

Mikroelektronika I. (E tanterv)

Előadások és táblagyakorlatok.

E tanterv: két óra előadás, egy óra táblagyakorlat.

Vizsgafeltétel: két ZH (4.-5. és 10.-11. hét) az előadások és a táblagyakorlatok anyagából. ZH-nként egy pótlási lehetőség a szorgalmi időszakban. Aki a szorgalmi időszakban nem írja meg legalább az egyik ZH-t elégséges szinten (50%), nem pótolhat a vizsgaidőszakban (letiltás).

Előadáslátogatás – ajánlott, de nem kötelező. Aki mással akar foglalkozni (pl. beszélgetni), ne járjon be!

Akik bejárnak, az előadás diáit nyomtassák ki, ha tehetik, és jegyzeteljenek! Az anyagokat felteszem a Nudliba (<https://elearning.uni-obuda.hu/main/>).

Táblagyakorlat kötelező. Feldatgyűjtemény szintén a Nudliban, töltsék le, nyomtassák ki, hogy jobban átláthatóak legyenek a feladatok!

Irodalom:

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.

Simon M. Sze: Semiconductor Devices: Physics and Technology, 2nd Edition, Wiley, New York, 2002.

Simon M. Sze, Kwok K. Ng: Physics of Semiconductor Devices, 3rd Edition, Wiley, New York, 2006.

David L. Pulfrey: Understanding Modern Transistors and Diodes, Cambridge University Press, Cambridge, 2010.

Elérhetőség:

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

horvzsj@mfa.kfki.hu,

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

Mindkét címre küldjék el a levelet!

A **tárgymezőbe** kérem beírni: **„KANDO”** (ékezet nélkül).

A Neptunon keresztül ne üzenjenek, nem szoktam nézni.

Mikroelektronika I.

Bevezetés

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

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

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

IC-k fajtái:

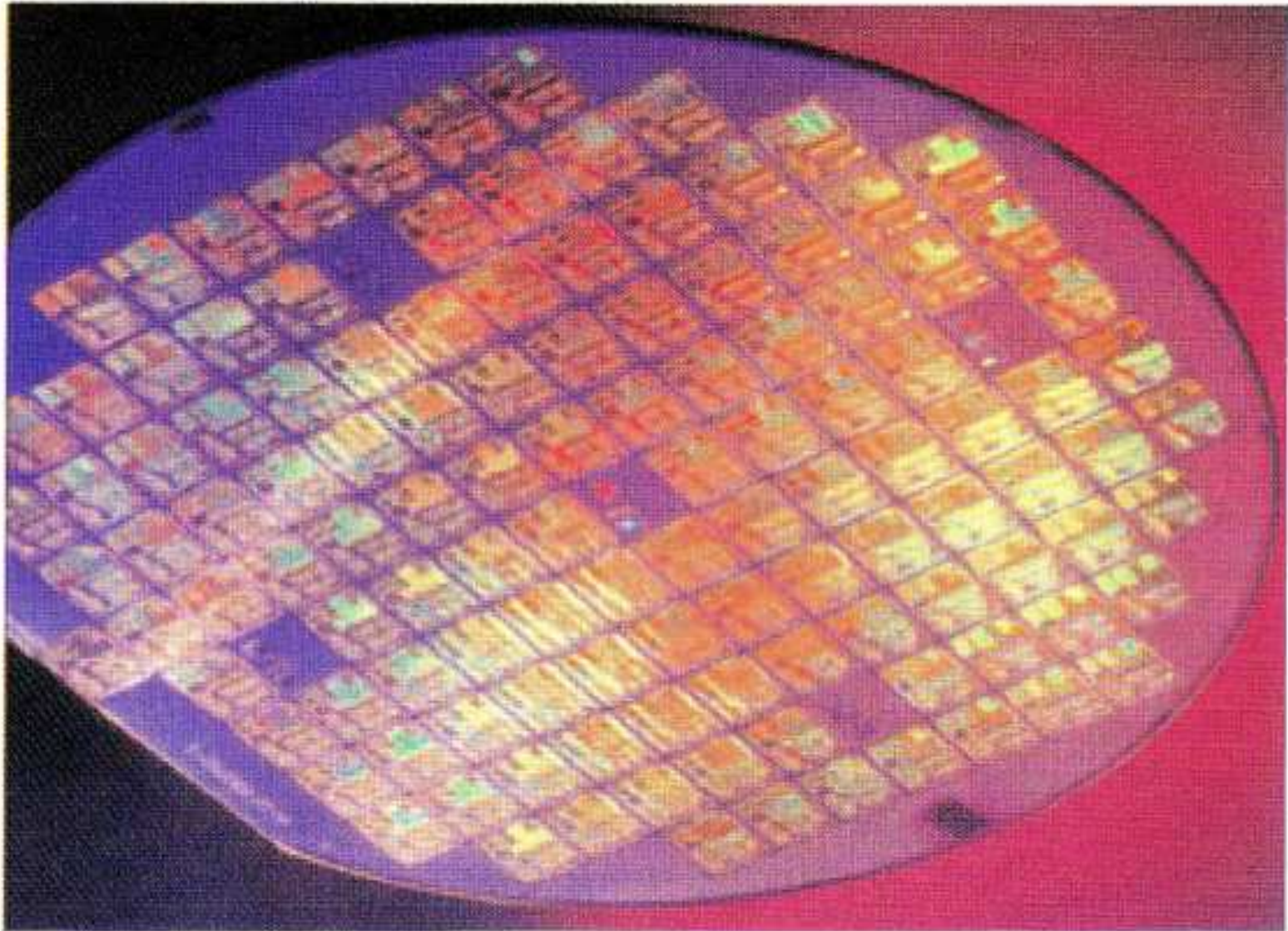
Hibrid - kis méretű alkatrészek szigetelő lapkára szerelve

