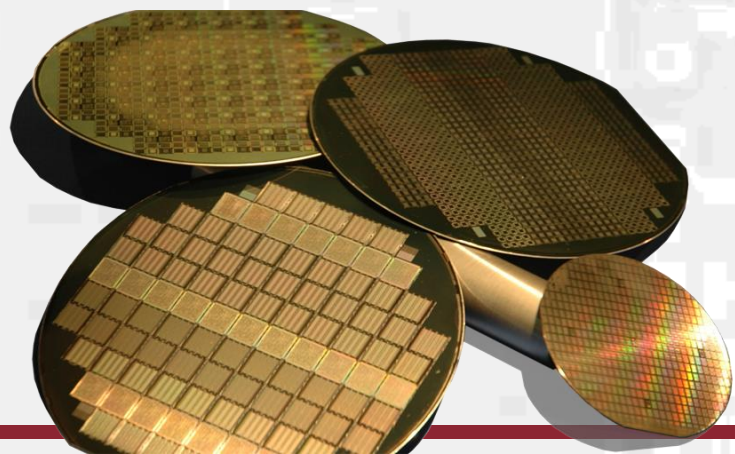




Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikus Eszközök Tanszéke

MIKROELEKTRONIKA, VIEEAB00

Bevezető előadás



<http://www.eet.bme.hu>



Alapinformációk

- ▶ 4. szemeszter, specializáció alapozó tárgy
- ▶ 2+0+2 v, 5 kredit
 - 1 előadás / hét
 - Laborgyakorlatok összesen 10 alkalommal
 - Előadó: Dr. Bognár György, Dr. Poppe András
 - Terem: Q. II.
- ▶ Laborgyakorlatok felelőse:
 - Dr. Bognár György
- ▶ Laborgyakorlatok helyszíne:
 - QB 310/QB311 Mentor Graphics IC tervező laboratórium
 - QB P123 Félvezető laboratórium

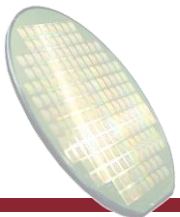




Elérhetőségek

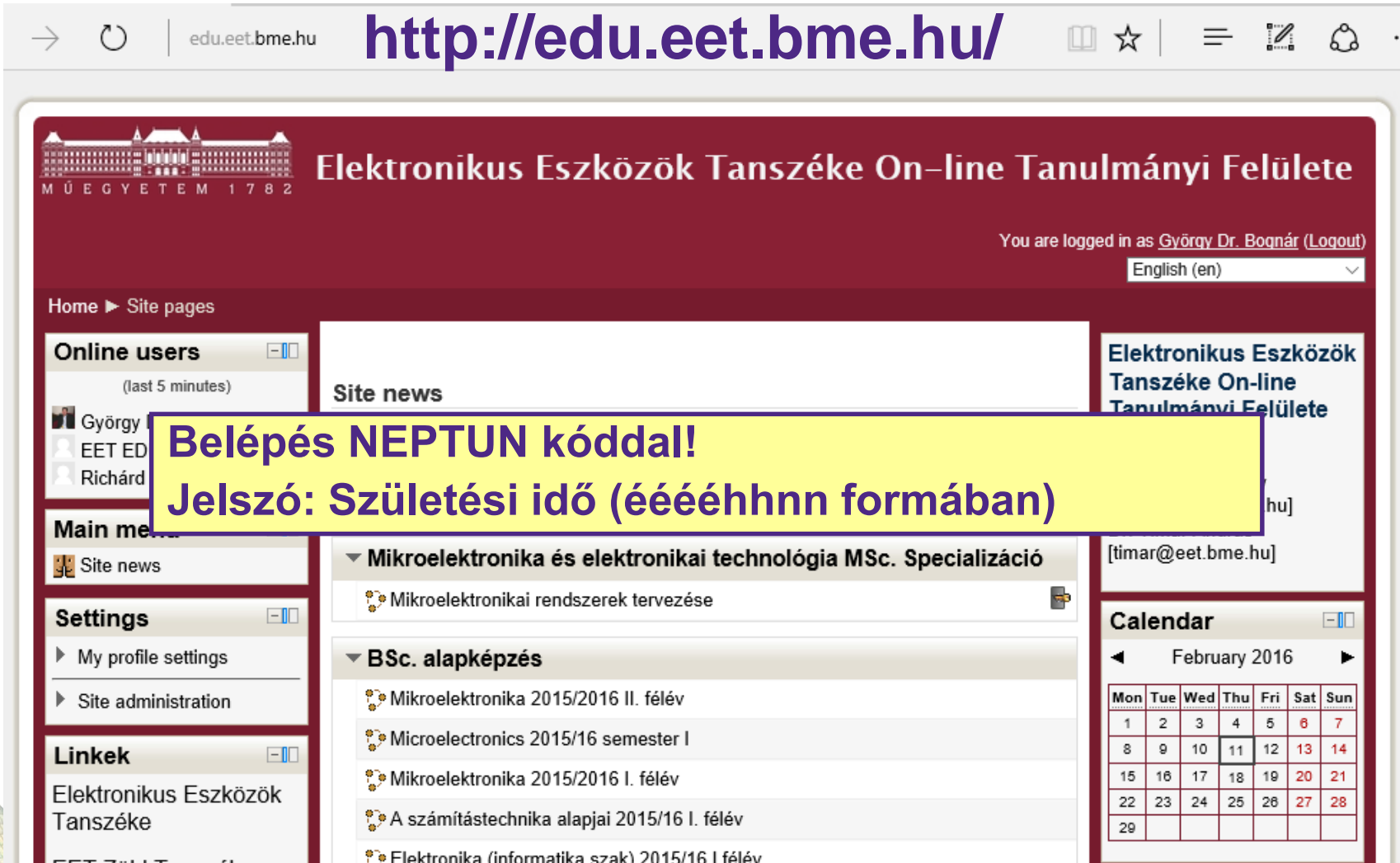
- ▶ Tanszéki adminisztráció: QB 325
- ▶ Bognár György: QB 330, bognar@eet.bme.hu
- ▶ Poppe András: QB 326, poppe@eet.bme.hu

- ▶ Kursus adminisztráció: EDU Moodle
tanszéki elektronikus tanulmányi rendszerben





Kurzus adminisztráció:



→ | edu.eet.bme.hu | <http://edu.eet.bme.hu/> | ☆ | ☰ | ✎ | 🔔

Elektronikus Eszközök Tanszéke On-line Tanulmányi Felülete

Műegyetem 1782

You are logged in as György Dr. Bognár (Logout)

English (en) ▾

Home ▶ Site pages

Online users (last 5 minutes)

- György
- EET ED
- Richárd

Site news

Elektronikus Eszközök Tanszéke On-line Tanulmányi Felülete

hu]

[timar@eet.bme.hu]

Calendar

February 2016

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29						

Online users (last 5 minutes)

Site news

Elektronikus Eszközök Tanszéke On-line Tanulmányi Felülete

hu]

[timar@eet.bme.hu]

