

Chương 1

GIỚI THIỆU

DỤNG CỤ BÁN DẪN

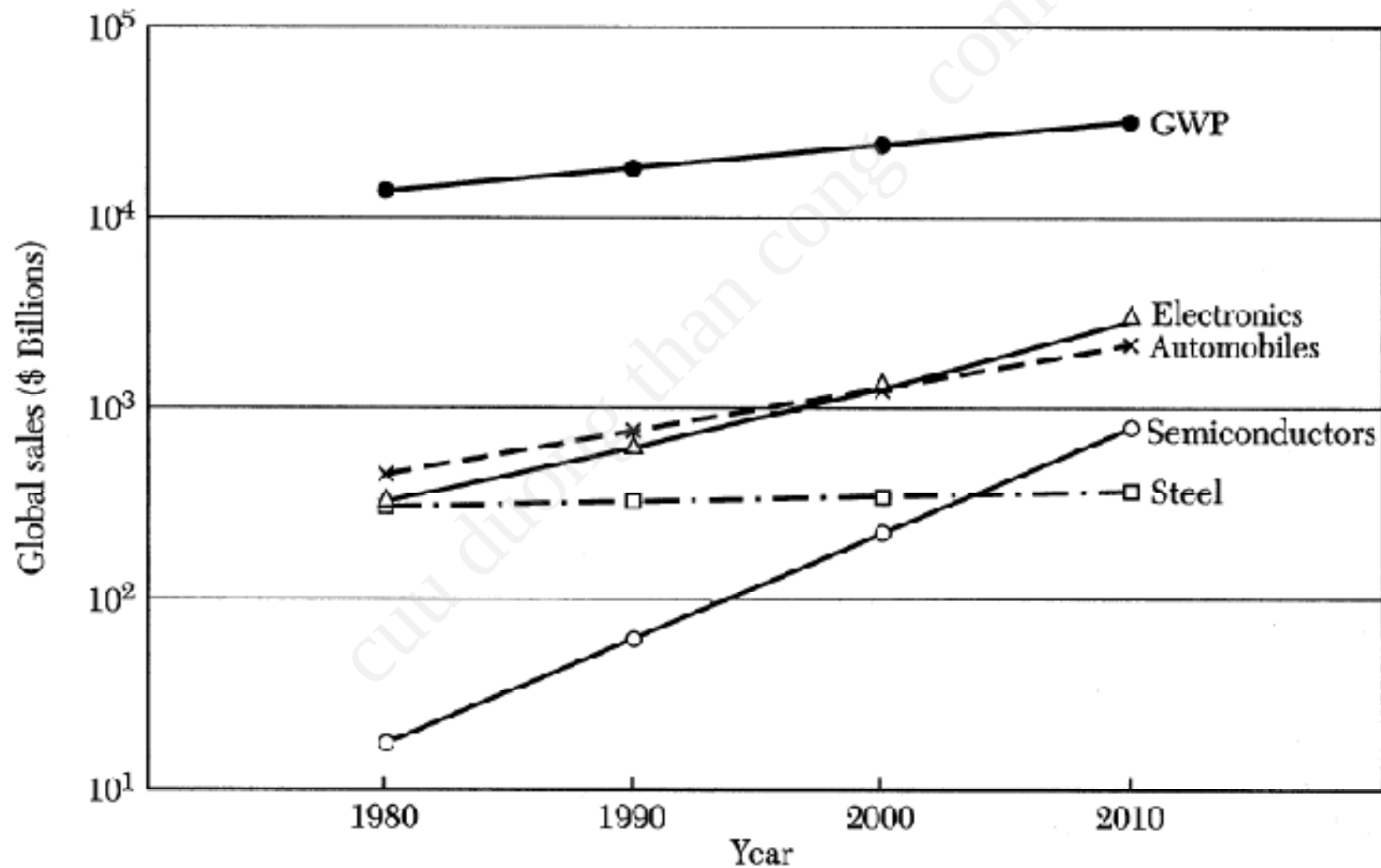
- Dụng cụ bán dẫn: nền tảng của ngành công nghiệp điện tử - một trong các ngành công nghiệp lớn nhất thế giới với doanh số toàn cầu hơn một ngàn tỉ đô la từ năm 1998.
- kiến thức cơ bản về các dụng cụ bán dẫn
→ hiểu về các môn học khác trong kỹ thuật điện-điện tử.

NỘI DUNG

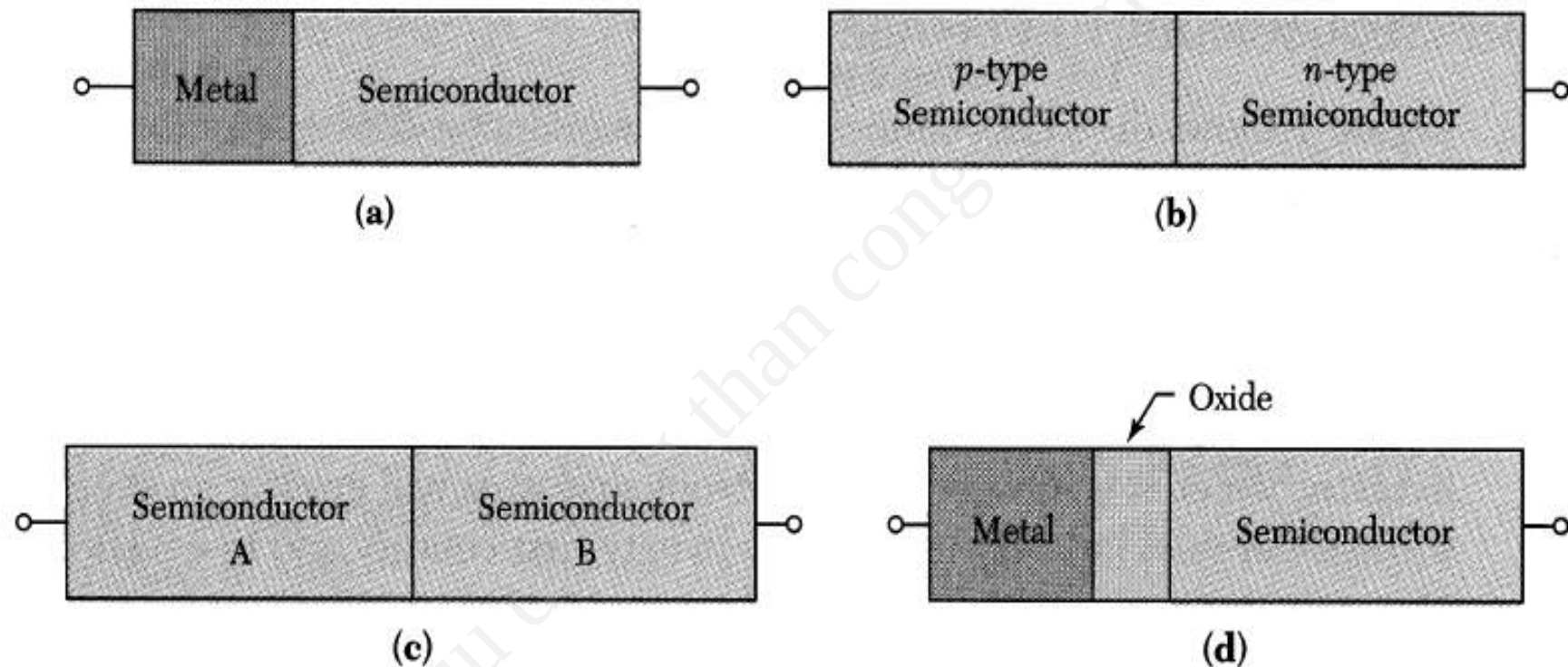
- ❑ Bốn khối xây dựng của các dụng cụ bán dẫn.
- ❑ Mười tám dụng cụ bán dẫn quan trọng và vai trò của chúng trong các ứng dụng điện tử.
- ❑ Hai mươi công nghệ bán dẫn quan trọng và vai trò của chúng trong chế tạo dụng cụ.
- ❑ Xu hướng công nghệ tiến tới mật độ cao, tốc độ cao, tiêu thụ năng lượng thấp, và không bốc hơi (nonvolatility).

