

Mikro- és nanotechnika

A mikro- és nanotechnika c. tárgy megkísérli áttekinteni a mikro-és nanotechnika alapjait, főbb alkalmazásait, és a várható fejlődési irányokat.

1. félév: mikrotechnika

2. félév: nanotechnika

Mikrotechnika: mikrométeres objektumok

Nanotechnika (nanotechnológia, nanotudomány): nanométeres objektumok
(legalább az egyik kiterjedés)

1. félév:

Mikro- és optoelektronika (nanoelektronika? 45 nm vezetékszélesség 2009-ben)

Mikrotechnológia: növesztési és megmunkálási módszerek

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)

Labor: mikrotechnikai szenzorok mérései.

Előadások anyagából két ZH + laborkövetelmények.

Mikro- és optoelektronika előadások:

Bevezetés

Kristálytani összefoglaló

Szilárdtestfizikai és félvezető fizikai alapok

Bipoláris eszközök (p-n dióda, tranzisztor)

Unipoláris eszközök (MOSFET, HEMT)

Fotoelektromos eszközök

Elérhetőség:

Horváth Zsolt József - **csak e-mail:**

horvzsj@mfa.kfki.hu,

horvath.zsolt@kvk.uni-obuda.hu,

horzsolj@yahoo.com

A **tárgymezőbe** kérem beírni: **„KANDO”**, vagy **„BANKI”**.

Mindhárom címre küldjék el a levelet!

A Neptunon keresztül ne üzenjenek, nem szoktam nézni.

Irodalom

Mikro- és optoelektronika:

Mojzes Imre: Mikroelektronika és elektronikai technológia, Műszaki Könyvkiadó, 1995.

Csurgay Árpád és Simonyi Károly: Az információtechnika fizikai alapjai, Elektronfizika, BME Mérnöktovábbképző Intézet, Budapest, 1997.

Székely Vladimír: Elektronika I. Félvezető eszközök, Műegyetemi Kiadó, 2001.

Nemcsics Ákos: A napelem működése, fajtái és alkalmazása. Műszaki ökológia villamosmérnököknek 3. rész, Kandó Kálmán Műszaki Főiskola, 1999.

S.M.Sze: Physics of Semiconductor Devices, 2nd Ed. Wiley, New York, 1981.

Minchev G., és tsai, GaAs rétegek növesztése molekula-sugaras epitaxiával és a rétegek tulajdonságai, Finommechanika-Mikrotechnika 29 (7-8) 205 (1990).

Rakovics Vilmos és tsai, GaInAsP/InP infravörös diódák és lézerek, *Hiradástechnika* **62** (10) 12 (2007).

MEMS:

Almási István, és tsai, Piezorezisztív szilícium nyomásérzékelők, *Mérés és Automatika* **32** (4) 132 (1984).

Bársony István: Mikrogépészeti eljárásokkal a nanotechnológia felé, *Magyar Tudomány*, **48** (9) 1083 (2003).

Cser László, Gyorsulásmérők alkalmazási lehetőségeinek kutatása, *Hiradástechnika* **55** (11) 24 (2001).

Inzelt György, A mérőkötől a nanomérlegig, *Természet Világa* **134** (9) 404 (2003).

Hiradástechnika 2007. évi 10. szám:

Vásárhelyi Gábor, és tsai, Tapintásérzékelő tömbök – tervezés és jelfeldolgozás, *Hiradástechnika* **62** (10) 47 (2007).

Riesz Ferenc és tsai, Makroh-topográfia: egyszerű és hatékony eljárás félvezető szeletek simaságának vizsgálatára, *Hiradástechnika* **62** (10) 19 (2007).

Nanotechnológia:

Mojzes Imre, Molnár László Milán: Nanotechnológia, Műegyetemi Kiadó, 2007

Az első magyar nyelvű, egyetemi oktatási célra készült összefoglaló könyv!

"...könyvünket elsősorban a műszaki és természettudományos egyetemistáknak, PhD-hallgatóknak szánjuk. Példáink elsősorban az ő alapismereteikre épülnek, megmutatva a szerves és élő világ fontos alkalmazásai közül néhányat."

Magyar Tudomány, 48. köt. 2003 (9) Nanotechnológia tematikai szám, szerk. Gyulai József