Calendar

February 2016

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29						

Settings

- My profile settings
- Site administration

Linkek

Elektronikus Eszközök Tanszéke

EET Zöld Tanszék

Mikroelektronika és elektronikai technológia MSc. Specializáció

- Mikroelektronikai rendszerek tervezése

BSc. alapképzés

- Mikroelektronika 2015/2016 II. félév
- Microelectronics 2015/16 semester I
- Mikroelektronika 2015/2016 I. félév
- A számítástechnika alapjai 2015/16 I. félév
- Elektronika (informatika szak) 2015/16 I.félév

Belépés NEPTUN kóddal!
Jelszó: Születési idő (ééééhhnn formában)



Laborgyakorlatok

- ▶ A laboratóriumi foglalkozásokon elhangzó ismeretek, valamint a felkészülést segítő anyagok mind-mind **a tárgy szerves részét** képezik
- ▶ Az előadásokon elhangzott ismereteket kiegészítik, megalapozzák
- ▶ **Az előadáson elhangzó tananyagokkal együtt szerves egészet alkotva képezik a számonkérés alapját**

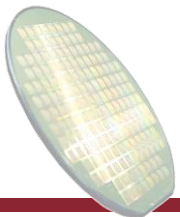




Laborgyakorlatok

▶ Alapinformációk és követelmények:

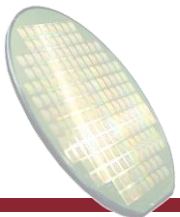
- 10 gyakorlat / félév, 90 perc
- Minden gyakorlat anyaga az EDU oldalon elérhető
- **A felkészülés ellenőrzése** a gyakorlatok elején (beugró)
- akinek ez nem sikerül, nem kezdheti el a gyakorlatot
- a gyakorlaton végzett munkát a gyakorlat végén szóban is kell prezentálni!
- Laborgyakorlatok eredményei az EDU oldalon jelennek meg a félév során folyamatosan.





Laborgyakorlatok célja

- ▶ Megismertetni a hallgatókkal
 - az integrált áramkör tervezésben széleskörűen alkalmazott, legújabb és az iparban is elterjedten használt **CAD eszközöket**, valamint
 - a félvezető technológia mérés és minősítés módszereit
- ▶ Félév során betekintést nyernek
 - a digitális és analóg integrált áramkörtervezésbe
 - az digitális FPGA alapú áramkörök tervezésébe
 - a félvezető technológiába.
- ▶ Alkalmazásképes tudás kialakítása a fő cél...





Laborgyakorlatok segédanyagai

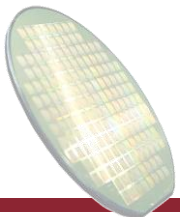
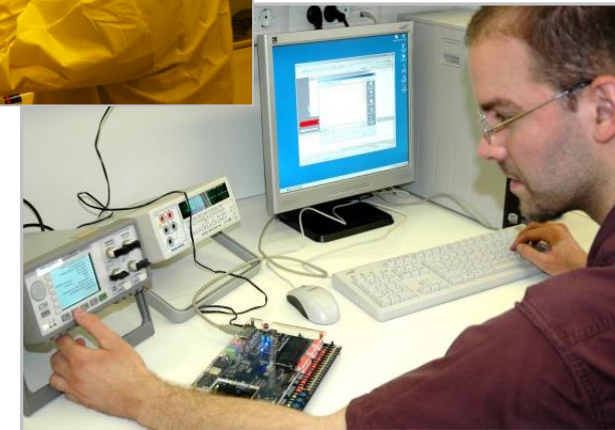
- ▶ Minden laboratóriumi gyakorlathoz további magyar ill. angol nyelvű használati utasítások, források és videók találhatóak a edu.eet.bme.hu címen.
- ▶ Laborgyakorlatokra való felkészüléshez két részből álló jegyzet lesz elérhető:
 - elméleti összefoglaló rész valamint
 - gyakorlati összefoglaló, a tervezőrendszerek használatát bemutató jegyzet.





Laborgyakorlatok helyszínei

- ▶ A Mikroelektronika tantárgy laboratóriumi gyakorlatai
 - Q. épület P123 Félvezető laboratórium (3. laborgyakorlat)
 - Q. épület B310/B311-es Mentor Graphics VLSI CAD Laboratóriumban (1., 2., 4.-10.)





Beosztás

- ▶ A beosztás a NEPTUN rendszer kurzuskódjai alapján történt és az edu.eet.bme.hu honlapon található meg.
- ▶ **A gyakorlatok február 12-től (hétfő) kezdődnek**
- ▶ Ünnepnapok, oktatási szünetek:
 - március 15., Húsvét (Nagypéntek is),
 - május 1., Simonyi Konferencia, Specializáció bemutató,
 - TAVASZI SZÜNET
- ▶ Előadásokat és laborgyakorlatokat is egyaránt érinti.
 - 13 előadás lesz a félévben





Félévévi aláírás feltétele

- ▶ EGY nagy zárthelyi dolgozat központi ütemezés szerint:
 - **2018 április 27, péntek, 8¹⁵ – 9¹⁵**
 - A laboratóriumi gyakorlatok sikeres elvégzése
 - sikeres beugró teszt és
 - a gyakorlat sikeres befejezése

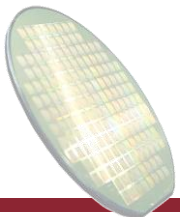
- ▶ Pótlási lehetőség:
 - A NZH pótlása szorgalmi időszakban és a pótlási időszakban
 - egy laboratóriumi foglalkozás pótlása a pótlási időszakban





Zárthelyi

- 60 perces
- A félév során a zárthelyi megírásáig elhangzott anyagból:
 - előadásokon elhangzottak **ÉS**
 - laboratóriumi foglalkozáson elhangzottak **ÉS**
 - laboratóriumi felkészülést segítő jegyzetben közzétett ismeretek
- 1. Feleletválasztós vagy mondatkiegészítő feladatok
- 2. Elméleti rész (Kifejtős jellegű)

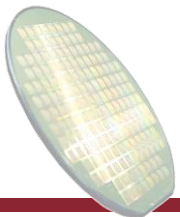




Vizsga

► Írásbeli vizsga a vizsgaidőszakban

- 90 perces
- **Egész féléves anyagból:**
 - előadásokon elhangzottak **ÉS**
 - laboratóriumi foglalkozáson elhangzottak **ÉS**
 - laboratóriumi felkészülést segítő jegyzetben közzétett ismeretek
- 1. Feleletválasztós tesz/mondat kiegészítő feladatok
- 2. Elméleti rész (kifejtős jellegű)
- 3. Tervezési / számítási feladat



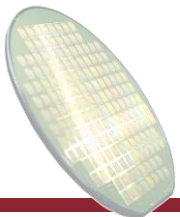


Facebook tanulmányi csoport



Mikroelektronika 2018 csoport

Group Address: Mikroelektronika 2018 (BME VIK)