1.1 Dụng cụ bán dẫn

Fig. 1 Gross world product (GWP) and sales volumes of the electronics, automobile, semiconductor, and steel industries from 1980 to 2000 and projected to 2010



1.1.1 Các khối xây dựng của dụng cụ bán dẫn



Hình 2. Các khối xây dựng cơ bản.

(a) Giao tiếp kim loại-bán dẫn; (b) chuyển tiếp P-N;
(c) giao tiếp dị thể (Heterojunction);
và (d) cấu trúc MOS (metal-oxide-semiconductor)

1.1.2 Các dụng cụ bán dẫn chính

TABLE 1 Major Semiconductor Devices

Year	Semiconductor Device ^a	Author(s)/Inventor(s)	Ref.
1874	Metal-semiconductor contact ^b	Braun	5
1907	Light emitting diode ^b	Round	6
1947	Bipolar transistor	Bardeen, Brattain, and Shockley	7
1949	p - n junction ^b	Shockley	8
1952	Thyristor	Ebers	9
1954	Solar cell ^b	Chapin, Fuller, and Pearson	10
1957	Heterojunction bipolar transistor	Kroemer	11
1958	Tunnel diode ^b	Esaki	12
1960	MOSFET	Kahng and Atalla	13
1962	Laser ^b	Hall et al	15
1963	Heterostructure laser ^b	Kroemer, Alferov and Kazarinov	16,17
1963	Transferred-electron diode ^b	Gunn	18
1965	IMPATT diode ^b	Johnston, DeLoach, and Cohen	19

(continued)

Các dụng cụ bán dẫn chính (tt)

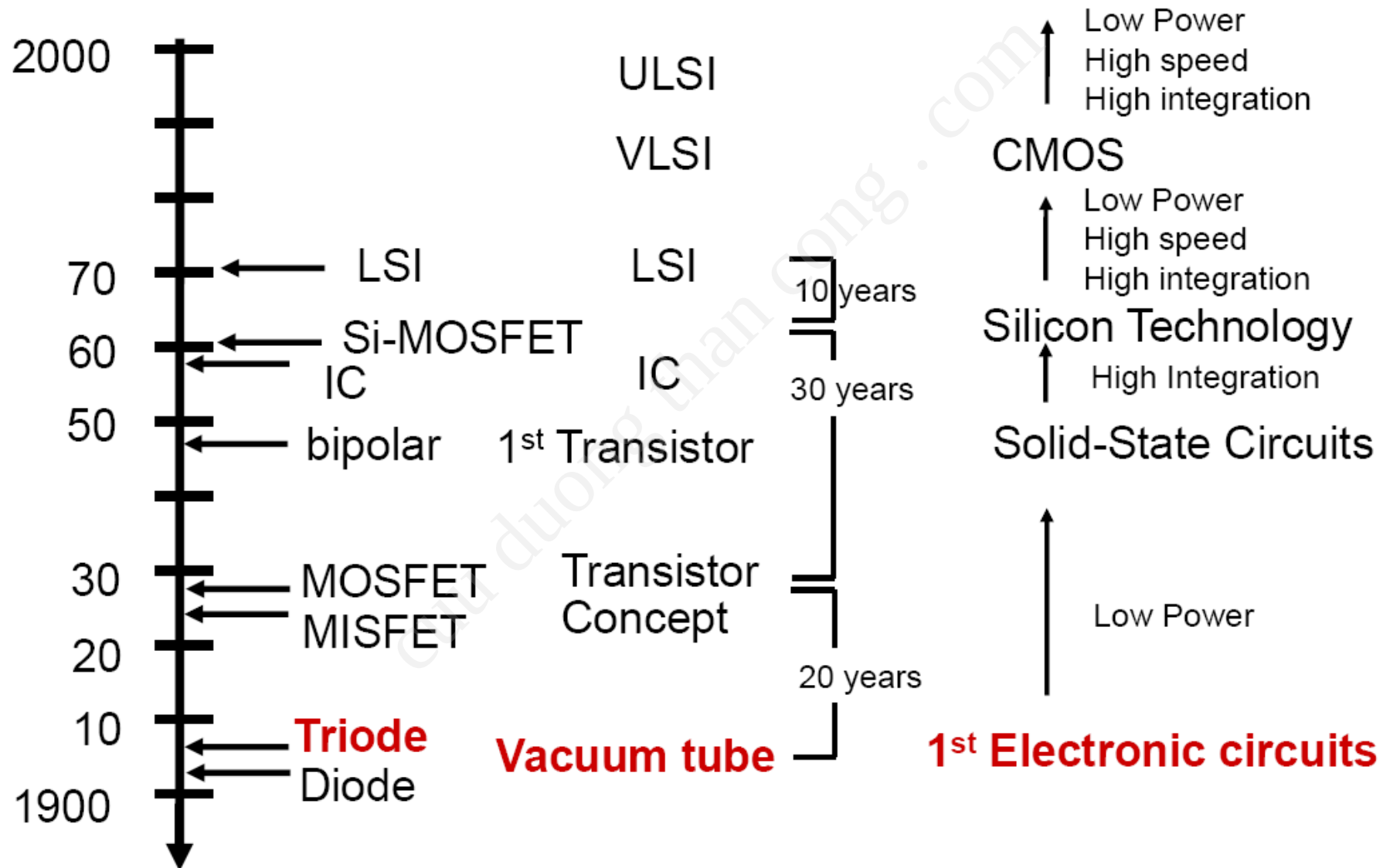
TABLE 1 (continued)

Year	Semiconductor Device ^a	Author(s)/Inventor(s)	Ref.
1966	MESFET	Mead	20
1967	Nonvolatile semiconductor memory	Kahng and Sze	21
1970	Charge-coupled device	Boyle and Smith	23
1974	Resonant tunneling diode ^b	Chang, Esaki, and Tsu	24
1980	MODFET	Mimura et al.	25
1994	Room-temperature single-electron memory cell	Yano et al.	22
2001	20 nm MOSFET	Chau	14