Letölthető (!) cikkenként: www.matud.iif.hu/

MÉRETSKÁLÁK: MÉTERTŐL A NANOMÉTERIG

1. Az embertől a nanométerig ...



Kétmilliárd
nanométer

m



A fekete
pötty
egymillió
nanométer

mm



Egy vörös
véresejt 1000
nanométer

μm



Tíz hidrogén atom,
egy nanométer

1 nm

nm

MILLIMÉTERŐL A NANOMÉTERIG

The Scale of Things – Nanometers and More

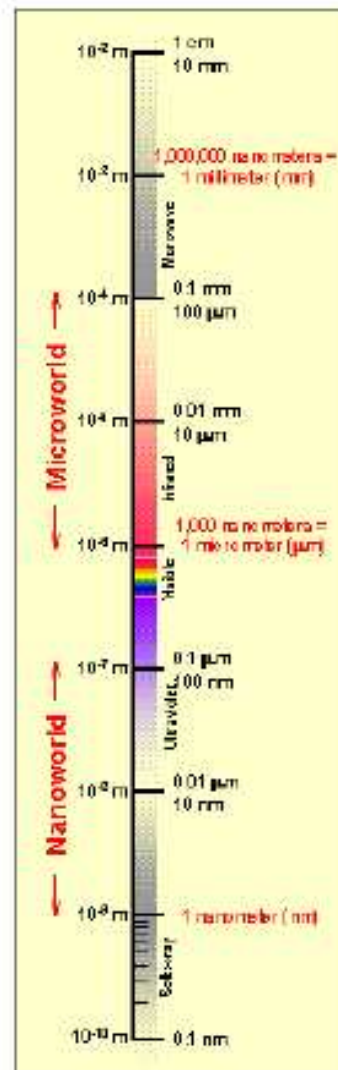
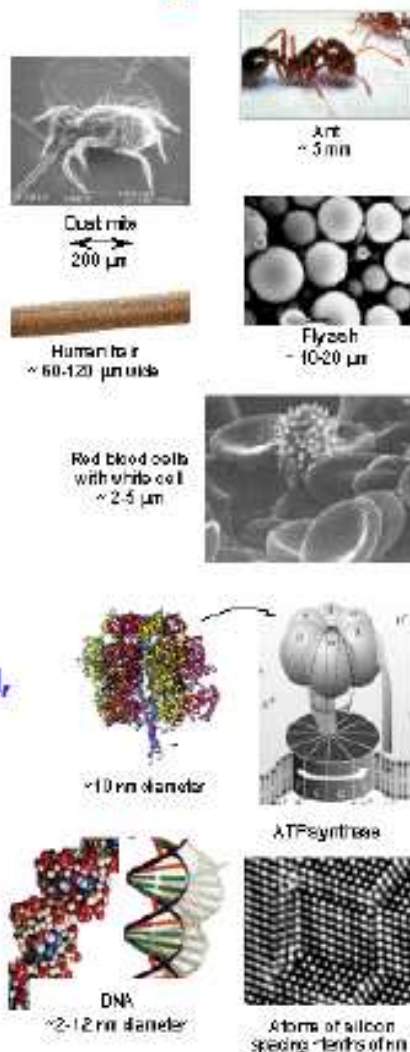
Things Natural

VIZUÁLIS

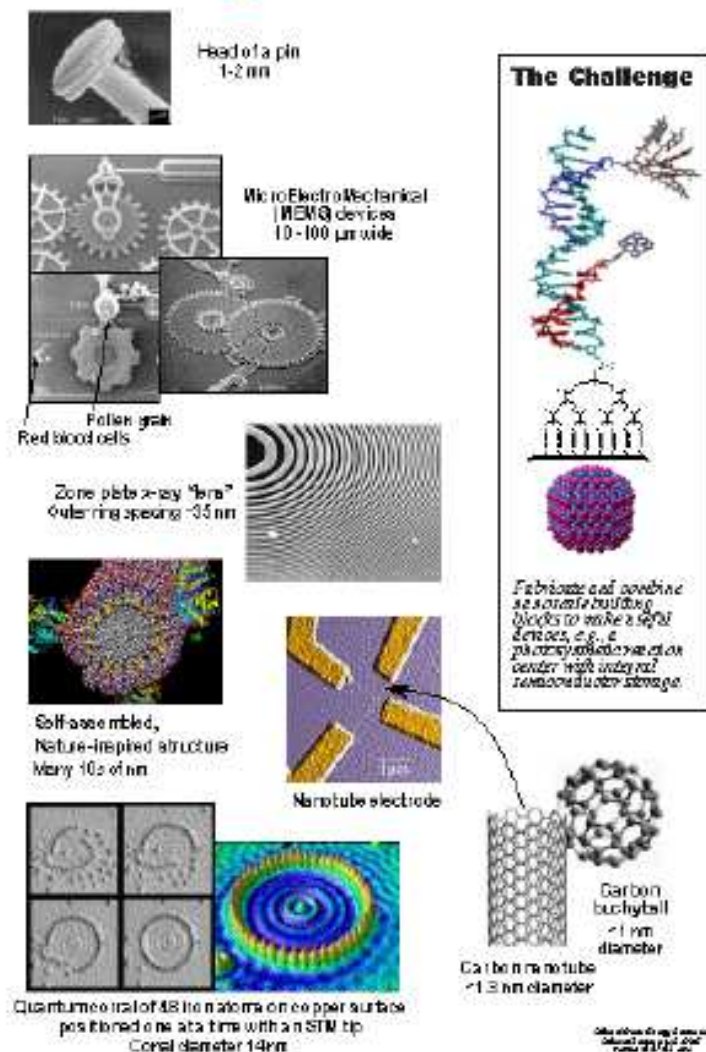
OPTIKAI
MIKROSKÓP

SZÓRÁS(RÖNTGEN,
ELEKTRON,
NEUTRON)

KÖZELI TÉR
MIKROSKÓP,
AFM, STM



Things Manmade



The Scale of Things – Nanometers and More

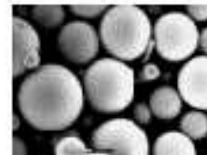
Things Natural



Dust mite
200 μm



Ant
~ 5 mm

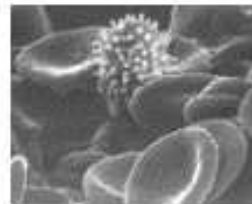


Fly ash
~ 10-20 μm

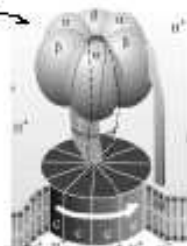


Human hair
~ 60-120 μm wide

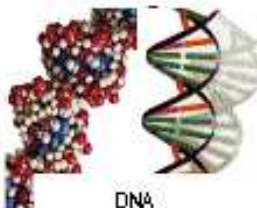
Red blood cells
with white cell
~ 2-5 μm