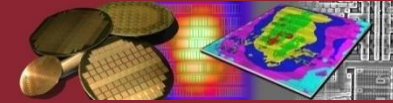


Irodalom

- ▶ Előadásanyagok (EDU rendszerben)
- ▶ Labor silabuszok és jegyzet (az EDU rendszerben)
- ▶ Székely Vladimír, „Elektronika I.”, Műegyetemi kiadó, 2000, 55054,

- ▶ Jan M. Rabaey et al. "Digital integrated circuits" c. könyvének válogatott fejezetei
- ▶ Székely V., Poppe A: „Áramkör-szimuláció a PC-n”, ComputerBooks Kft., 1999, ISBN 9636180806





Egyéb info: www.eet.bme.hu

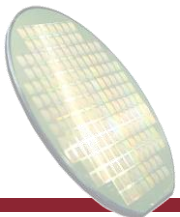
► EDU link itt is:



The screenshot shows the homepage of the EET (Elektronikus Eszközök Tanszéke) website. The browser address bar shows the URL: www.eet.bme.hu/new/index.php?option=com_content&task=view&id=367&Itemid=281. The website header includes the BME logo and navigation links: Főoldal, Tanszékünkről, Hírek, Oktatás, Kutatás és Fejlesztés, Események, Munkatársak, and Telefonkönyv. A search bar and a language selector (Hungary/UK) are also present. The main content area features a large image of two researchers in a lab, with a caption: "Tehetséggondozás az EET-n felvételizz a Mikro- és Nanoelektronikai Tehetségpontba >>". Below this, there are two columns of links: "Kutatás" (with sub-links: Kompetenciák, Projektek, Laboratóriumok) and "Őszi választható tárgyaink" (with sub-links: Komplex hardvertervezés II., Virtuális műszerek a mérnöki gyakorlatban, Űreszközök fedélzeti rendszerei). A "Még több választható... [+]" link is also visible. On the left sidebar, there is a "BME Zöld Tanszék Minősítés" logo, a "Legzöldebb Tanszék 2011, 2012" quote, and a "MASAT-1 hírcsatorna" section with news items. A red circle highlights the "in" logo in the sidebar.



BEVEZETÉS A MIKROELEKTRONIKÁBA





Mikroelektronika BSc. kurzus

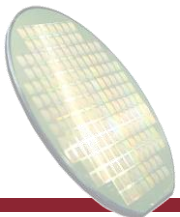
- ▶ Más egyetemeken (MIT, Berkley) a Mikroelektronika tárgy legtöbbször tisztán analóg tervezést (BME VIK-en Elektronika I. tárgy) takar!
 - Könyvekben is analóg tervezést takar a Mikroelektronika
 - A.S. Sedra, K.C. Smith, *Microelectronic Circuits*, Oxford Series in Electrical and Computer Engineering 6th Edition, ISBN-13: 978-0199339136
- ▶ A hozzá szorosan kapcsolódó egyéb ismeretek külön-külön tárgyban:
 - félvezető és kvantum fizika, szilárdtest fizika, félvezető gyártástechnológia, Mixed-signal CAD tervezés, szimulációs módszertan, modern tokozás, modern VLSI áramkörök, stb.





Mikroelektronika BSc. kurzus célja

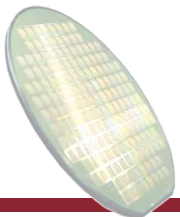
- ▶ Elméleti háttér és alapok biztosítása a már tanult ismereteknek, valamint tanultak kiterjesztése





Mikroelektronika BSc. kurzus célja

- ▶ Új ismeretek, modern technológiák, módszertanok átadása:
 - Alkalmazott félvezető eszközök (dióda, tranzisztor) működése, felépítése, gyártástechnológiája, stb.
 - Digitális alappok és cellák felépítése, működése,
 - modern áramkörök tervezési módszertana, modern VLSI áramkörök tervezési és technológiai kérdései, stb.
 - Pl. a 5G eszközök processzorainak egyes vonatkozásai
 - MEMS és optoelektronikai eszközök, stb.





Mikroelektronika BSc. kurzus célja

► A tárgy lényeges feladata

- az absztrakt elektronikus működés és a fizikai valóság közötti összefüggéseket megismertesse,
- felkészíteni a leendő mérnököket IC tervező specialistával való együttműködésre, valamint
- alkalmazásképes tudást és kompetenciát alakítson ki digitális áramkörök alapszintű tervezése és digitális kapuk analóg tervezése kapcsán.

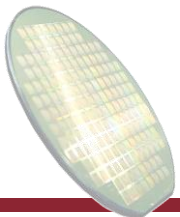
- Nagyvállalati környezetben való munkához szükséges szemlélet kialakítása
 - Értsük legalább a nyelvet, amit beszélnek
 - Módszer: meghívott ipari előadók egyes témákban (egyeztés alatt)





Kérdések amikre a félév során választ keresünk

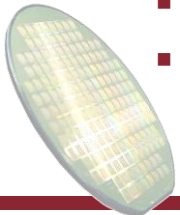
- ▶ Miért pont szilíciumot használunk? Mi az hogy félvezető? Miért kell, hogy félvezető legyen? FIZIKA
- ▶ Milyen félvezető eszközöket és integrált áramköröket lehet alkotni? Mire is jók ezek? (kapcsol, erősít, ...)
- ▶ Hogyan és milyen félvezető eszközöket lehet gyártani? Technológia mit tesz lehetővé?
- ▶ Hogyan lehet kettő vagy több félvezető eszközt egy chipre integrálni? Miért is jó ez nekünk? ELEKTRONIKA I.
- ▶ Milyen áramköröket tudunk összerakni ezekből az alkatrészekből? (analóg, digitális)
- ▶ Miért digitális, és miért nem analóg egy mikroprocesszor? (Kapuk, tárolók, szekvenciális hálózatok, ...) DIGITÁLIS TECHNIKA





Kérdések amikre a félév során választ keresünk








- ▶ Hogy lehet memóriát készíteni? Hová milyen érdemes választani? (operatív tár, cache memória, pendrive, ...)
- ▶ Hogy tudunk egy egyszerű processzort tervezni? Mi kell hozzá? (órajel, kapuk, CAD eszközök, ...)
- ▶ Hogyan tervezünk igen bonyolult digitális áramköröket (hardverleíró nyelvek, alapkapuk felhasználása, szintézis, stb)
- ▶ Hogy lesz a megtervezett integrált áramkörből termék? (MPW, tokozás)
- ▶ 3D tokozás, more-than-Moore integráció, SoC, SiP, SoP,
- ▶ Milyen problémákkal nézünk szembe (termikus, csíkszélesség csökkentése, új effektusok, új eszközök, ...)
- ▶ Hogy lehet készíteni és mire jó a különböző mikrogépészeti eljárásokkal készült szilícium struktúrák? (MEMS)
- ▶ Hogyan tovább mikroelektronika?
 - Moore törvény véget ért? Meddig csökkenek a méretek?
 - Nano és kvantumelektronika?