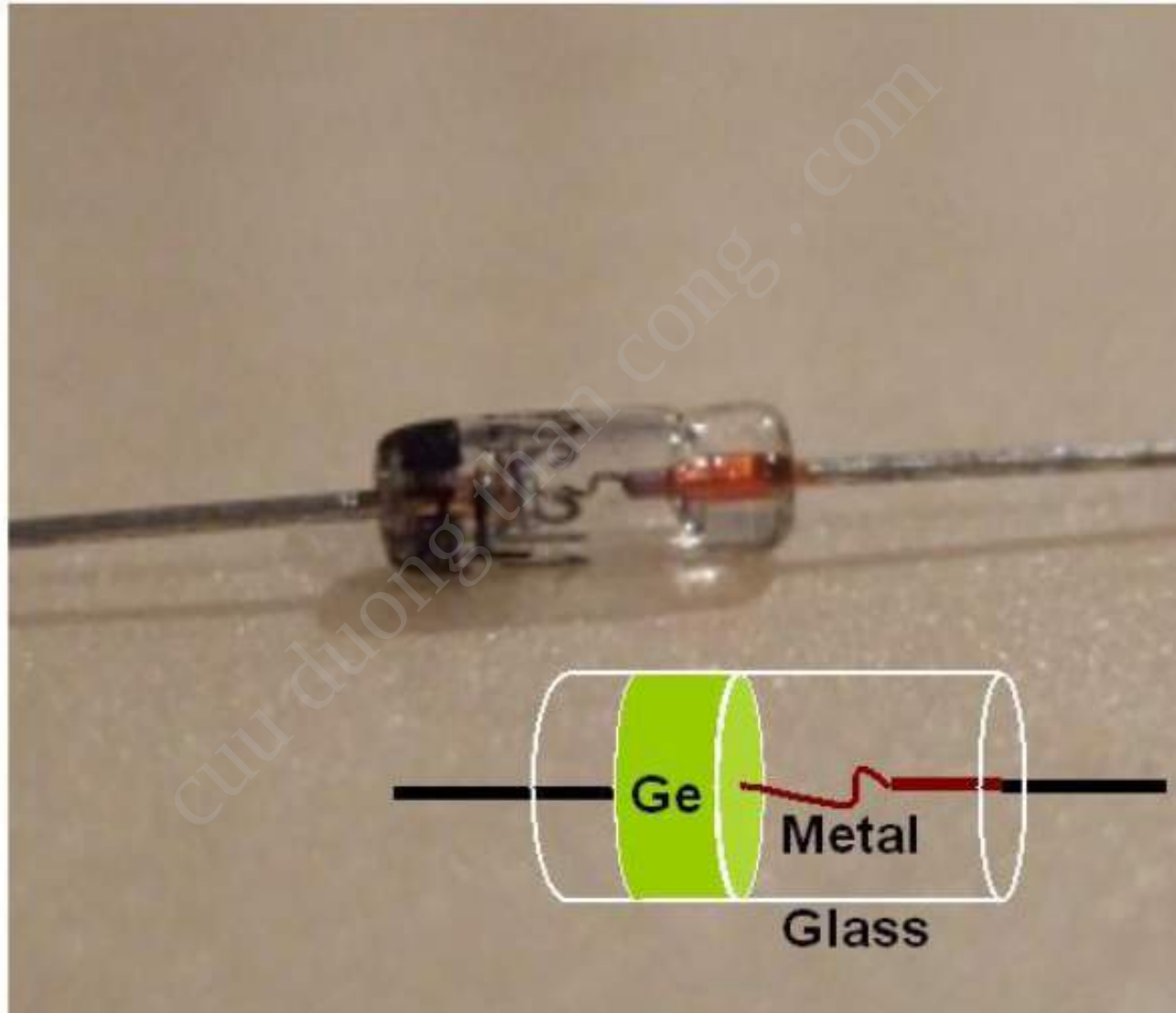
^aMOSFET, metal-oxide-semiconductor field-effect transistor; MESFET, metal-semiconductor field-effect transistor; MODFET, modulation-doped field-effect transistor.

^bDenotes a two-terminal device, otherwise it is a three- or four-terminal device.

Lịch sử các dụng cụ điện tử

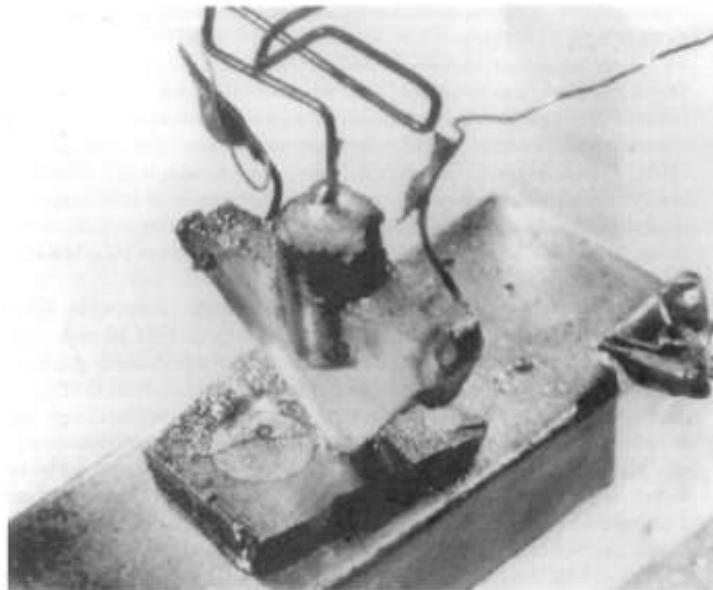


Diode

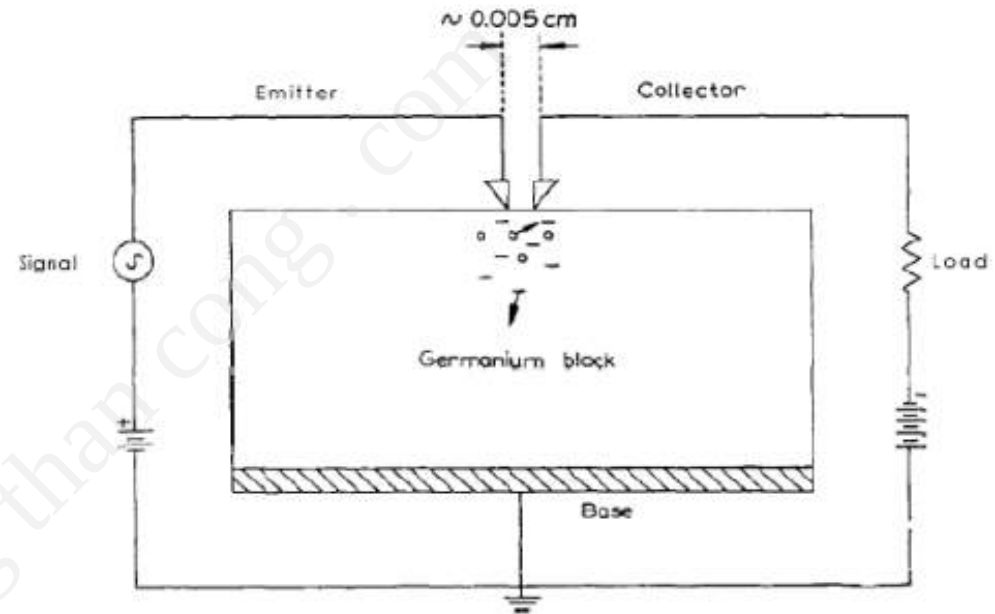


Metal-Ge point contact diode, with Schottky junction (IS-32)

The bipolar transistor



First transistor (Point-contact transistor using germanium). The transistor was invented by Bardeen, Brattain and Shockley at Bell Labs in 1947 [Ref.: M.S. Sze].



Schematic diagram of a point-contact transistor. [Ref.: Bardeen, Noble laudate lecture, 1956].