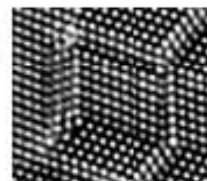
~ 10 nm diameter



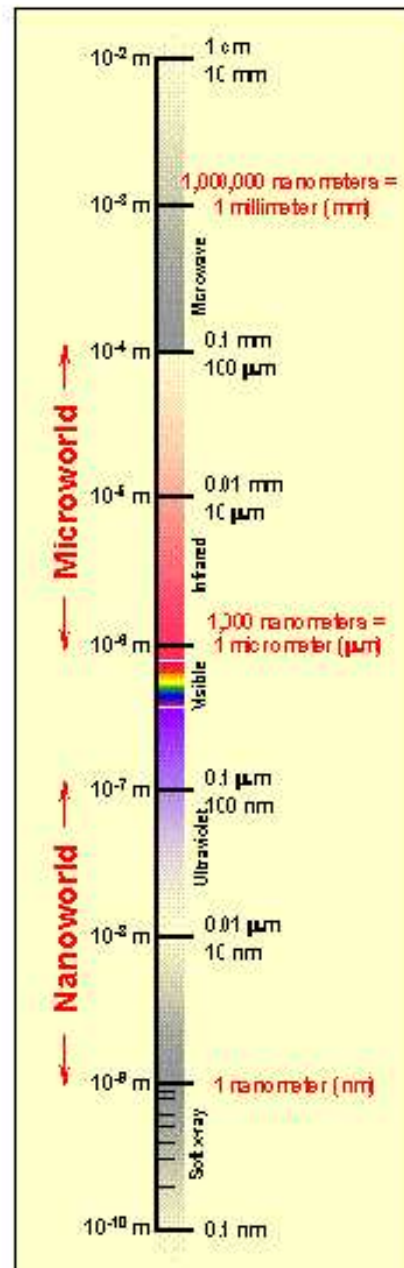
ATP synthase



DNA
~ 2-12 nm diameter



Atoms of silicon
spacing tenths of nm



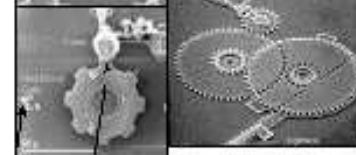
Things Manmade



Head of a pin
1-2 mm

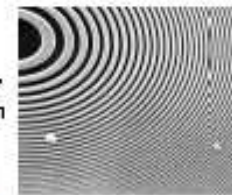


Micro Electro Mechanical (MEMS) devices
10 - 100 μm wide

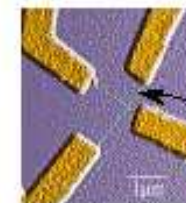


Pollen grain
Red blood cells

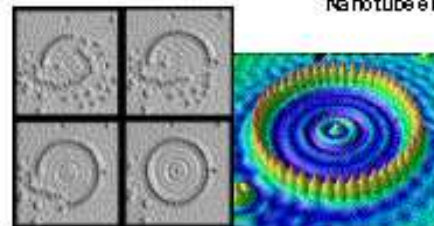
Zone plate x-ray "lens"
Outer ring spacing ~35 nm



Self-assembled,
Nature-inspired structure
Many 10s of nm

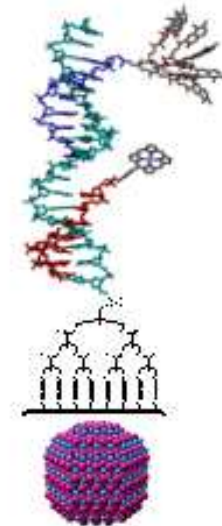


Nanotube electrode

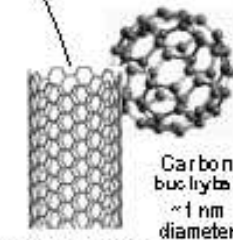


Quantum corral of 48 iron atoms on copper surface
positioned one at a time with an STM tip
Conal diameter 14 nm

The Challenge



Fabricate and combine nanoscale building blocks to make useful devices, e.g., a photosynthetic reaction center with integral semiconductor storage.



Carbon nanotube
~ 1.3 nm diameter

Mikro- és optoelektronika

Bevezetés

Mikroelektronika - integrált áramkörökkel (IC-kel) megvalósított elektronika: érzékelés, jeltovábbítás és feldolgozás.

A világ technikai forradalmának kulcseleme: a számítástechnikában csúcsosodó mikroelektronika miniatűrízációja húzta az összes iparágat.

Optoelektronika: elektromos és/vagy optikai érzékelés, jeltovábbítás és feldolgozás.

Integrált áramkörök - egy tokban egy egész áramkör, több milliárd elem is lehetséges.

IC-k fajtái:

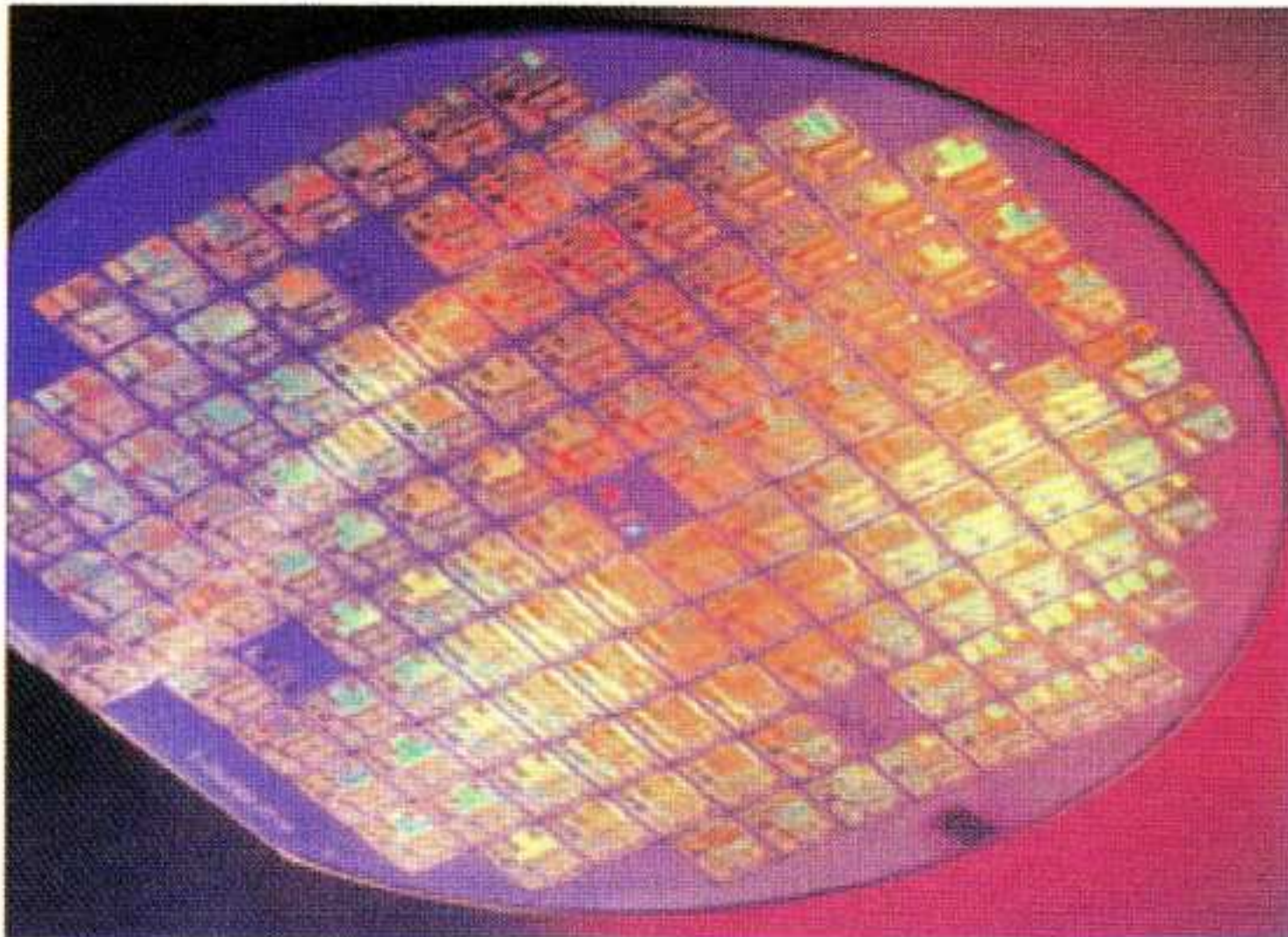
Hibrid - kis méretű alkatrészecskék szigetelő lapkára szerelve

Monolitikus - minden alkatrészt a félvezető lapkán (chip) alakítanak ki
mono - egy, lithos- kő (görög): egykristály - az IC-k nagy részét egyetlen kristályszemcsén hozzák létre

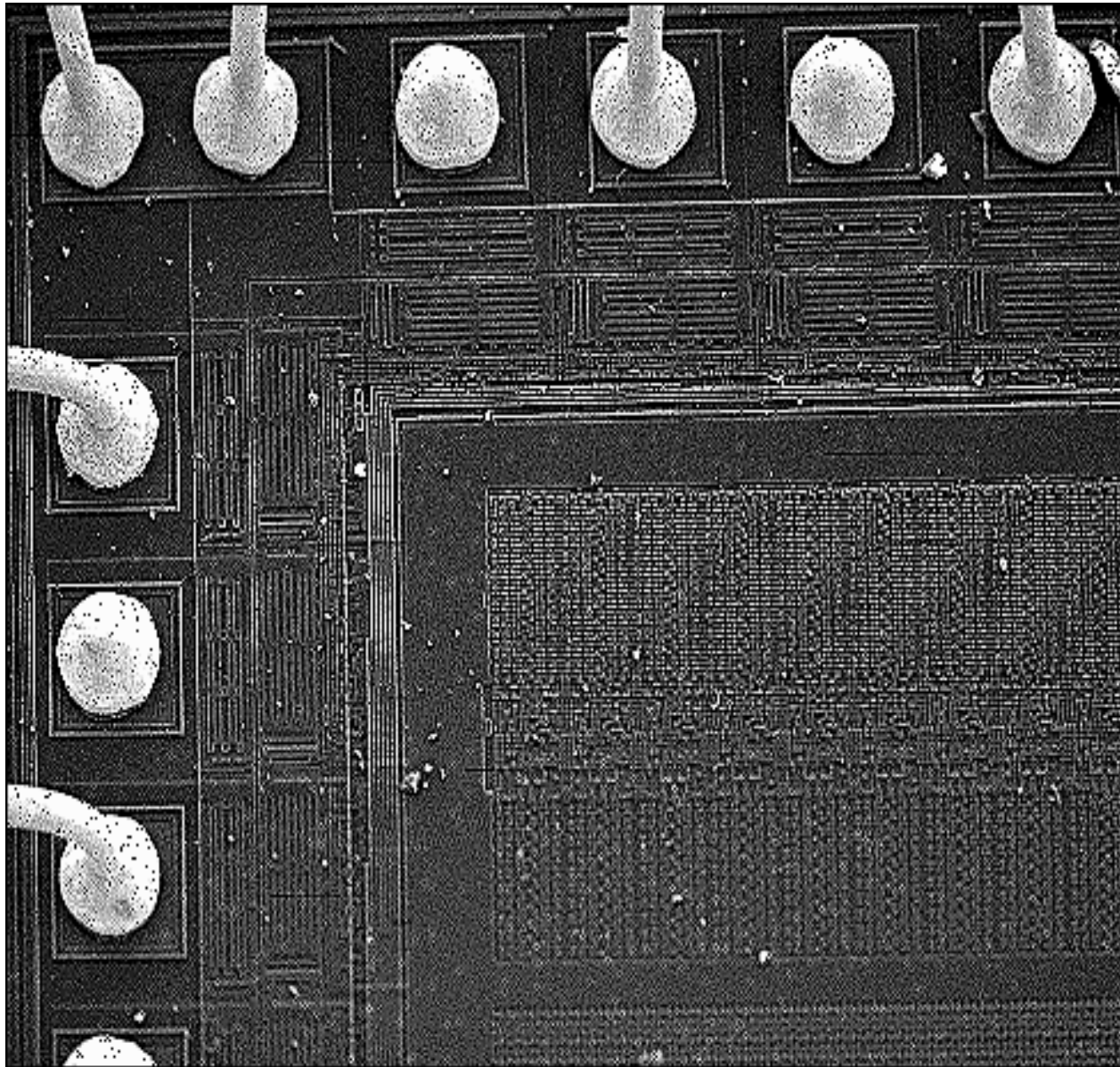
Mikro- és optoelektronika - csúcstechnológia.