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

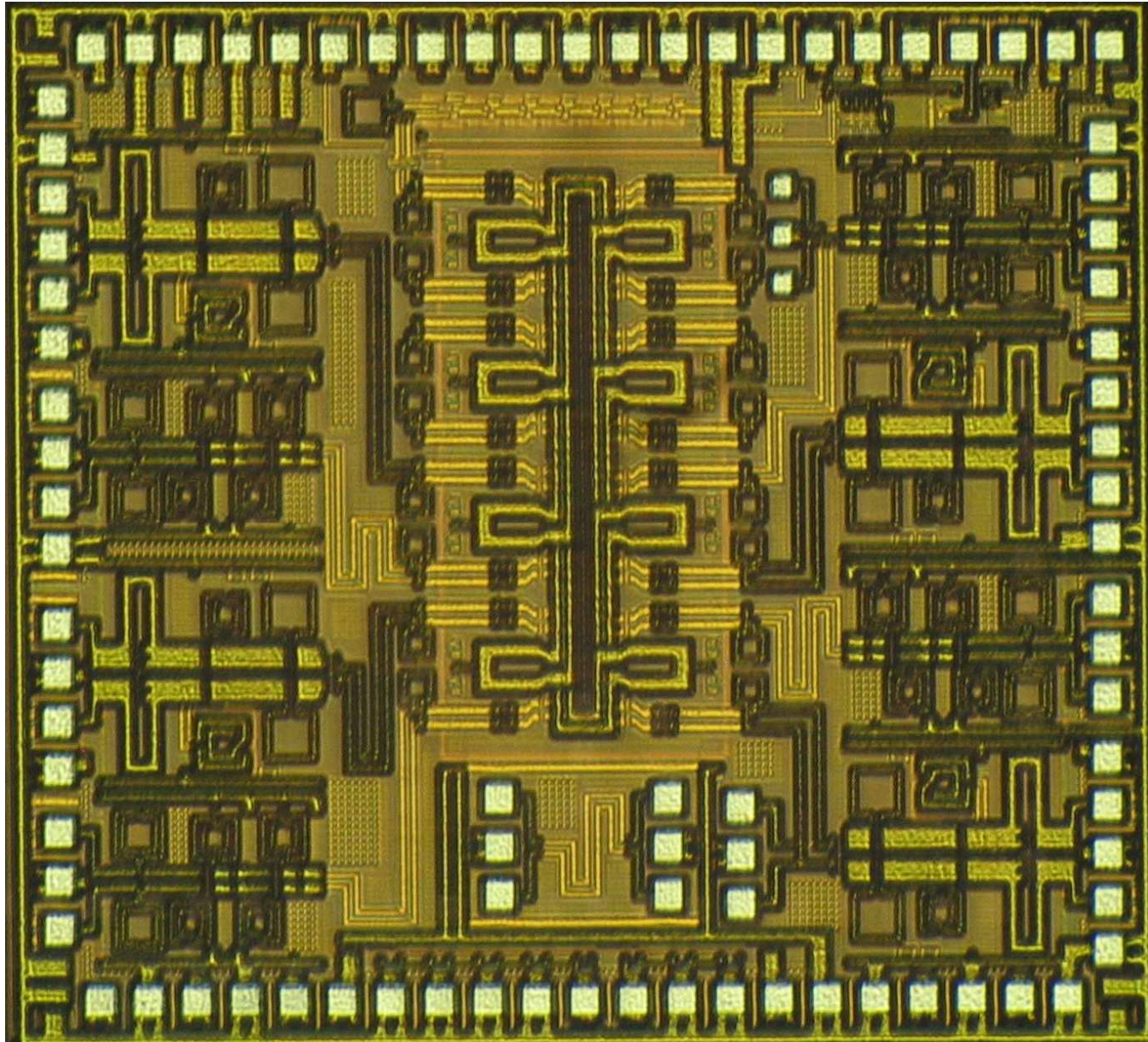
Mikro- és optoelektronika - csúcstechnológia.

Magyarországon Vishey (Budapest, Gyöngyös) - tokozás.

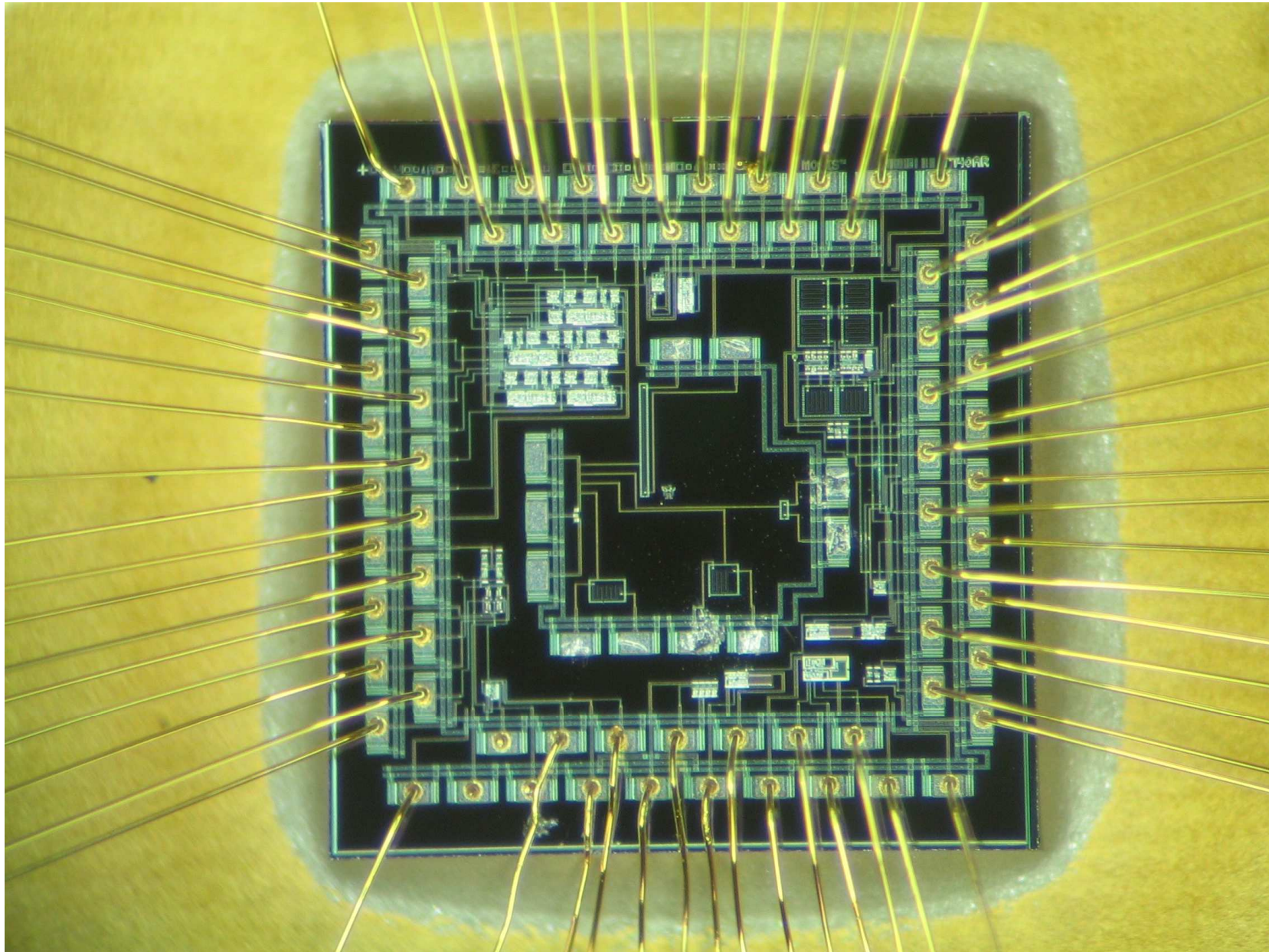
Si szelet monolitikus integrált áramkörökkel