The metal oxide field effect transistor (MOSFET)

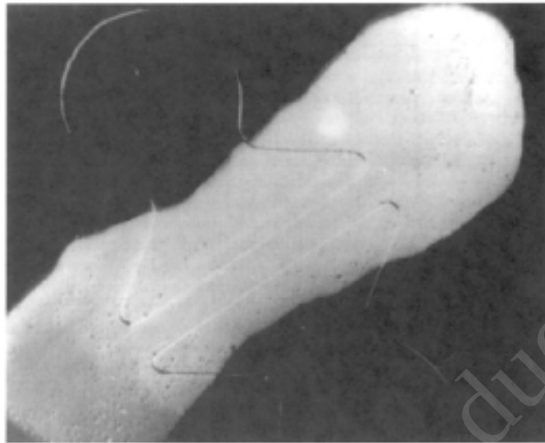
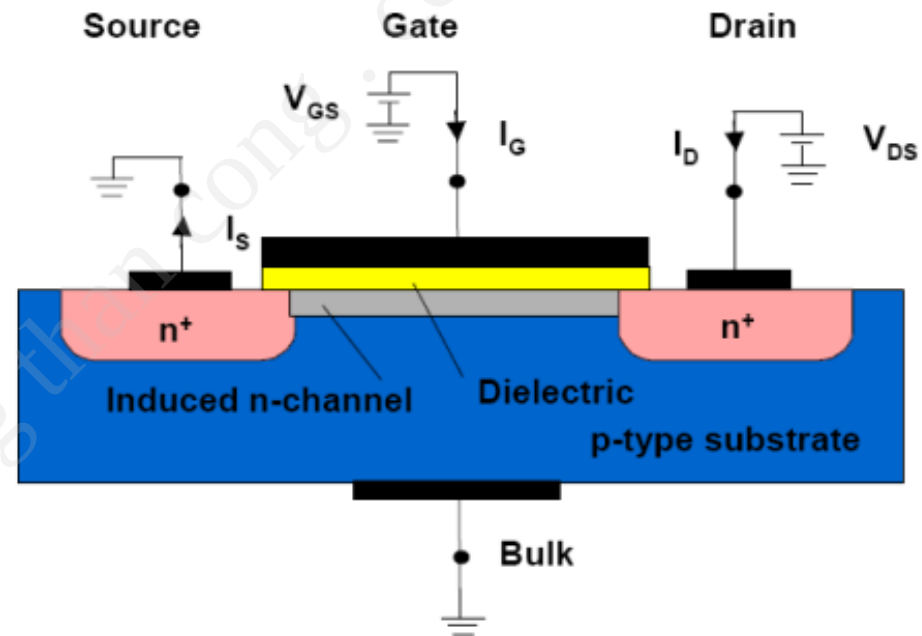


Photo of the first metal oxide semiconductor field effect transistor (MOSFET). The transistor was realized in 1960 [Ref.: M.S. Sze].

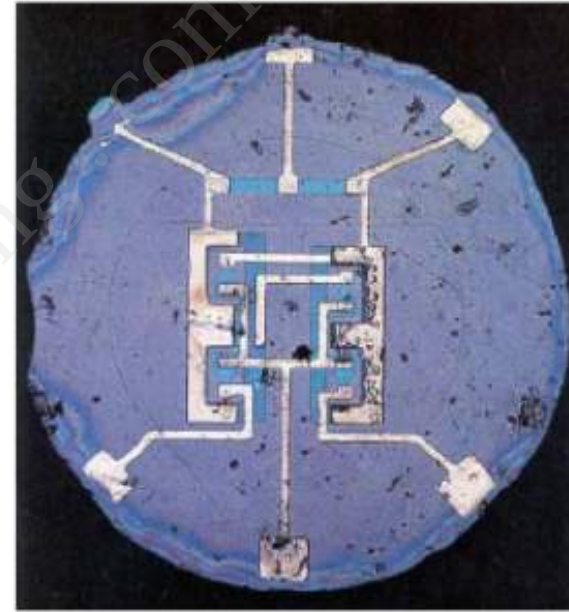


Schematic cross section of a metal oxide semiconductor field effect transistor (MOSFET).

Integrated Circuits (1/3)

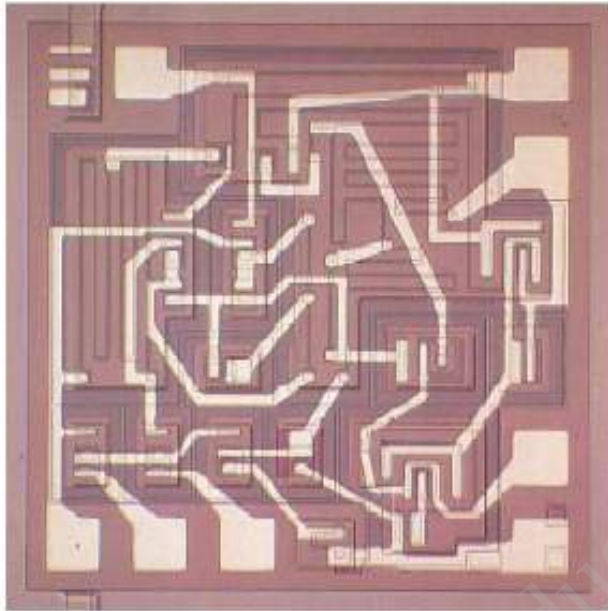


Integrated Circuits (1958)
Phase Shift Oscillator
Jack Kilby, Texas Instruments,

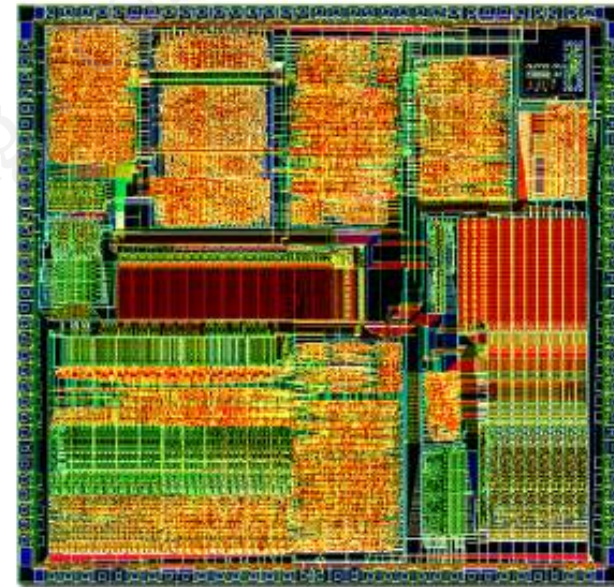


Planar Process (1962)
RTL (Resistor-Transistor Logic)
(Noyce and Hoerni)

Integrated Circuits (2/3)