Mikroelektronika helye

► Integrált áramkörök egy okos eszközben

-  Drivers: Devices packaged using 'Fan-in' WLP
-  Drivers: Devices that can be found in both 'Fan-In' and 'Fan-Out' WLP
-  Drivers: Devices packaged using 'Fan-Out' WLP
-  Drivers: Devices that can be found in both 'Fan-Out' WLP and 'Flip Chip'
-  Drivers: Devices packaged using 'Flip-Chip'
-  Drivers: Devices that can be found in WLP or 'Flip-Chip'
-  Discrete passives



► És az 5G?

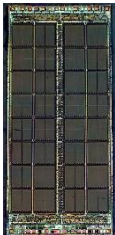
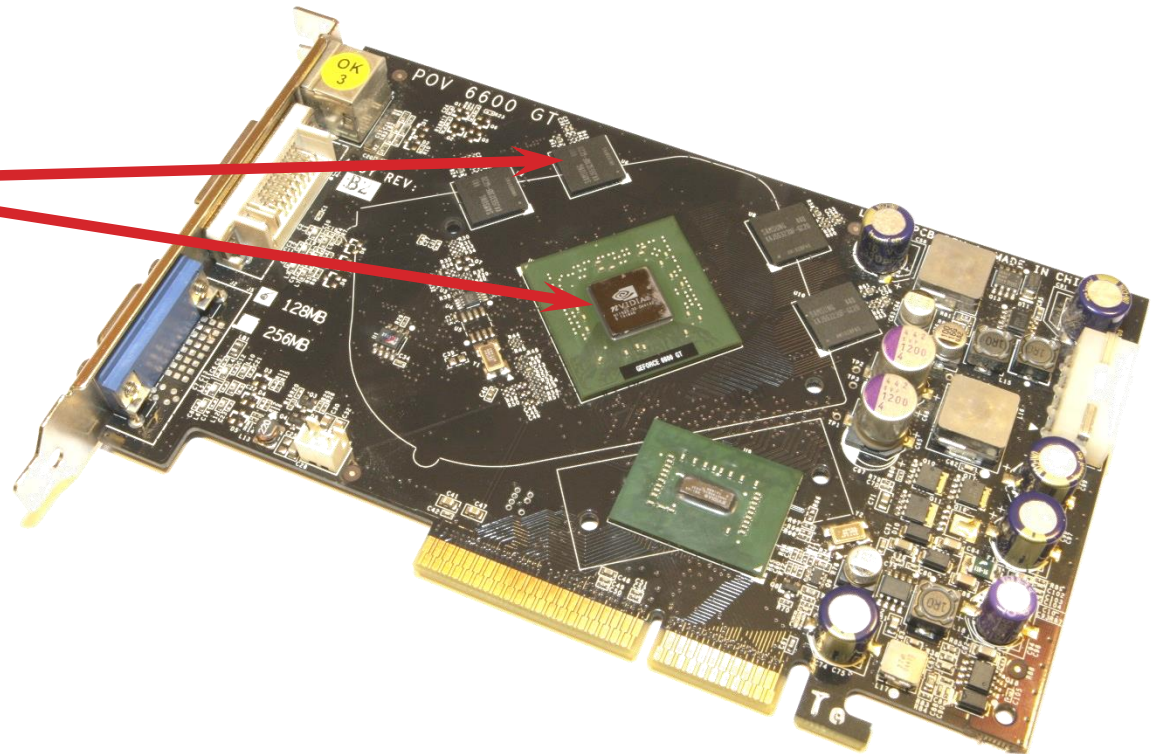
Yole Développement, 2015



Mikroelektronika helye

- ▶ Integrált áramkörök egy felületszerelt nyomtatott huzalozású lemezen

Nézzük meg,
mi van a
tokon belül!