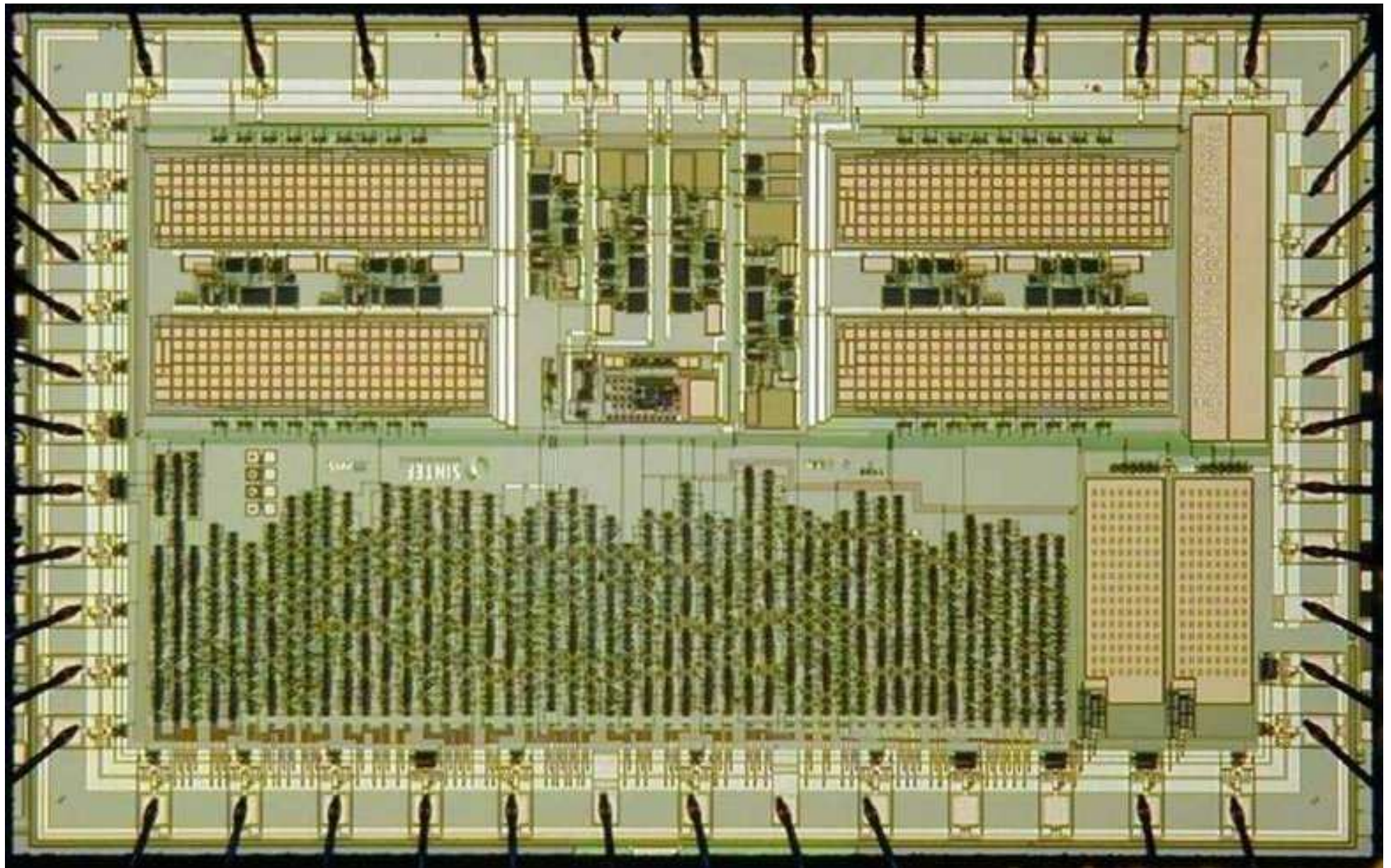
Integrált áramkörök



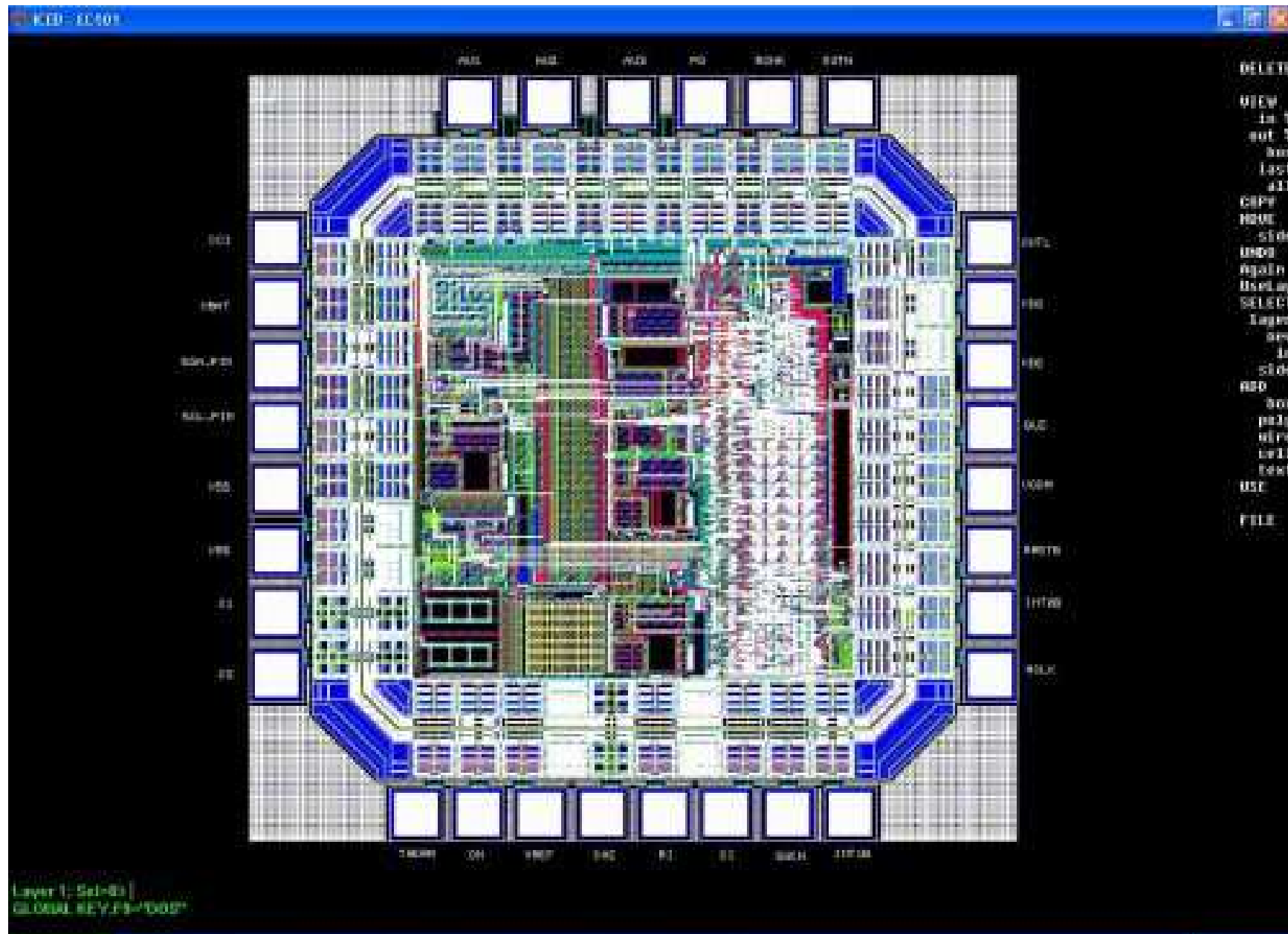
Integrált áramkörök (2)