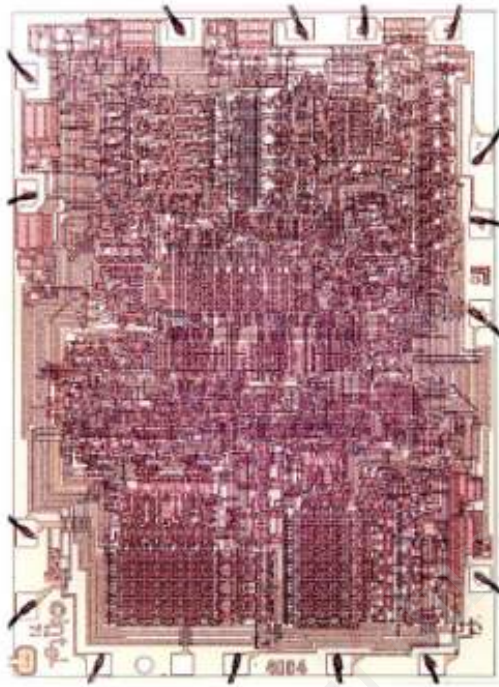


Operational Amplifier (1965)
Fairchild μ A 709

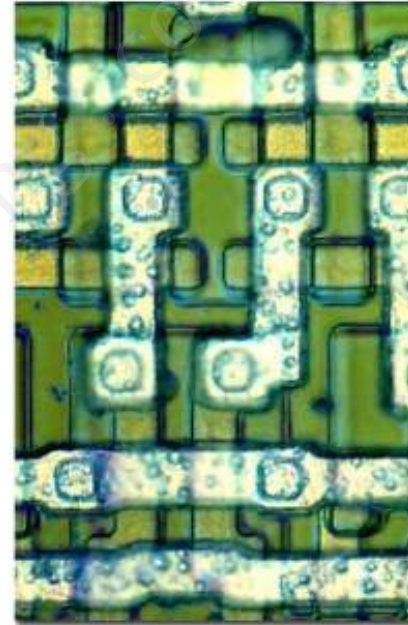


Microprocessor (today)
Fairchild Clipper 100

Integrated Circuits (3/3)



First microprocessor Intel 4004,
Manufactured in 1971
Size: 3 x 4 mm
2300 transistors
Clock: 108kHz



First microprocessor Intel 4004,
zoomed in

1.2 Công nghệ bán dẫn

1.2.1 Các công nghệ bán dẫn chính

TABLE 2 Key Semiconductor Technologies

Year	Technology ^a	Author(s)/Inventor(s)	Ref.
1918	Czochralski crystal growth	Czochralski	27
1925	Bridgman crystal growth	Bridgman	28
1952	III-V compounds	Welker	29
1952	Diffusion	Pfann	31
1957	Lithographic photoresist	Andrus	32
1957	Oxide masking	Frosch and Derrick	33
1957	Epitaxial CVD growth	Sheftal, Kokorish, and Krasilov	34
1958	Ion implantation	Shockley	35
1959	Hybrid integrated circuit	Kilby	36
1959	Monolithic integrated circuit	Noyce	37
1960	Planar process	Hoerni	38
1963	CMOS	Wanlass and Sah	39
1967	DRAM	Dennard	40
1969	Polysilicon self-aligned gate	Kerwin, Klein, and Sarace	41
1969	MOCVD	Manasevit and Simpson	42
1971	Dry etching	Irving, Lemons, and Bobos	43
1971	Molecular beam epitaxy	Cho	44
1971	Microprocessor (4004)	Hoff et al.	45
1982	Trench isolation	Rung, Momose, and Nagakubo	46
1989	Chemical mechanical polishing	Davari et al.	47
1993	Copper interconnect	Paraszcak et al.	48

^aCVD, chemical vapor deposition; CMOS, complementary metal-oxide-semiconductor field-effect transistor; DRAM, dynamic random access memory; MOCVD, metalorganic CVD.

Các công nghệ bán dẫn chính (..)

Theo thứ tự thời gian:

1. Czochralski crystal growth (tăng trưởng tinh thể)
2. Bridgman crystal growth (tăng trưởng tinh thể)
3. III-V compounds (hợp chất III-V)
4. Diffusion (Khuếch tán)
5. Lithographic photoresist (kỹ thuật quang khắc)
6. Oxide masking (tạo mặt nạ oxide)
7. Epitaxial CVD growth (tăng trưởng bằng lắng đọng hơi hóa học với epitaxy)
8. Ion implantation (cấy ion)
9. Hybrid integrated circuit (vi mạch lai/hỗn hợp)
10. Monolithic integrated circuit (vi mạch đơn khối)
11. Planar process (xử lý plana)

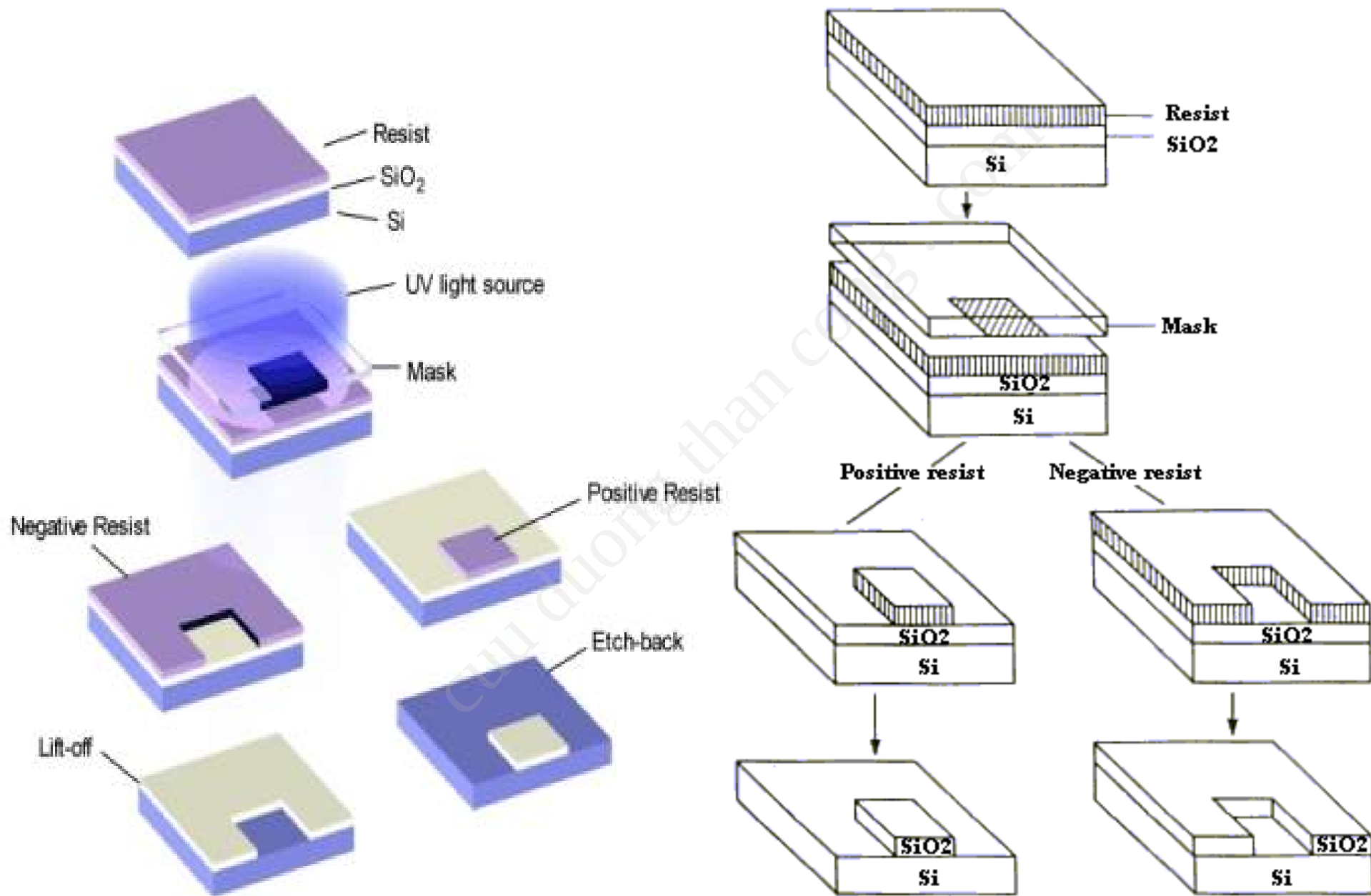
Các công nghệ bán dẫn chính (..)