Szilícium chip-ek vannak benne

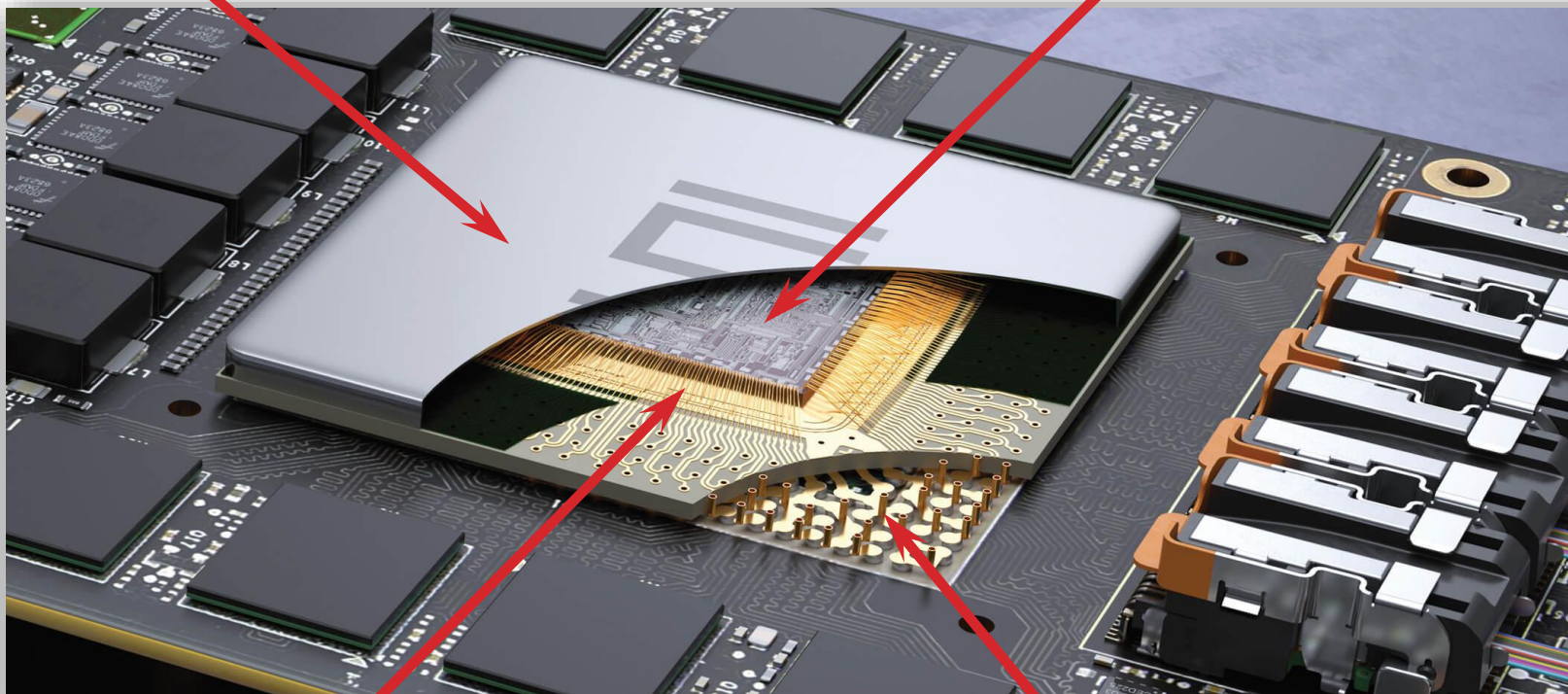


Mikroelektronika helye

► Integrált áramköri tokozás

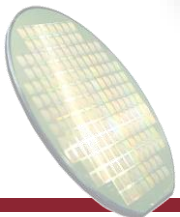
Lid / IHS

Szilícium chip



Aranyvezetékek

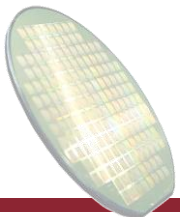
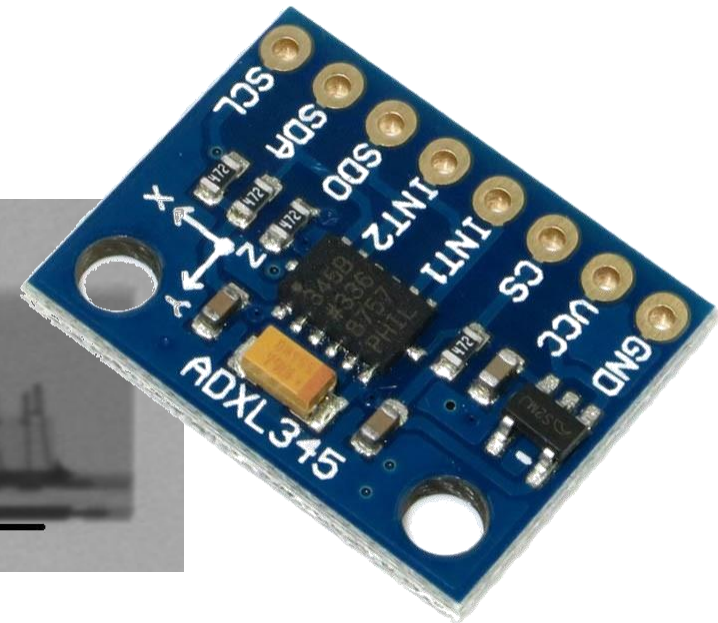
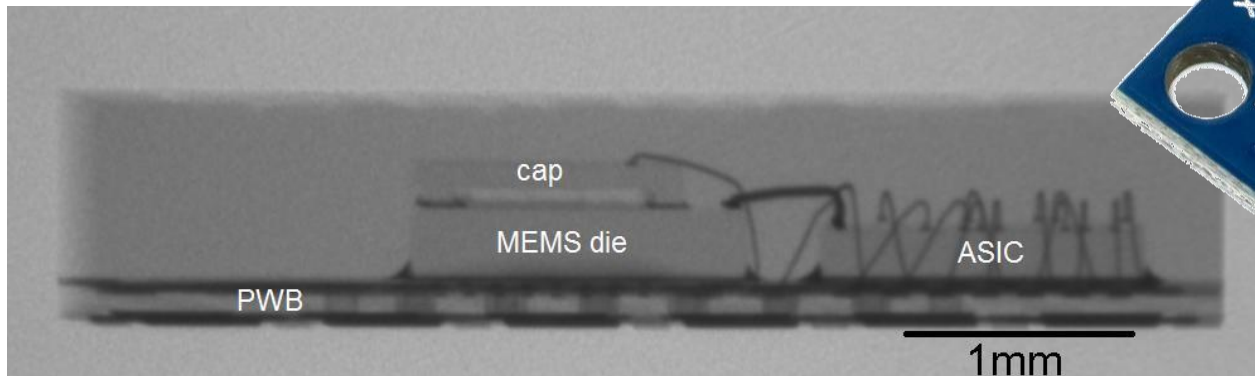
Köztes hordozó (interposer)





Mikroelektronika helye

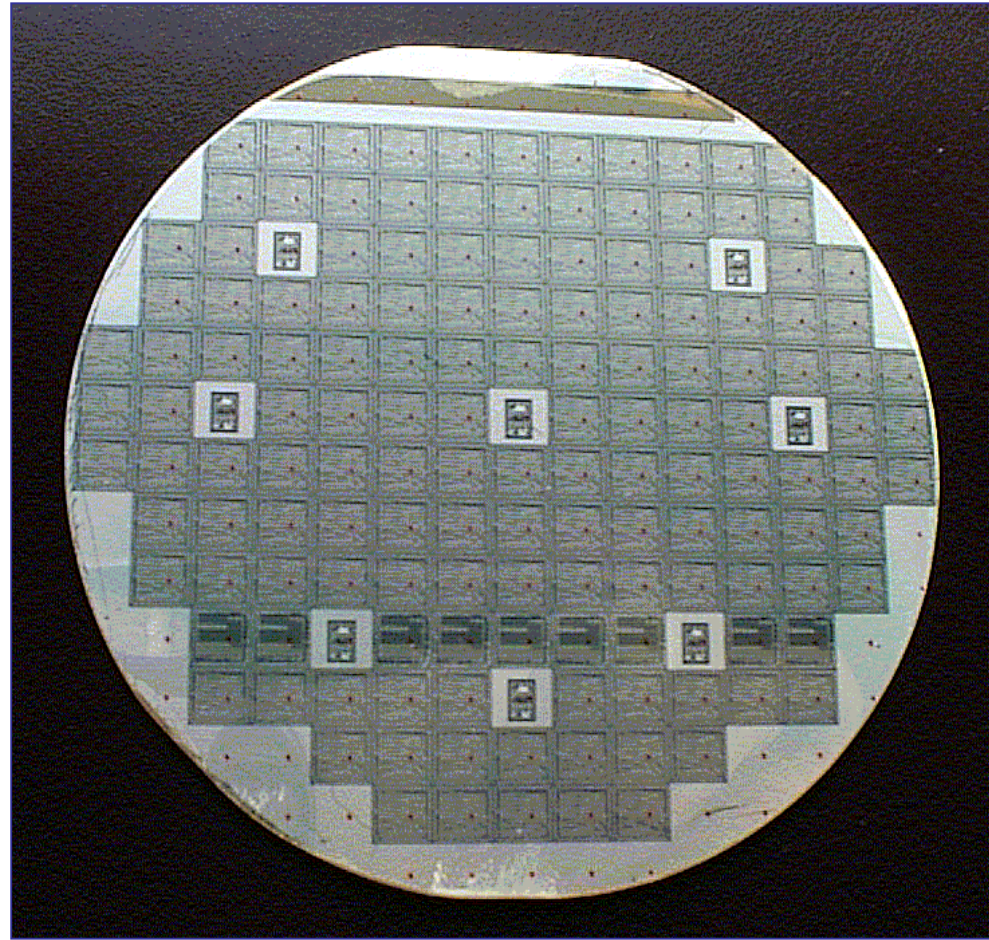
- ▶ Mikro-elektromechanikai rendszerek (MEMS)
- ▶ Tokozott SMD 3 tengelyű gyorsulásérzékelő