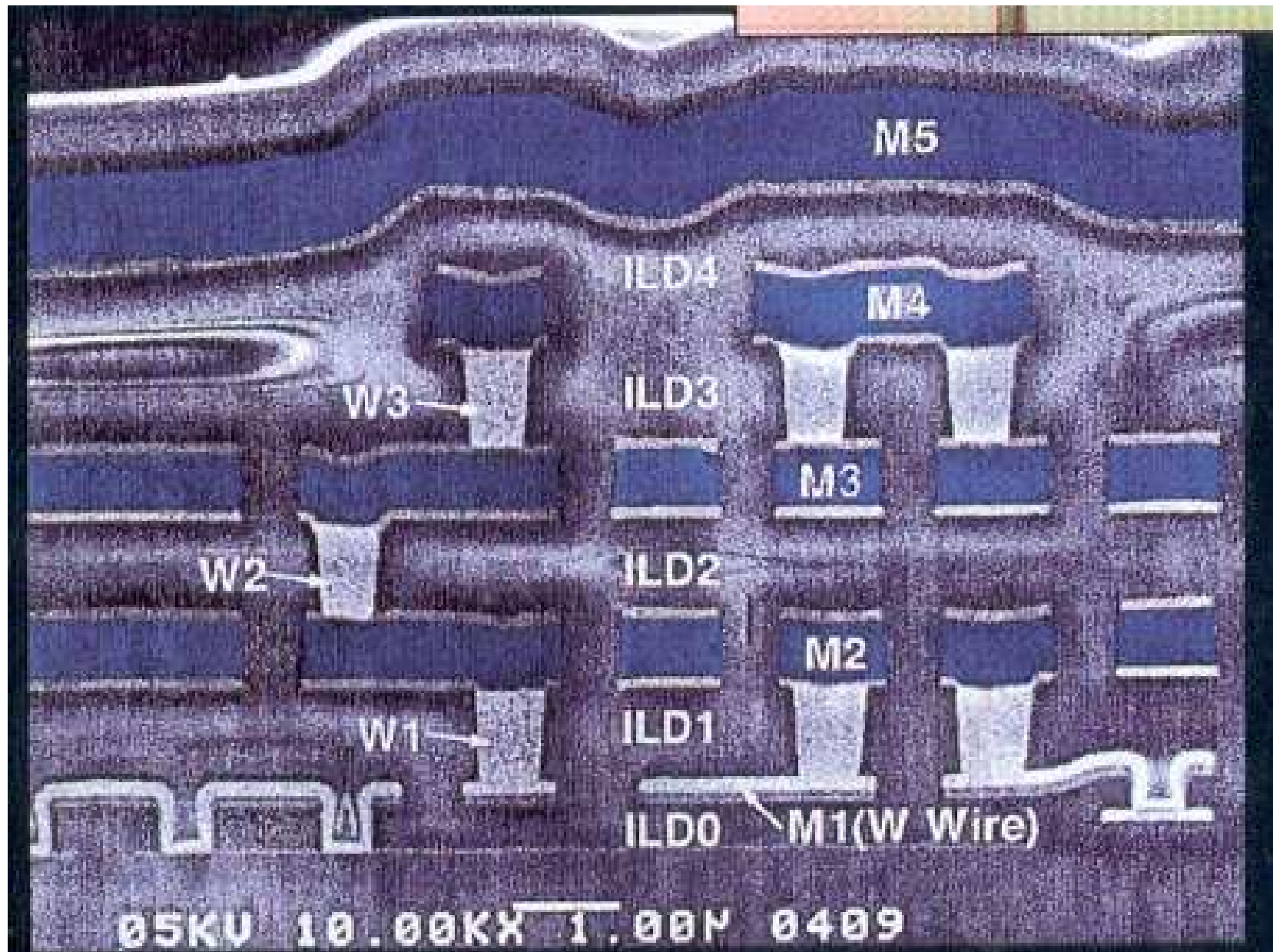
Integrált áramkörök (3)



Integrált áramkörök (4)



Integrált áramkörök (5)



A félvezetők jellemzői:

1., Sáv szerkezet - 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 egymáshoz közeli 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 nagyobb energiájú 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.

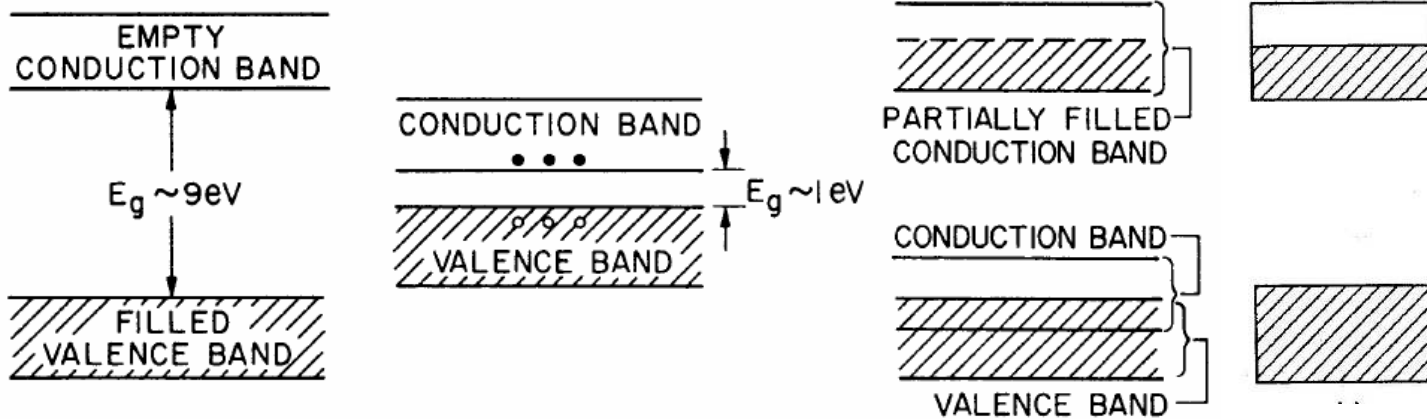
Szigetelők: tiltott sáv szélesség kb. 5 eV fölött, szobahőmérsékleten sincsenek szabad elektronok a vezetési sávban.