12. CMOS
13. DRAM
14. Polysilicon self-aligned gate
15. MOCVD (lắng đọng hơi hóa học với hợp chất hữu cơ-kim loại)
16. Dry etching (dán khô)
17. Molecular beam epitaxy
18. Microprocessor (4004)
19. Trench isolation
20. Chemical mechanical polishing
21. Copper interconnect (kết nối bằng đồng)

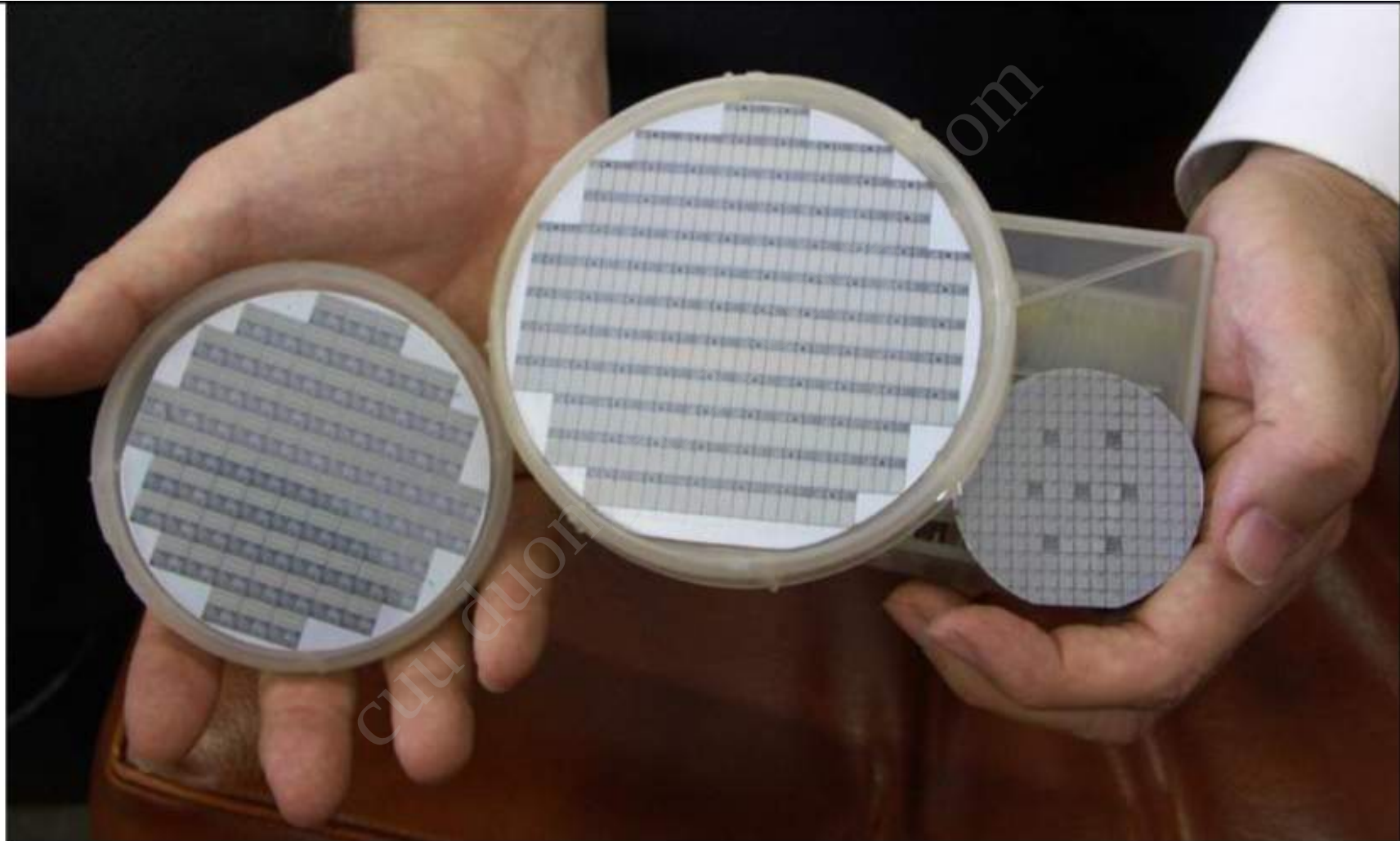
CVD, chemical vapor deposition; CMOS, complementary metal-oxide-semiconductor field-effect transistor; DRAM, dynamic random access memory; MOCVD, metalorganic CVD.

Photolithography (kỹ thuật quang khắc)

- Vẽ lên wafer rồi tẩy đi phần mình muốn tẩy và giữ lại những phần mình cần.
- Mực vẽ này kêu là chất cản quang (photoresist). Có 2 loại: chất cản quang dương và âm.
 - Loại dương thì phần bị che khuất sẽ còn lại.
 - Loại âm thì phần che đi sẽ bị tẩy mất.
- Mask (mặt nạ): phần này là do một hãng chuyên làm, nó chỉ là một miếng kiếng có hình muốn vẽ lên wafer. Một wafer có rất nhiều mask, từ hàng trăm mask trở lên. Mỗi một mask thì thường là gồm có vài chục đến vài trăm hình của một die (1 die sẽ là một IC).
 - Ngày xưa lúc wafer còn nhỏ, kỹ nghệ còn thô sơ thì thường họ làm 1 mask cho 1 die. Một bộ mask cho vi xử lý giá khoảng 250,000USD (giá năm 1990s)



Hình ảnh các phiến Silic (silicon wafer)



64k DRAM
3 inch wafer
1979

64k DRAM
4 inch wafer
1980

1k SRAM
2 inch wafer
1974

1.2.2 Các xu hướng công nghệ

- ❑ Thu nhỏ dụng cụ
 - Có được bằng giảm chiều dài đặc trưng (feature length) của IC → *tăng mật độ tích hợp*.
 - Cũng làm giảm năng lượng tiêu thụ.
- ❑ IC có tốc độ xử lý cao
- ❑ Tiêu thụ năng lượng thấp: giảm độ lớn nguồn cấp điện, cách thiết kế hướng tới công suất thấp
- ❑ Nhu cầu bộ nhớ trong các thiết bị càng tăng

Fig. 8 Exponential increase of dynamic random access memory density versus year based on the Semiconductor Industry Association (SIA)

