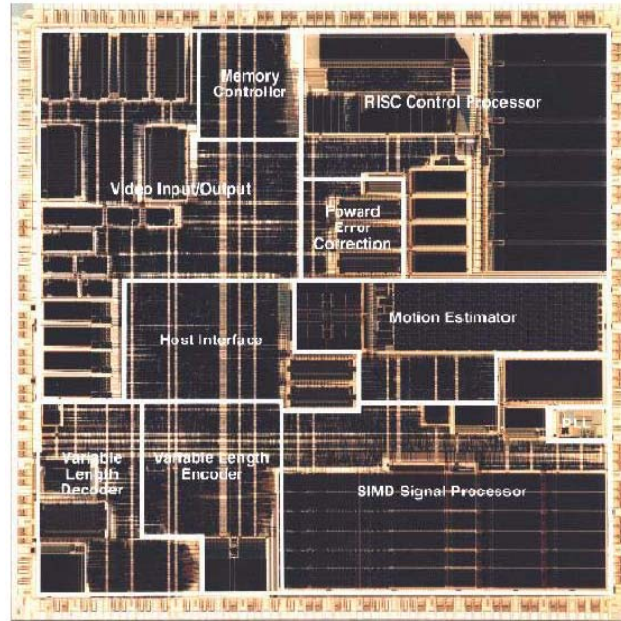
**Figura 1.4. Evoluția procesoarelor INTEL**

Începând cu memoria de 1Kb, realizată de către Intel, în 1971, memoriile semiconductoare au avut o evoluție susținută în termeni de capacitate și performanță: 256Mb în anul 2000, 1Gb în anul 2004, cu ținta de 16Gb, în 2008, conform previziunilor ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductor Technology).



**Figura 1.5. Evoluția capacității în biți a circuitelor de memorie (ITRS)**

Organizarea la nivelul planului de amplasare a blocurilor componente ale unui microcontrolor industrial destinat aplicațiilor în industria automobilelor este prezentată mai jos. Pe lângă unitatea de prelucrare (procesor) microcontrolorul mai posedă diverse tipuri de memorii: EPROM, FLASH și RAM.



**Figura 1.6. Componentele unui circuit specializat destinat aplicațiilor video.**

În ceea ce privește reducerea dimensiunilor, se vor considera patru generații de tehnologii pentru circuitele integrate la nivelurile de:

- micrometru;
- submicrometru, 1990 - tehnologie 0,8  $\mu\text{m}$ ;
- adânc submicrometru (deep submicron), 1995 – tehnologie 0,3  $\mu\text{m}$ ;
- ultra-adânc submicrometru (ultra deep submicron) – tehnologie 0,1  $\mu\text{m}$ .

Cercetarea se află cu circa 5 ani înaintea producției de masă, în ceea ce privește tehnologia. Se așteaptă ca în anul 2007 procesele litografice să coboare sub 0,07  $\mu\text{m}$ . Litografia, exprimată în  $\mu\text{m}$ , corespunde celor mai mici forme care pot fi realizate pe suprafața unui circuit integrat.

Tabela de mai jos prezintă parametrii mai importanți și evoluția lor odată cu perfecționarea tehnologiilor. Trebuie menționate creșterea numărului de straturi de metal, pentru interconectări, reducerea tensiunii de alimentare  $V_{DD}$ , micșorarea grosimii stratului de oxid al porții, până la dimensiuni atomice. Se remarcă, de asemenea, creșterea dimensiunilor pastilei, cât și mărirea numărului de ploturi de I/E, disponibile pe o singură pastilă.

**Tabelul 1.4. Parametrii mai importanți și evoluția lor odată cu perfecționarea tehnologiilor.**

Litografia	Anul	Straturi de metal	Tensiunea de alimentare (V)	Grosimea oxidului (nm)	Aria circuitului $nm \times nm$	Ploturi de I/E	Fișierul de reguli microwind2
$1,2\mu m$	1986	2	5,0	25	5x5	250	Cmos12.rul
$0,7\mu m$	1988	2	5,0	20	7x7	350	Cmos08.rul
$0,5\mu m$	1992	3	3,3	12	10x10	600	Cmos06.rul
$0,35\mu m$	1994	5	3,3	7	15x15	800	Cmos035.rul
$0,25\mu m$	1996	6	2,5	5	17x17	1000	Cmos025.rul
$0,18\mu m$	1998	6	1,8	3	20x20	1500	Cmos018.rul
$0,12\mu m$	2001	6-8	1,2	2	22x20	1800	Cmos012.rul
$90nm$	2003	6-10	1,0	1,8	25x20	2000	Cmos90n.rul
$70nm$	2005	6-12	0,8	1,6	27x20	3000	Cmos70n.rul

Ca o consecință a perfecționării procesului litografic, pe aceeași arie de siliciu se pot implementa mai multe funcții. Creșterea numărului de straturi de metal, pentru interconectări, a condus la o utilizare mai eficientă a ariei de siliciu, ca și pentru circuitul imprimat. De asemenea, dispozitivele MOS pot fi plasate la distanțe mai mici unul fata de celălalt.



**Figura 1.7. Evoluția ariei de Si utilizată pentru implementarea porții NAND.**

Creșterea densității conduce la reducerea ariei și la micșorarea capacităților parazite ale joncțiunilor și interconexiunilor, având ca efect creșterea vitezei de operare. În același timp, dimensiunile mai mici ale dispozitivelor permit, în continuare, sporirea vitezei de lucru, respectiv, creșterea frecvenței ceasului.

Dimensiunile discurilor (wafers) de Si au crescut în mod continuu. Un diametru mai mare al discului înseamnă mai multe structuri produse în același timp, dar necesită echipamente ultra-performante pentru manipularea și prelucrarea acestora cu precizie la scară atomică. Această tendință este prezentată în figura de mai jos.

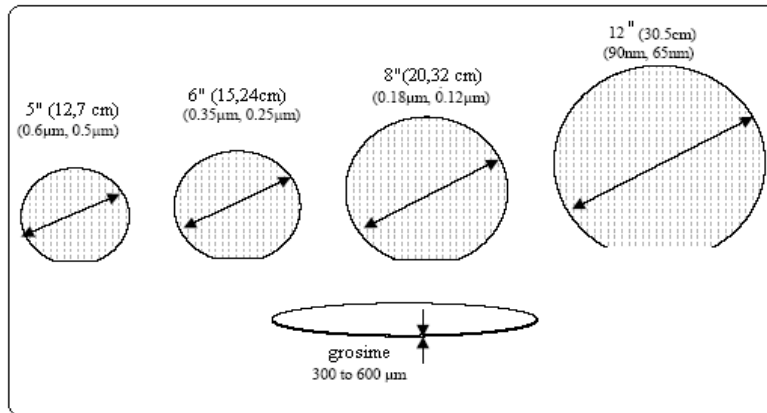


Figura 1.8. Evoluția dimensiunilor discurilor (wafers) de Si.