Magyarországon Vishey (Budapest, Gyöngyös) - tokozás.

Si szelet monolitikus integrált áramkörökkel



Újabb integrált áramkör részlete



A félvezetők jellemzői:

1., *Sávszerkezet - szabad töltéshordozó koncentráció*

A szilárd testekben az elektronok nem vehetnek fel tetszőleges energia értéket, csak - a kristályszerkezettől függő - diszkrét értékeket. A megengedett energiaértékek (állapotok) sávokat alkotnak. A sávokon belül nagyon sok megengedett, de diszkrét energiaállapot van.

A megengedett energiasávok között széles energiatartományok vannak, ahol nincsenek megengedett energiaállapotok. Ezeket tiltott sávoknak nevezzük.

Azt a legnagyobb energiájú sávot, amelyik abszolút nulla fokon elektronokkal teljesen betöltött, vegyértéksávnak, az ezt követő sávot pedig vezetési sávnak nevezzük.

A félvezetők és szigetelők esetében tiltott sáv választja el a vegyérték és vezetési sávot, és a vezetési sávban abszolút nulla fokon nincsenek szabad elektronok.

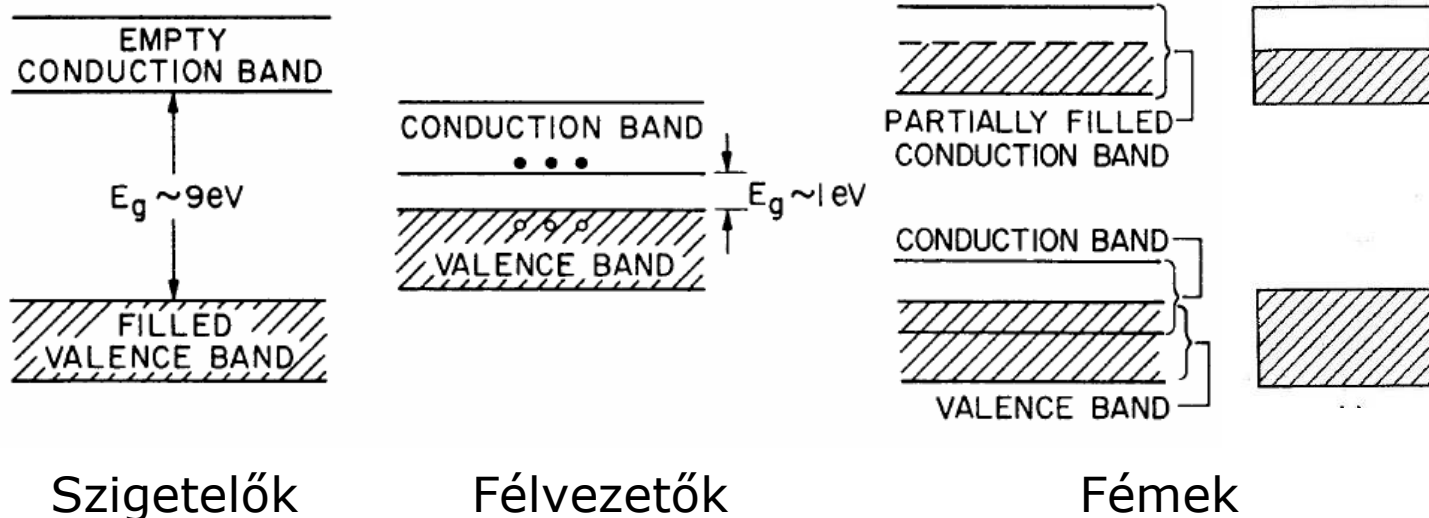
Szigetelők: tiltott sáv szélesség kb. 5 eV fölött, szobahőmérsékleten sincsenek szabad elektronok a vezetési sávban.

Félvezetők: tiltott sáv szélesség néhány tízed eV - néhány eV között, szobahőmérsékleten kevés a szabad elektron a vezetési sávban.

Félfémek: nincs tiltott sáv, a vegyérték és vezetési sáv kissé átlapol, vezetési sávban vannak szabad elektronok.

Fémek: nincs tiltott sáv, a vegyérték és vezetési sáv átlapol, vagy a vezetési sávban sok szabad elektron van.