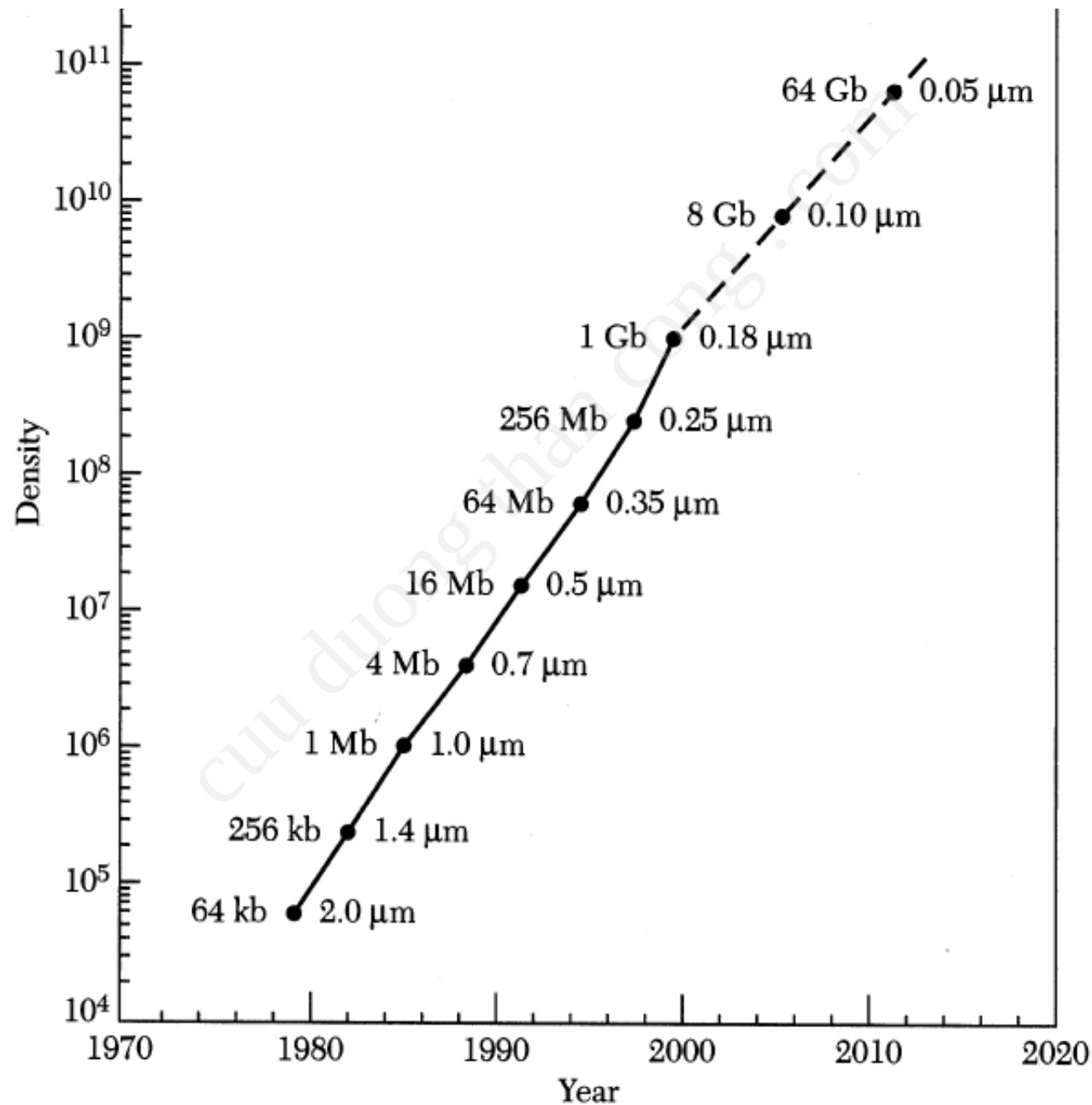


Fig. 9 Exponential increase of microprocessor computational power versus year.