Félvezetők: tiltott sáv szélesség néhány tized 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.

Sáv szerkezet



Szigetelők

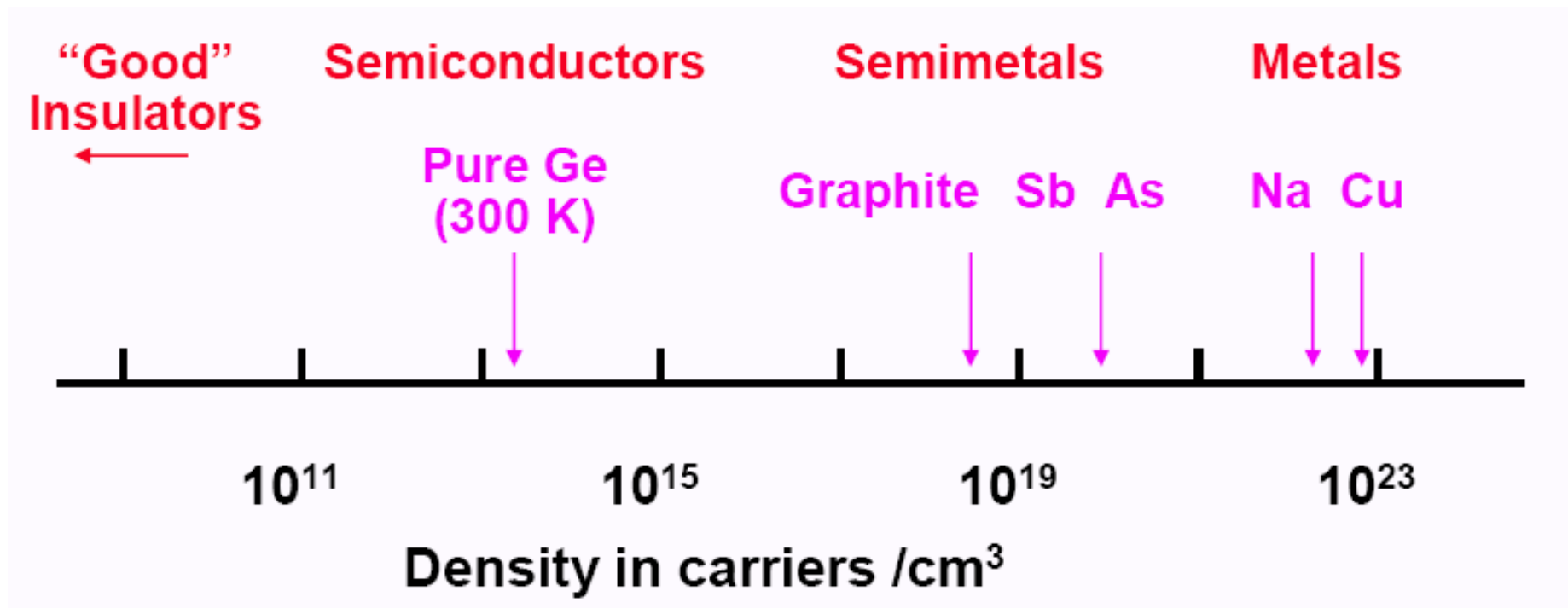
Félvezetők

Fémek

Néhány félvezető tiltott sáv szélessége:

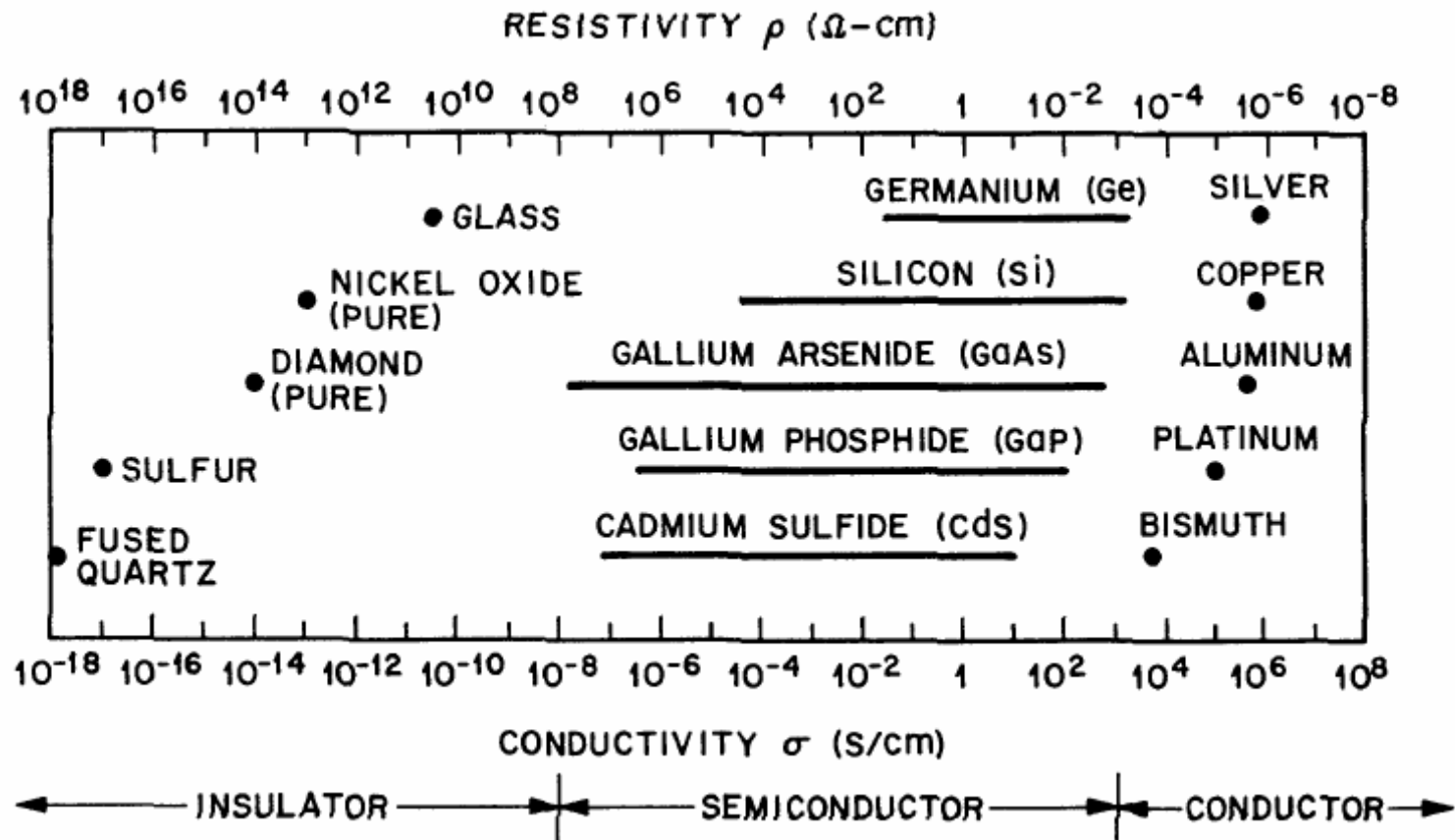
C	≈ 5.4 eV
Si	≈ 1.1 eV
Ge	≈ 0.7 eV
GaAs	≈ 1.5 eV
InAs	≈ 0.4 eV
GaP	≈ 2.3 eV
InP	≈ 1.4 eV
GaN	≈ 3.4 eV