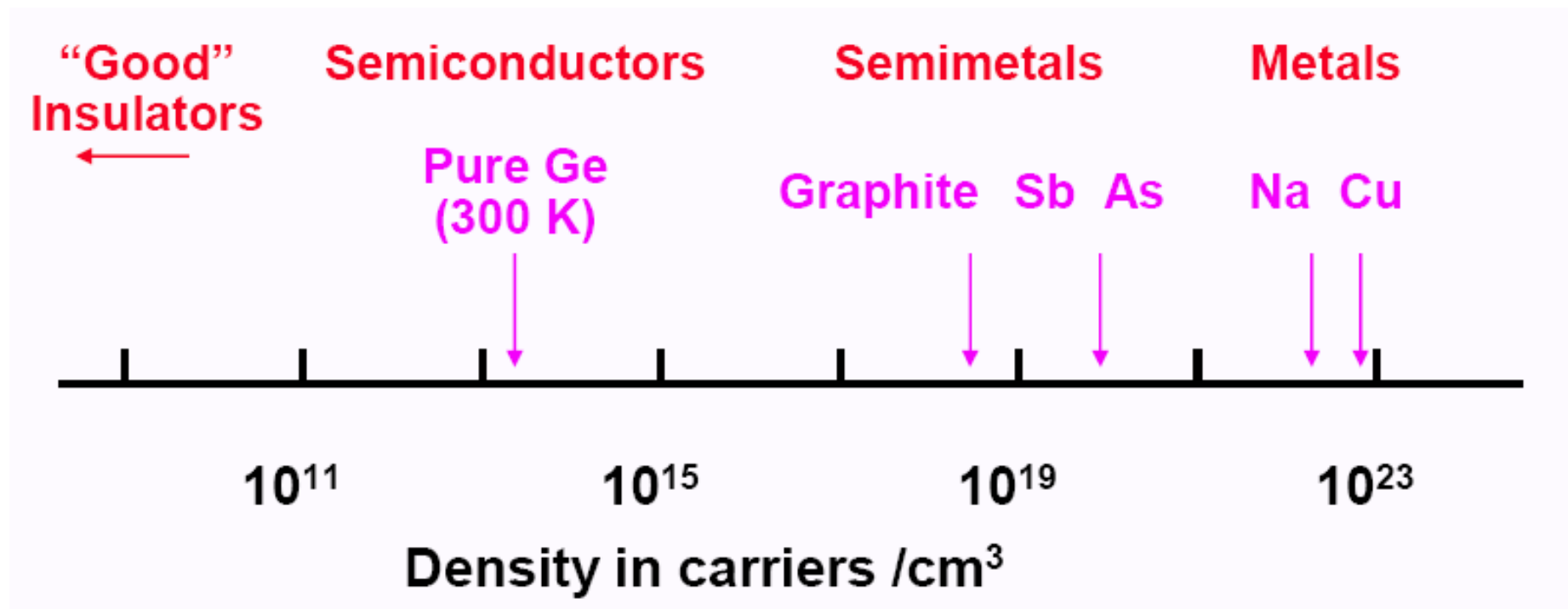
Sávszerkezet



Néhány félvezető tiltott sáv szélessége:

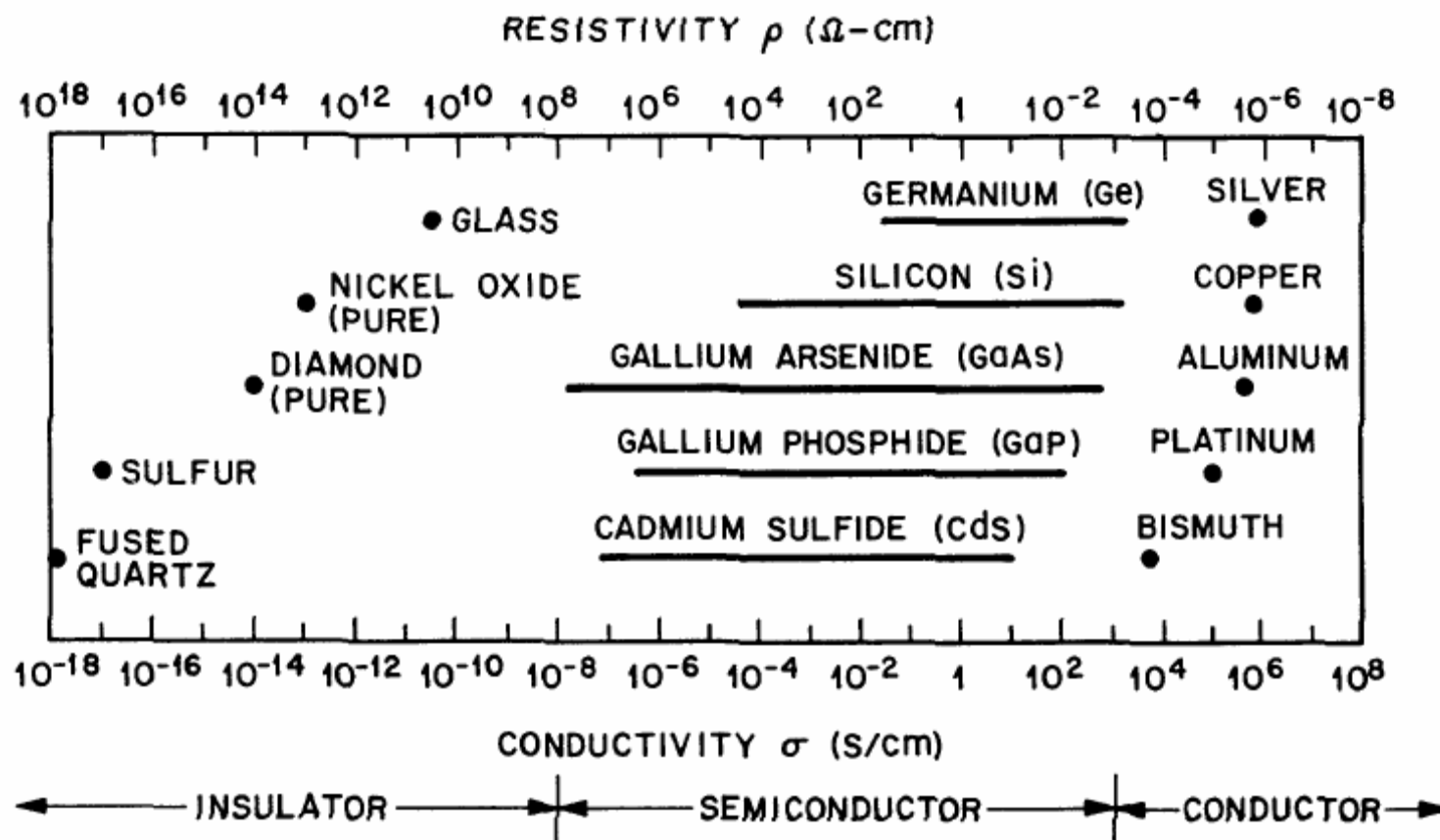
C	$\approx 5.4\text{ eV}$
Si	$\approx 1.1\text{ eV}$
Ge	$\approx 0.7\text{ eV}$
GaAs	$\approx 1.5\text{ eV}$
InAs	$\approx 0.4\text{ eV}$
GaP	$\approx 2.3\text{ eV}$
InP	$\approx 1.4\text{ eV}$
GaN	$\approx 3.4\text{ eV}$