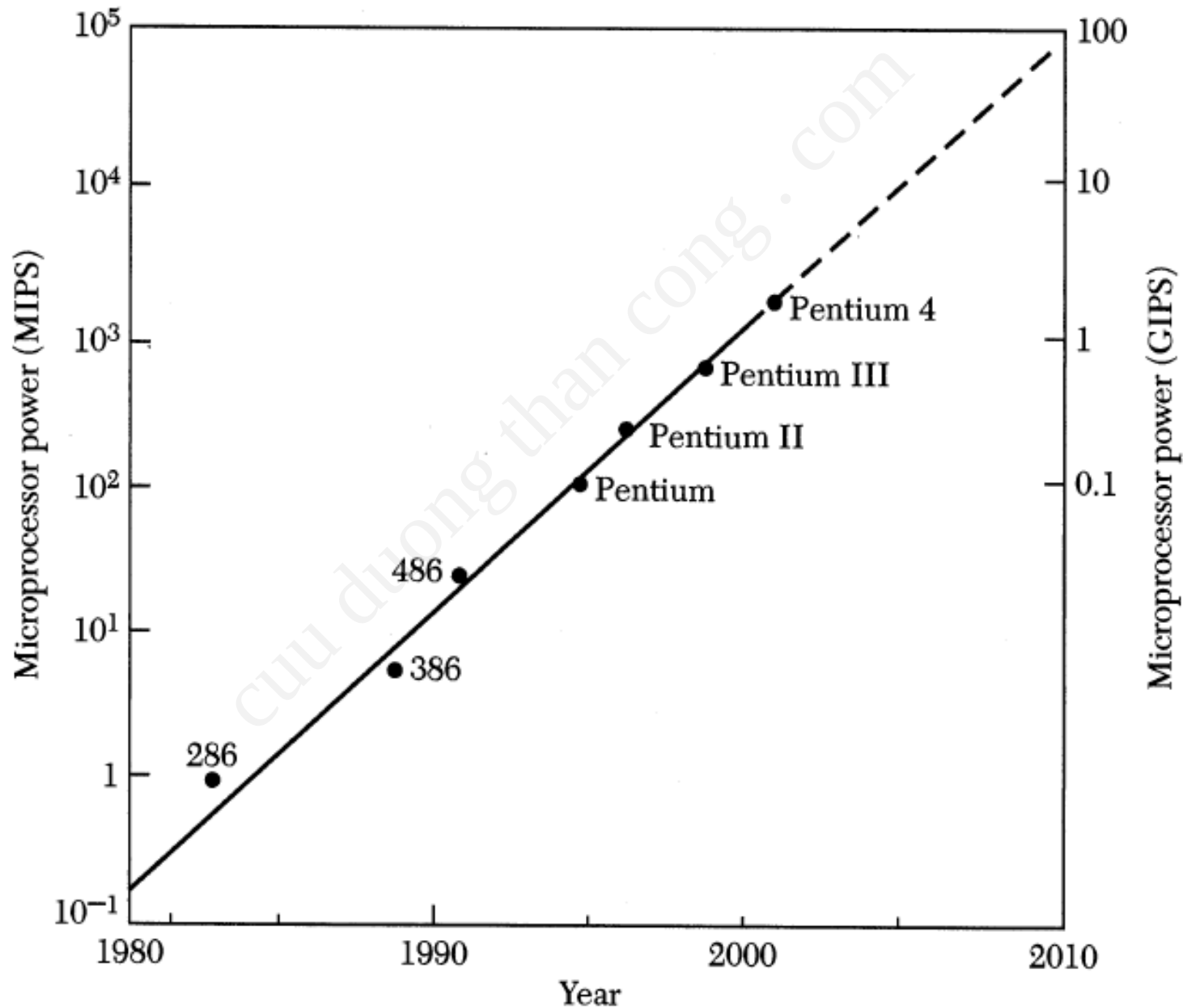
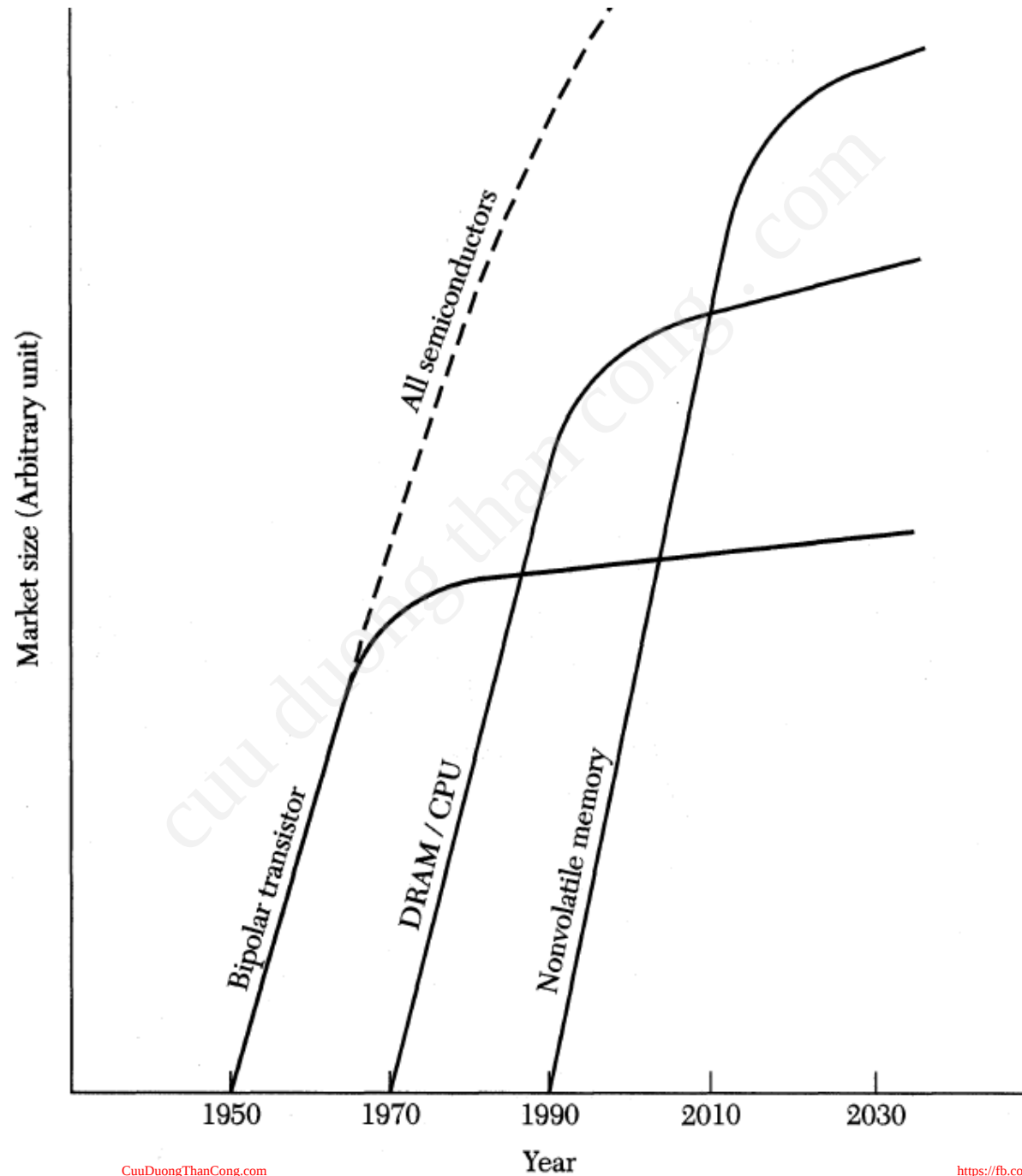
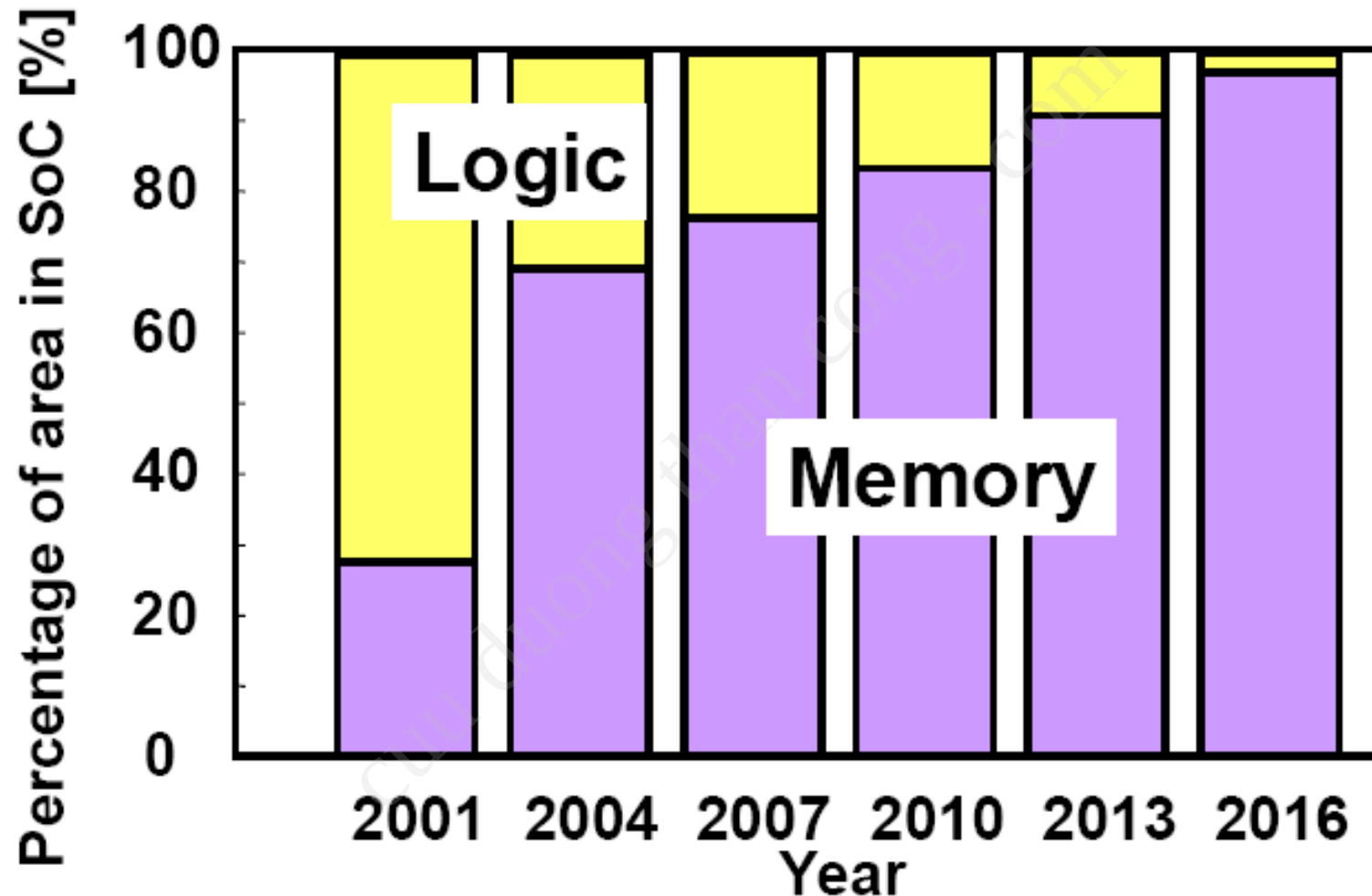


Fig. 10 Growth curves for different technology drivers



Memory area will increase



Due to design productivity, yield, and power