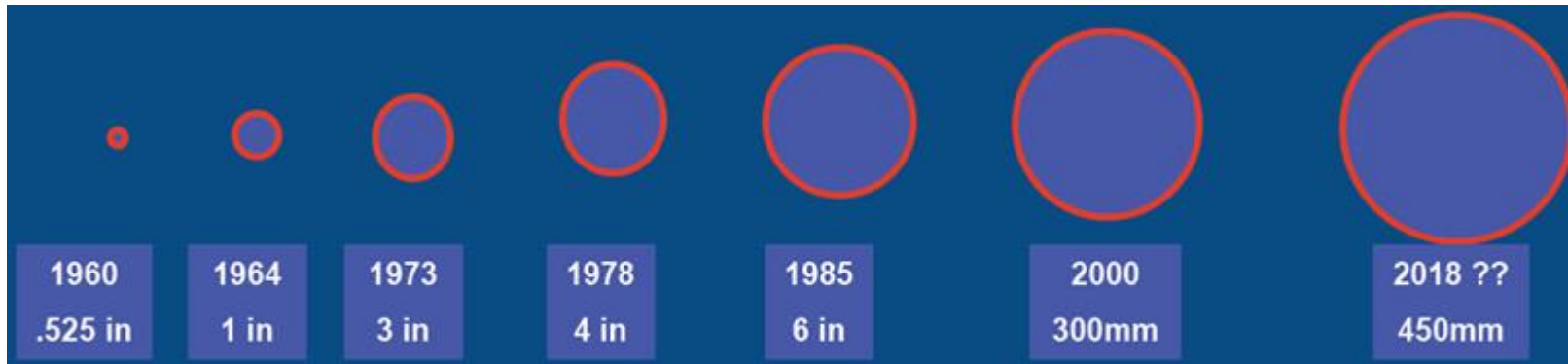
Alapfogalmak

- ▶ Wafer (szelet), chip (lapka) vagy die
 - tökéletes szilícium egykristályból készül
- ▶ Sok azonos chip van egy szeleten
- ▶ Szeletátmérők:
15-20-25... cm, 4-6-8"
- ▶ 100...2000 chip/szelet
- ▶ **Egyszerre készülnek!**





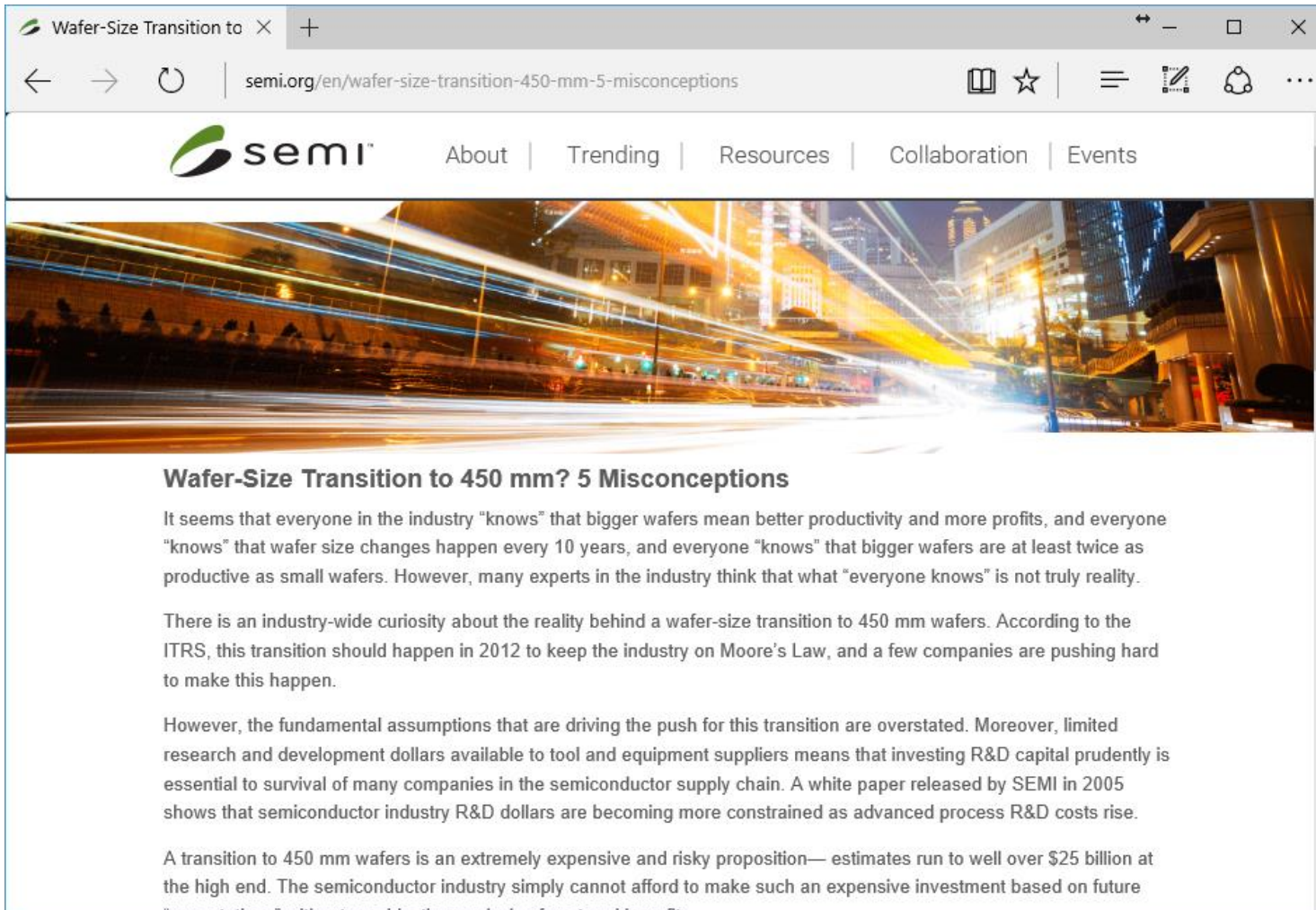
Si egykristály: rúd, szeletek



„The overall **price per die** for 450 mm wafers would be **reduced by only 10-20%** compared to 300 mm wafers, but over **50% of total wafer processing costs** are lithography-related”



Si egykristály: rúd, szeletek



Wafer-Size Transition to 450 mm? 5 Misconceptions

semi.org/en/wafer-size-transition-450-mm-5-misconceptions

semi™ About | Trending | Resources | Collaboration | Events

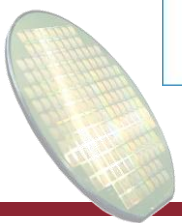
Wafer-Size Transition to 450 mm? 5 Misconceptions

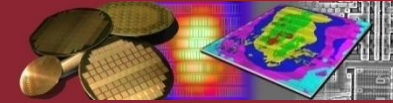
It seems that everyone in the industry "knows" that bigger wafers mean better productivity and more profits, and everyone "knows" that wafer size changes happen every 10 years, and everyone "knows" that bigger wafers are at least twice as productive as small wafers. However, many experts in the industry think that what "everyone knows" is not truly reality.