A szabad töltéshordozó koncentráció



2., Fajlagos ellenállás

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



10^{-8} - 10^{-5} Ωcm - fémek, 10^{-5} - 10^4 Ωcm - félvezetők, 10^4 - 10^{18} Ωcm - 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:

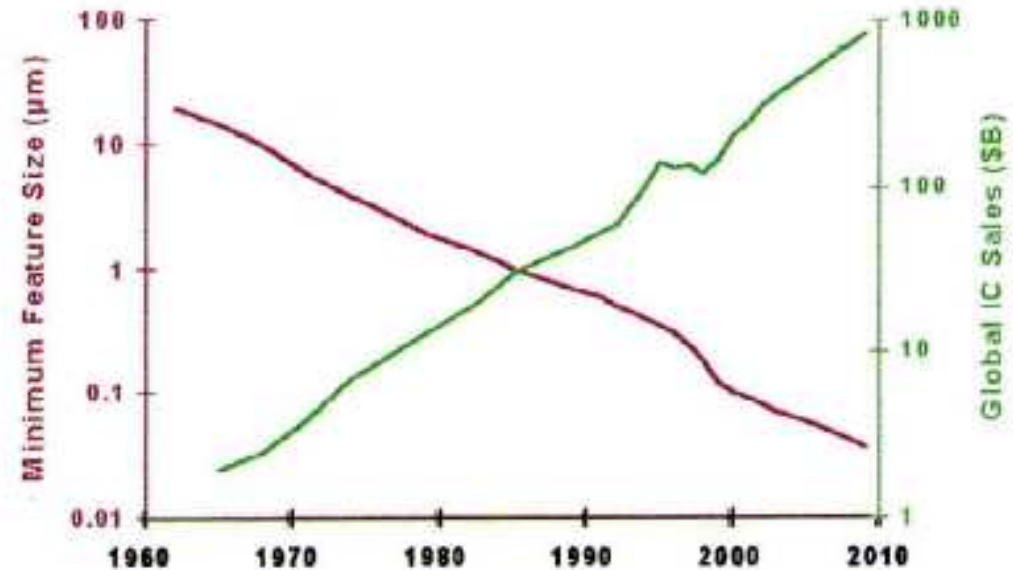
Period	II	III	IV	V	VI
2		B Boron	C Carbon	N Nitrogen	O Oxygen
3	Mg Magnesium	Al Aluminum	Si Silicon	P Phosphorus	S Sulfur
4	Zn Zinc	Ga Gallium	Ge Germanium	As Arsenic	Se Selenium
5	Cd Cadmium	In Indium	Sn Tin	Sb Antimony	Te Tellurium
6	Hg Mercury		Pb Lead		

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:

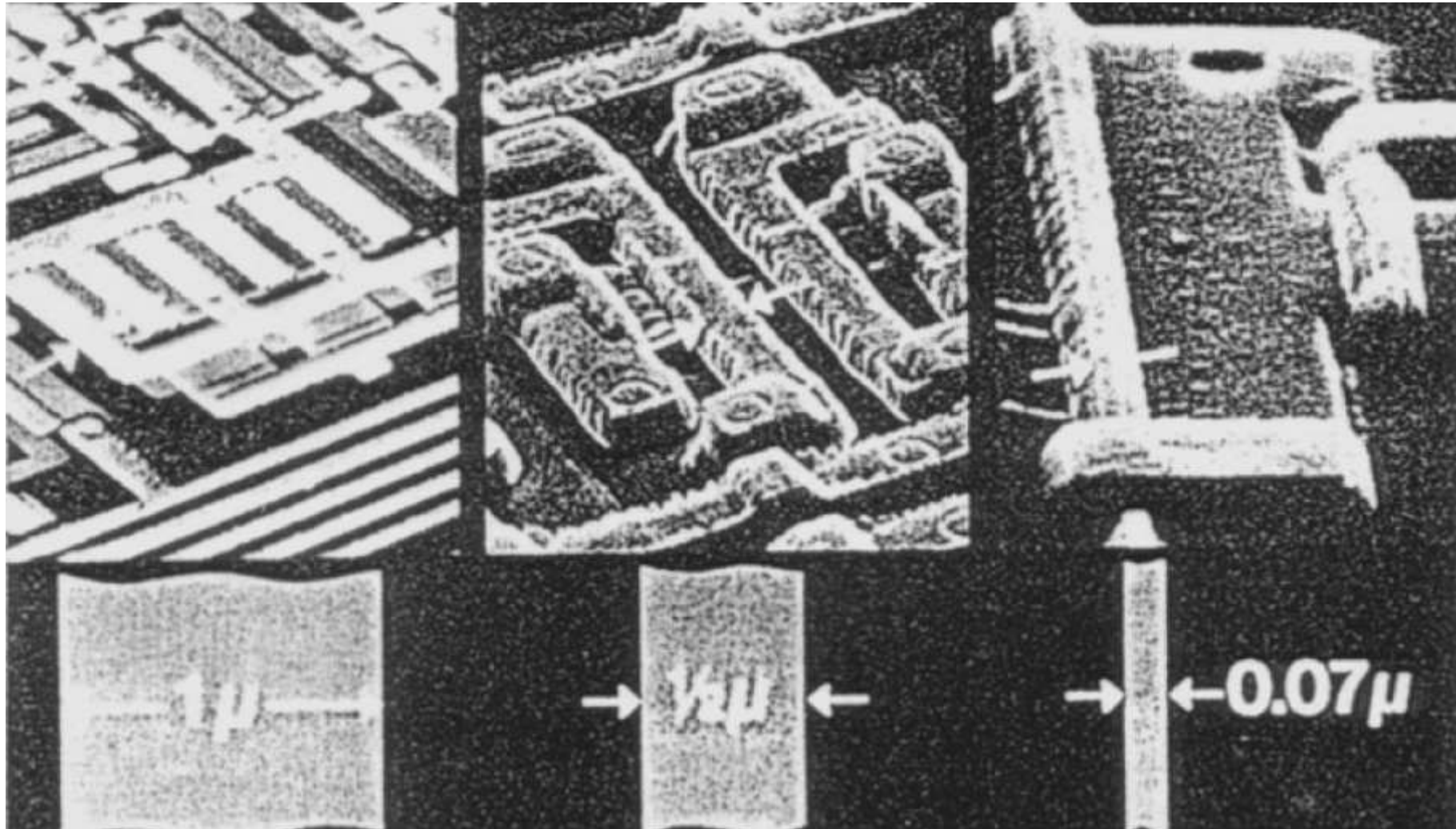


G. Moore (Fairchild/Intel) 1960-as években fogalmazta meg de még most is működik (!): a **jellemző méretek 1,5-2 évente feleződnek.**

Méretcsökkentés

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

Vonalszélesség (csíkszélesség)



Jelenleg 14 nm (fin FET - gyártásban).