A szabad töltéshordozó koncentráció



2., Fajlagos ellenállás

Fajlagos vezetőképesség: $\sigma = q\mu n \rightarrow \rho \sim 1/n$



10^{-8} - 10^{-5} Ω cm - fémek, 10^{-5} - 10^4 Ω cm - félvezetők, 10^4 - 10^{18} Ω cm - szigetelők

Függ a tisztaságtól (szennyezettség, adalékolás)

A félvezetők további jellemzői:

- 3., Tiszta (adalékolatlan vagy szennyezetlen - intrinsic) félvezető esetén az elektromos ellenállás csökken növekvő hőmérséklettel.
- 4., Nagy termoelektromos erő
- 5., Nem lineáris áram-feszültség karakterisztika, fém-félvezető kontaktusok egyenirányítása.
- 6., Fotovezetés és fotofeszültség.

Félvezető anyagok

Elemi félvezetők:

C (gyémánt), **Si**, Ge

Vegyületfélvezetők:

III-V ($A^{III}B^V$):

Binér: AlAs, AlSb, BN, **GaAs**, GaSb, GaN, InAs, InP, stb.

Ternér: AlGaAs, InAsP, stb.

Kvaternér: InGaAsP, stb.

II-VI ($A^{II}B^{VI}$):

Binér: CdS, CdSe, CdTe, ZnS, ZnSe, ZnTe, HgTe

Ternér: HgCdTe

IV-IV: SiGe, SiC

IV-VI: PbS, PbTe

Oxidok: ZnO, SnO₂, In₂O₃, CdO

Szerves félvezetők

Alkotó elemek:

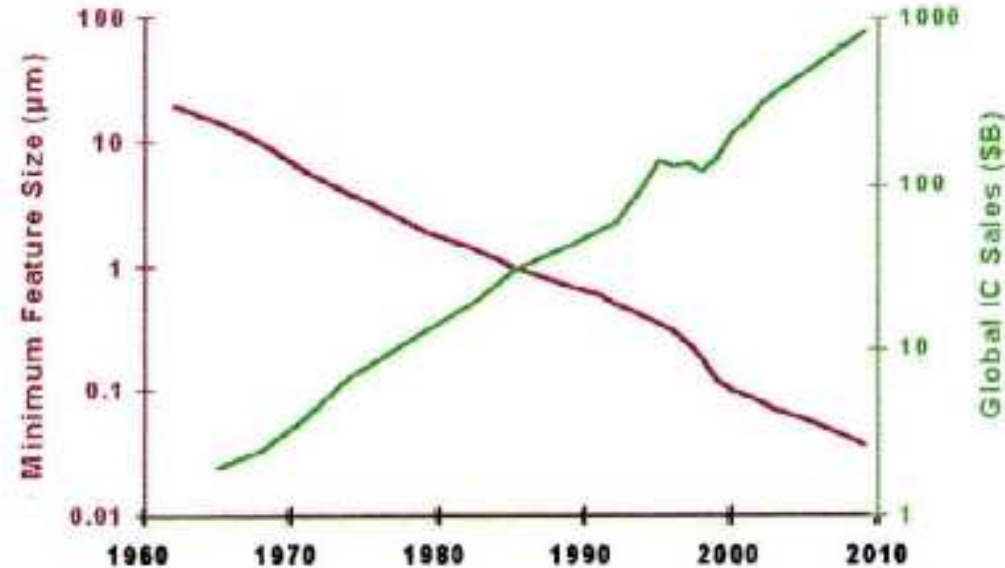
Period	II	III	IV	V	VI
2		B Boron	C Carbon	N Nitrogen	O Oxygen
3	Mg Magnesium	Al Aluminum	Si Silicon	P Phosphorus	S Sulfur
4	Zn Zinc	Ga Gallium	Ge Germanium	As Arsenic	Se Selenium
5	Cd Cadmium	In Indium	Sn Tin	Sb Antimony	Te Tellurium
6	Hg Mercury		Pb Lead		

Folyamatos fejlesztés

Cél:

- méretek csökkentése, elemsűrűség növelése
- működési sebesség fokozása
- felvett teljesítmény csökkentése
- teljesítőképesség növelése
- komplexitás fokozása (különböző funkciók egy chipen - system on chip)
- megbízhatóság növelése
- költségek csökkentése
- új működési elvek megvalósítása

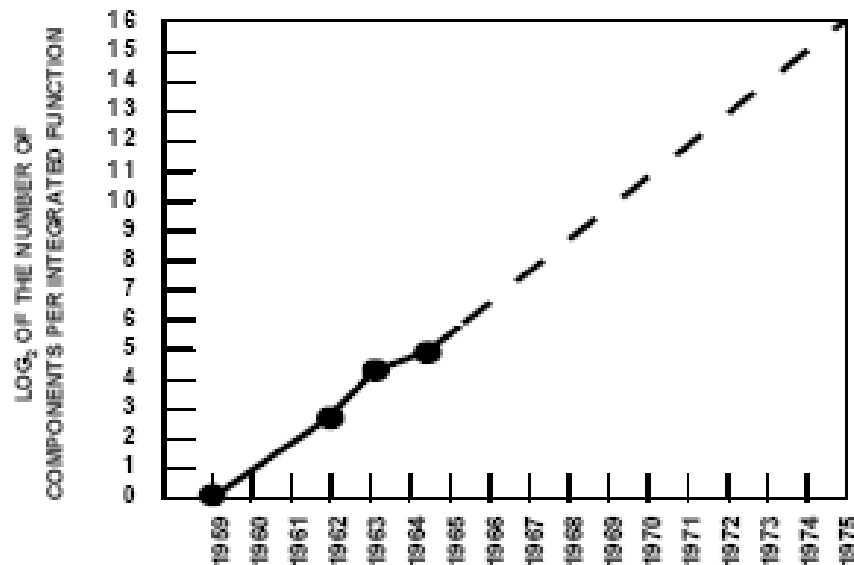
Moore szabály:



G. Moore (Fairchild/Intel) 1960-as években fogalmazta meg de még most is működik (!): a **jellemző méretek 1,5-2 évente feleződnek.**

Moore's Law

- In 1965, Gordon Moore noted that the number of transistors on a chip doubled every 18 to 24 months
- He made a prediction that semiconductor technology will double its effectiveness every 18 months

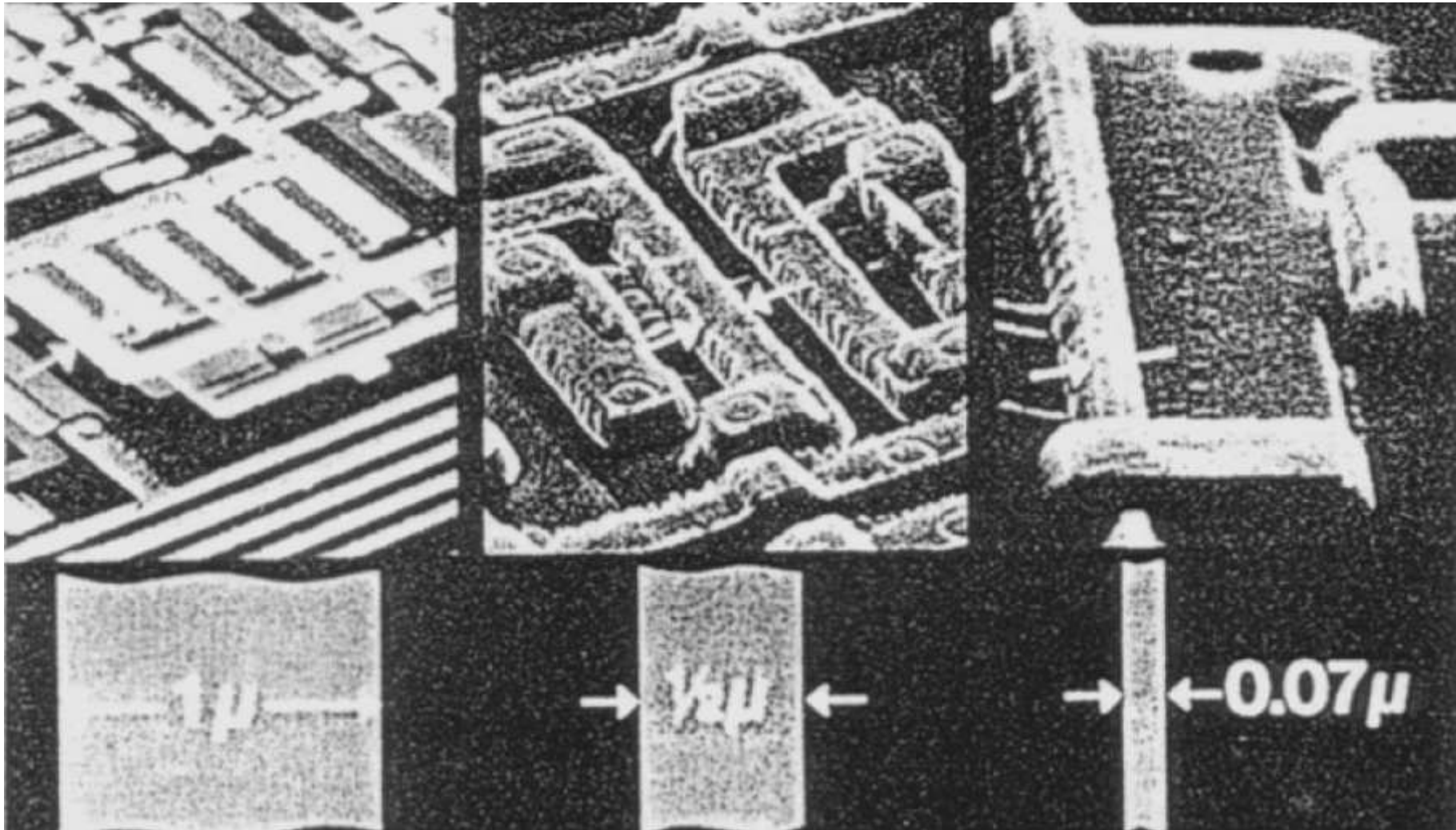


Electronics, April 19, 1965.

Méretcsökkentés

Rövidítés	Név	Elem/chip	Vonalszélesség	Év
SSI	small scale integration	100	$>10\ \mu\text{m}$	1965
MSI	medium scale integration	10^4	$<10\ \mu\text{m}$	1970
LSI	large scale integration	$10^4\text{-}10^5$	$>1\ \mu\text{m}$	1975
VLSI	very large scale integration	$10^5\text{-}10^6$	$<1\ \mu\text{m}$	1980
ULSI	ultra large scale integration	$>10^6$	$0,1\ \mu\text{m}$	2000-

Vonalszélesség (csíkszélesség)



Jelenleg 32 nm (gyártásban).

Jelen irányzat

Rendszer integráció IC-k és miniatürizált passzív alkatrészek felhasználásával.



Ellenőrző kérdések:

Hány összetevőből állnak a binér félvezetők?

Hány összetevőből állnak a ternér félvezetők?

Mi a különbség az elemi és a vegyületfélvezetők között?

Miről kapták a nevüket az AIIIBV félvezetők?

Melyek az elemi félvezetők?

Soroljon fel három elemi félvezetőt!

Mekkora az integrált áramkörök gyártásában használt minimális méret (csíkszélesség) jelenleg?

Hogyan lehet csoportosítani a vegyületfélvezetőket?