There is an industry-wide curiosity about the reality behind a wafer-size transition to 450 mm wafers. According to the ITRS, this transition should happen in 2012 to keep the industry on Moore's Law, and a few companies are pushing hard to make this happen.

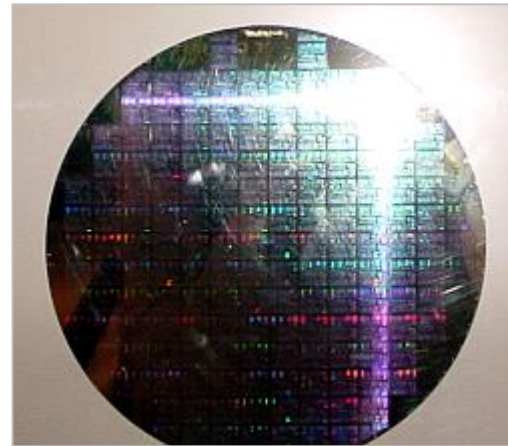
However, the fundamental assumptions that are driving the push for this transition are overstated. Moreover, limited research and development dollars available to tool and equipment suppliers means that investing R&D capital prudently is essential to survival of many companies in the semiconductor supply chain. A white paper released by SEMI in 2005 shows that semiconductor industry R&D dollars are becoming more constrained as advanced process R&D costs rise.

A transition to 450 mm wafers is an extremely expensive and risky proposition— estimates run to well over \$25 billion at the high end. The semiconductor industry simply cannot afford to make such an expensive investment based on future





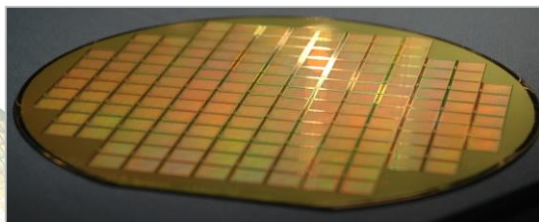
Si egykristály: rúd, szeletek

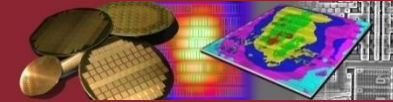


8" szelet Intel Pentium CPU-k, Intel Múzeum



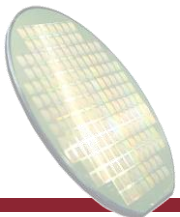
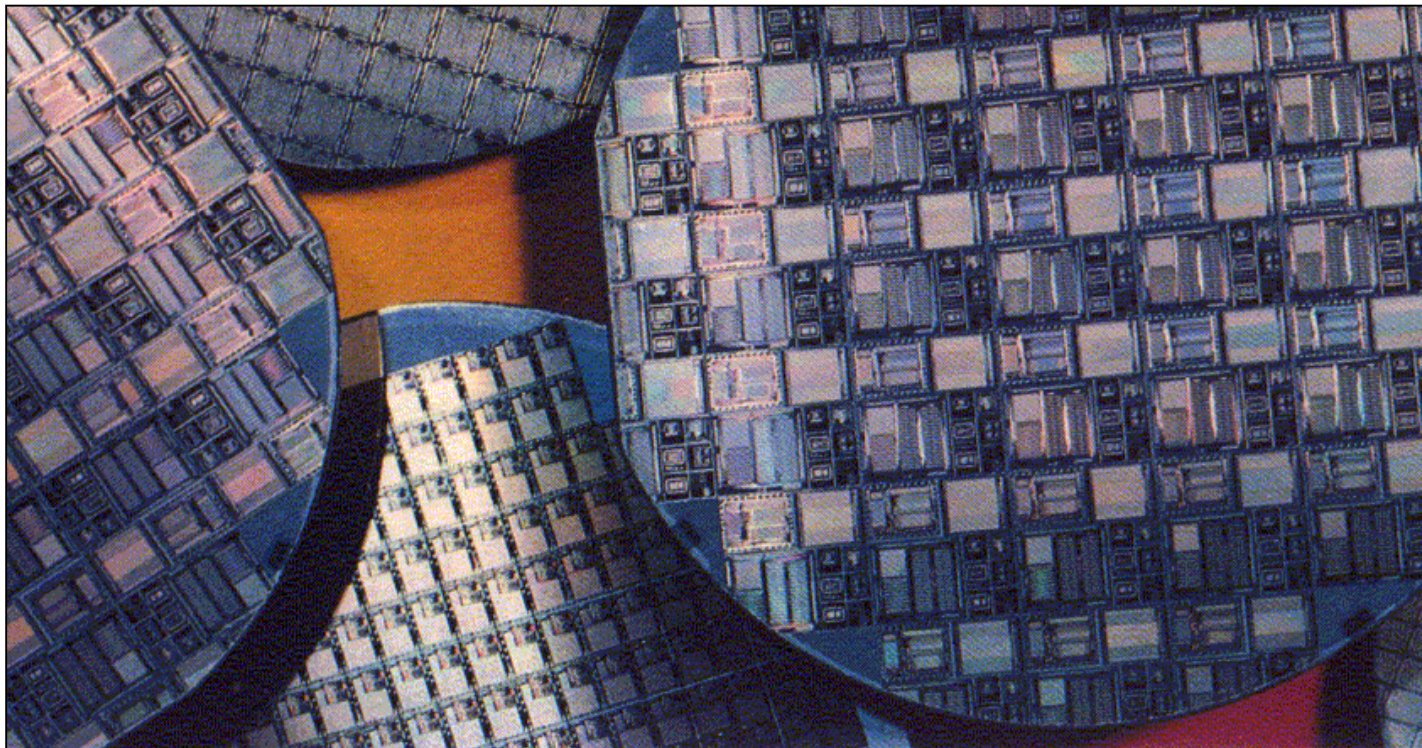
Megmunkált Si szelet