Jelenlegi méretek

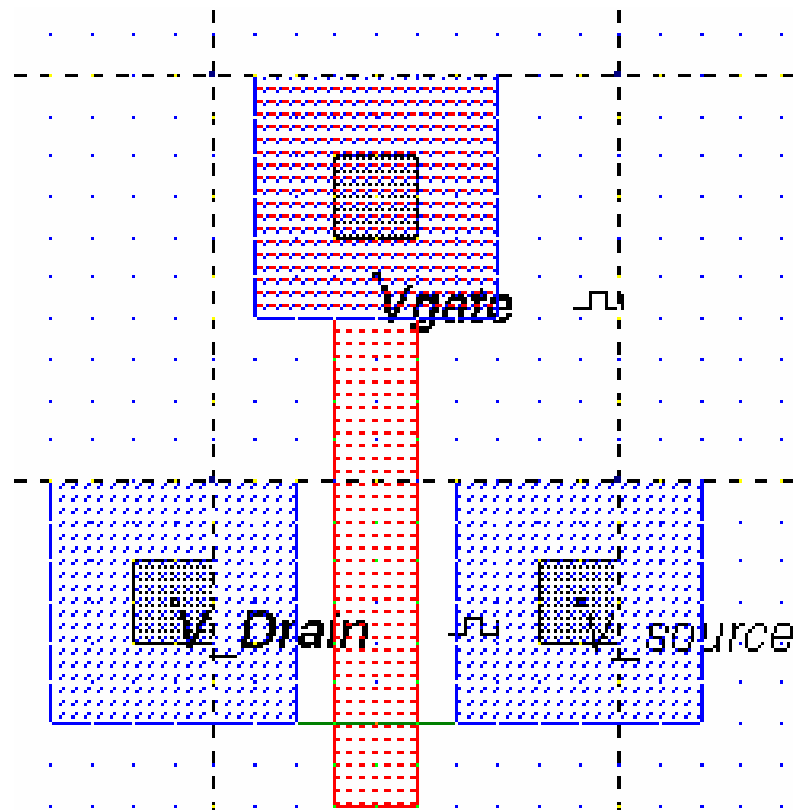
Több milliárd tranzisztor egyetlen csipen.

Csíkszélesség: 22 nm 2014-ben gyártásban.

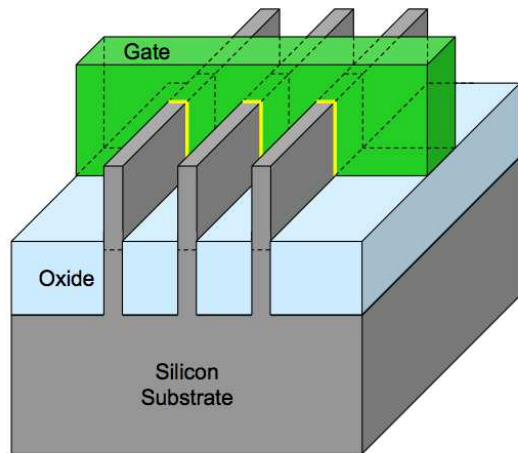
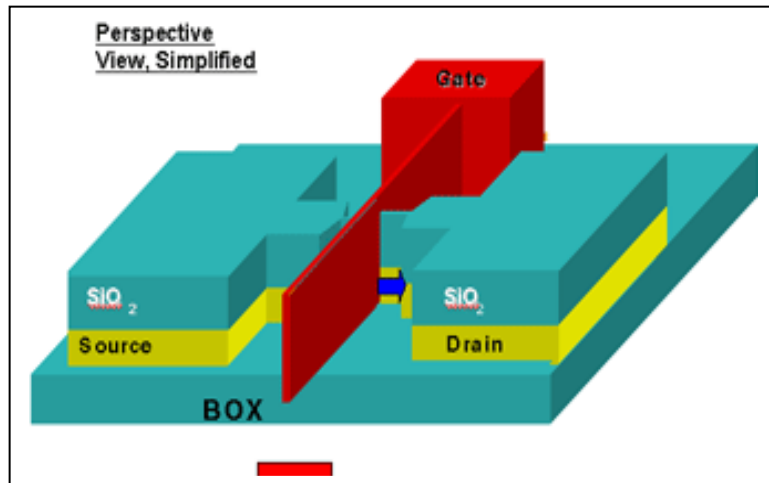
7 nm jelenleg gyártásban (fin FET).

Tranzisztorméret: $(8 \text{ csíkszélesség})^2$

$(8 \times 22)^2 = 30976 \text{ nm}^2 = 0,031 \mu\text{m}^2$.

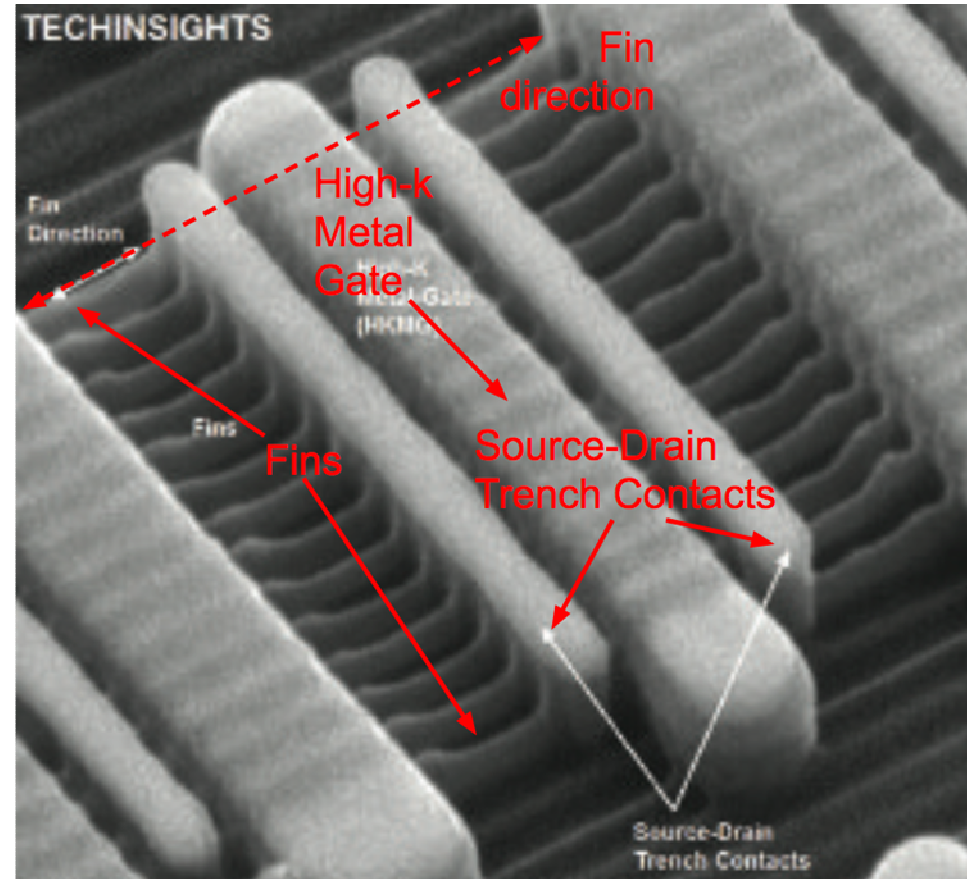


Fin FET



Tri-Gate transistors can have multiple fins connected together to increase total drive strength for higher performance

Fin FET elvi felépítése



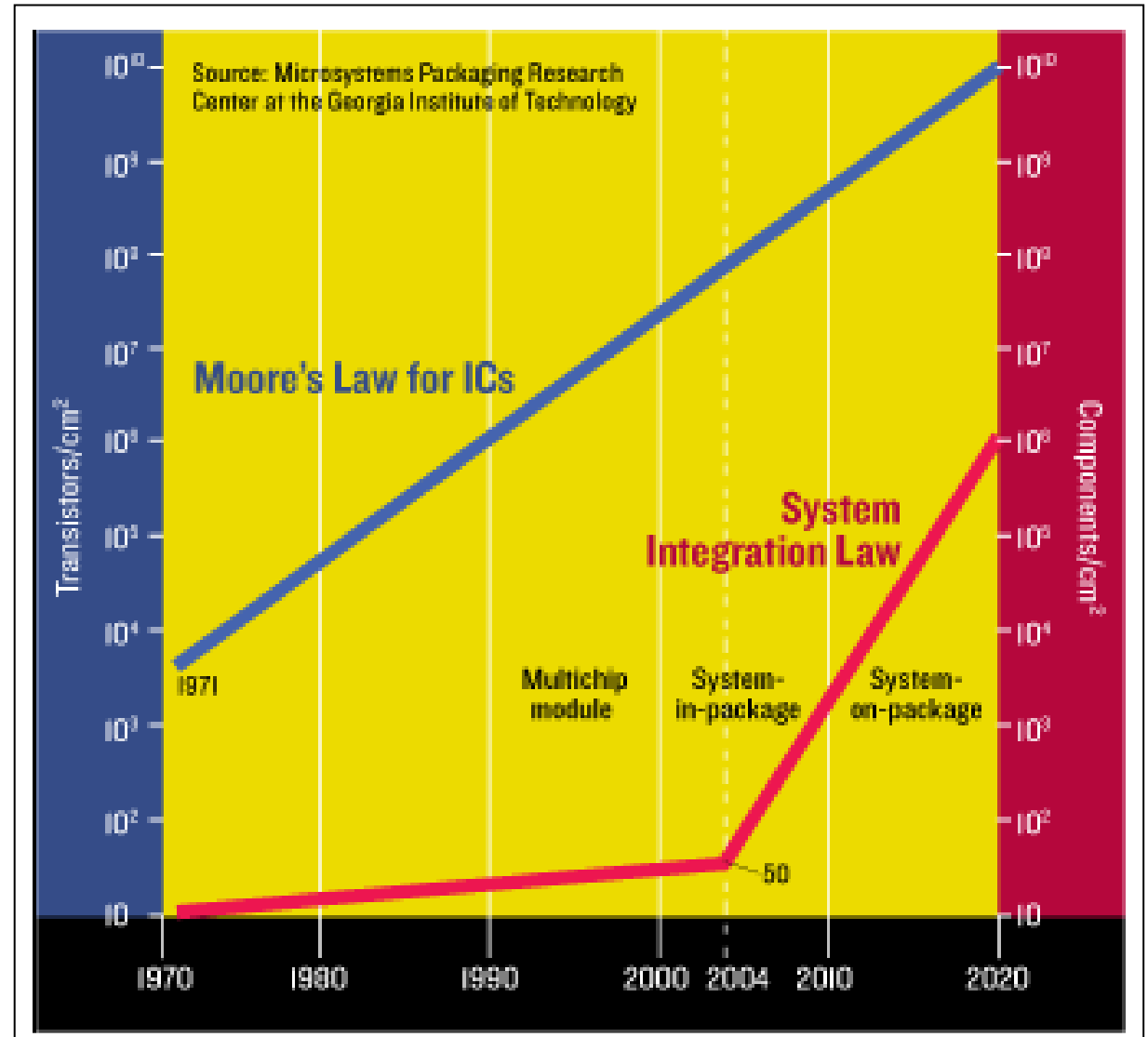
Tilted SEM picture of the I/O transistor structure of TSMC 16 nm finFET device, showing 14 fins are connected in parallel by the same gate and by the same trench connects (in Apple A9 Processor.)

<http://electroiq.com/wp-content/uploads/2016/03/Screenshot-2016-03-25-at-1.50.52-PM.png>
ARABINDA DAS, How FinFETs ended the service contract of a 16nm process | Solid State Technology
<http://electroiq.com/blog/2016/03/how-fin-fets-ended-the-service-contract-of-silicon-process/>

16 nm-es fin FET (Apple A9 processzor)
(14 lamella párhuzamosan kötve)

Jelen irányzat

Rendszer integráció IC-k és miniatürizált passzív alkatrészek felhasználásával.



Történelmi áttekintés

1873	F. Braun - PbS/Hg egyenirányítás
1874	Smith - fotovezetés Se-ben
1879	Hall effektus
1896	Popov - első rádiókapcsolat (Nobel díj Marconinak)
1910	A. Thiel és H. Koelsch - InP előállítás
1900-1940	PbS és Si kristálydetektorok (tűs diódák)
1941	Ge tűs dióda
1948	<i>J. Bardeen, W. H. Brattain és W. B. Shockley - bipoláris tranzisztor elve</i>
1952	<i>W. B. Shockley - tervezérlésű tranzisztor elve</i>
1952	H. Welker - annak felismerése, hogy a III-V vegyületek félvezetők
1956	Első magyarországi TV adás
1958	<i>J. S. Kilby - IC elve</i>
1966	C. A. Mead - MESFET elve
1971	Első GaAs IC
1982	Első bipoláris heterotranzisztor
1990-es évek	Kék színű világító és lézerdióda
1990-es évek	Világító diódák hatásfoka elérte az izzólámpáékét.

A tantárgy célja:

A félvezető eszközök és integrált áramkörök

- működési elvének
- felépítésének
- tulajdonságainak,
- előállítási technológiájának,
- alkalmazásának

valamint a CMOS logikai integrált áramkörök

- osztályozásának,
- felépítésének
- működésének,
- és jellemzőinek

ismertetése.

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 AIII BV 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?