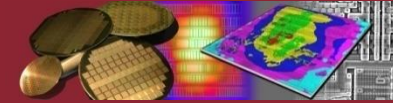




Alapfogalmak

- ▶ Megmunkált szeletek, darabolás előtt

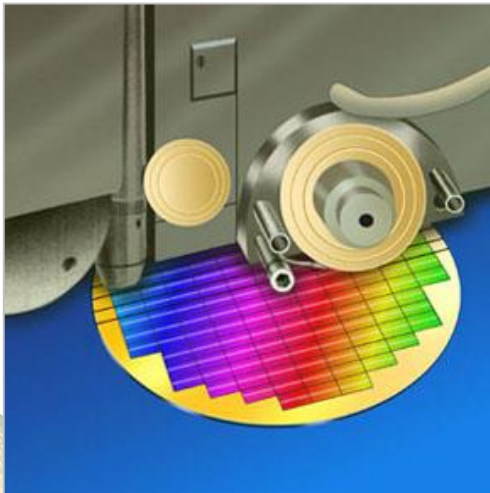




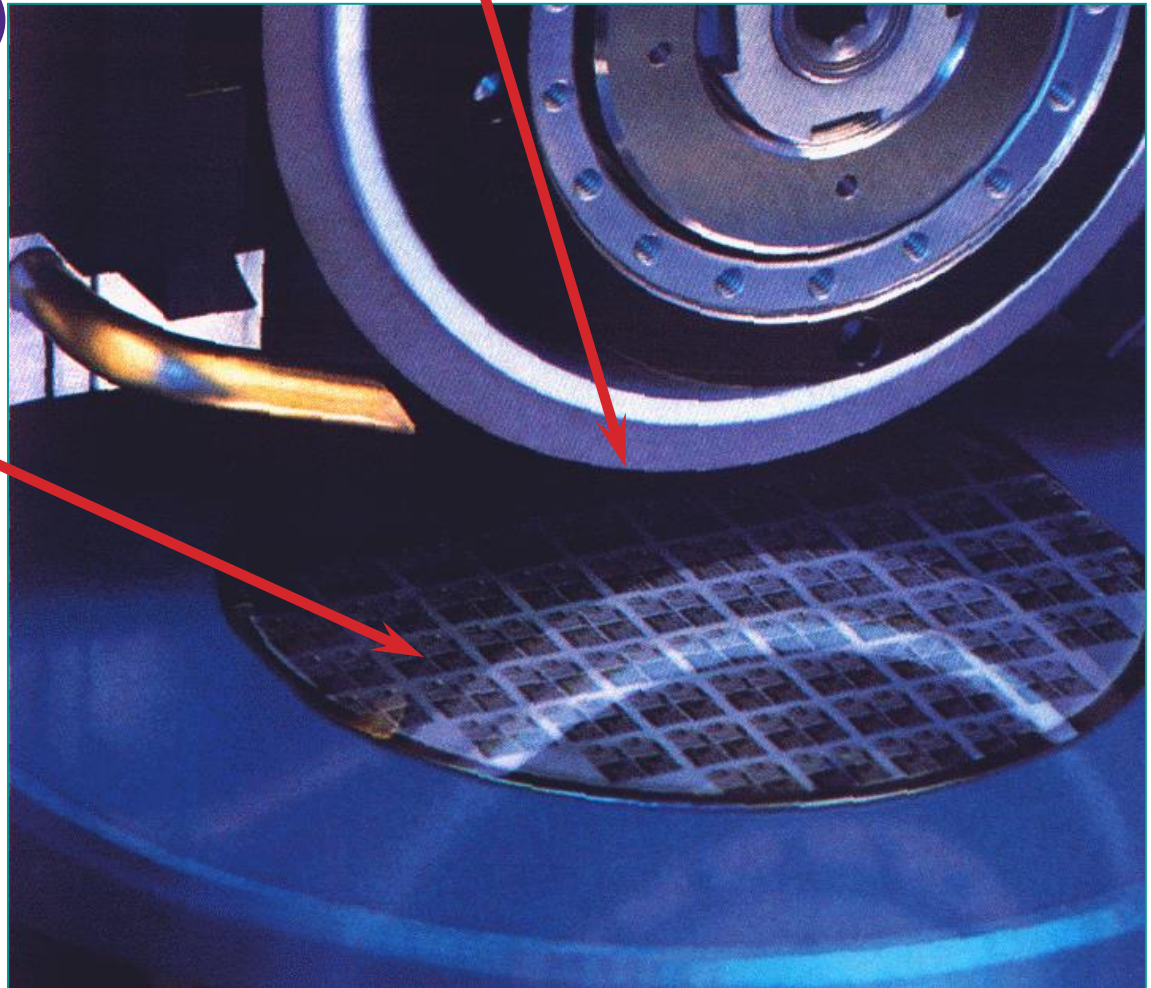
Alapfogalmak

► Darabolás (dicing)

Szelet, kész chipekkel



gyémánt vágóeszköz

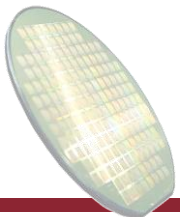
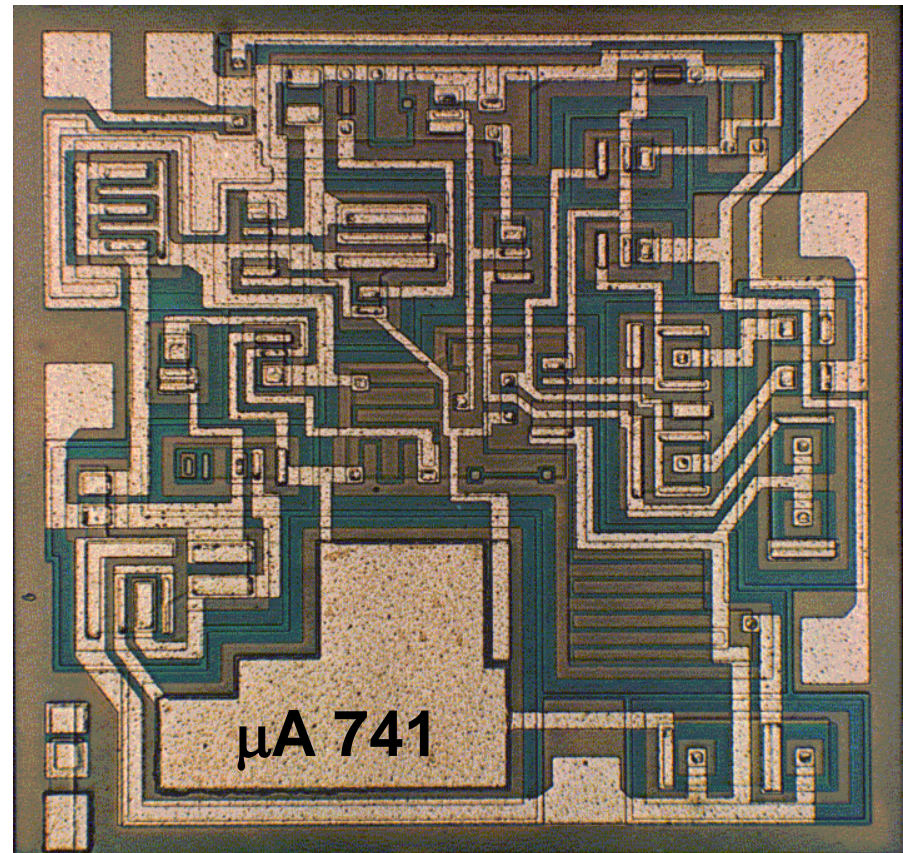
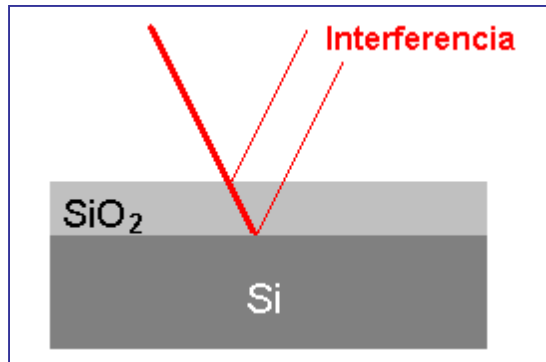




Alapfogalmak

- Egy egyszerű IC chip fénymikroszkópi képe

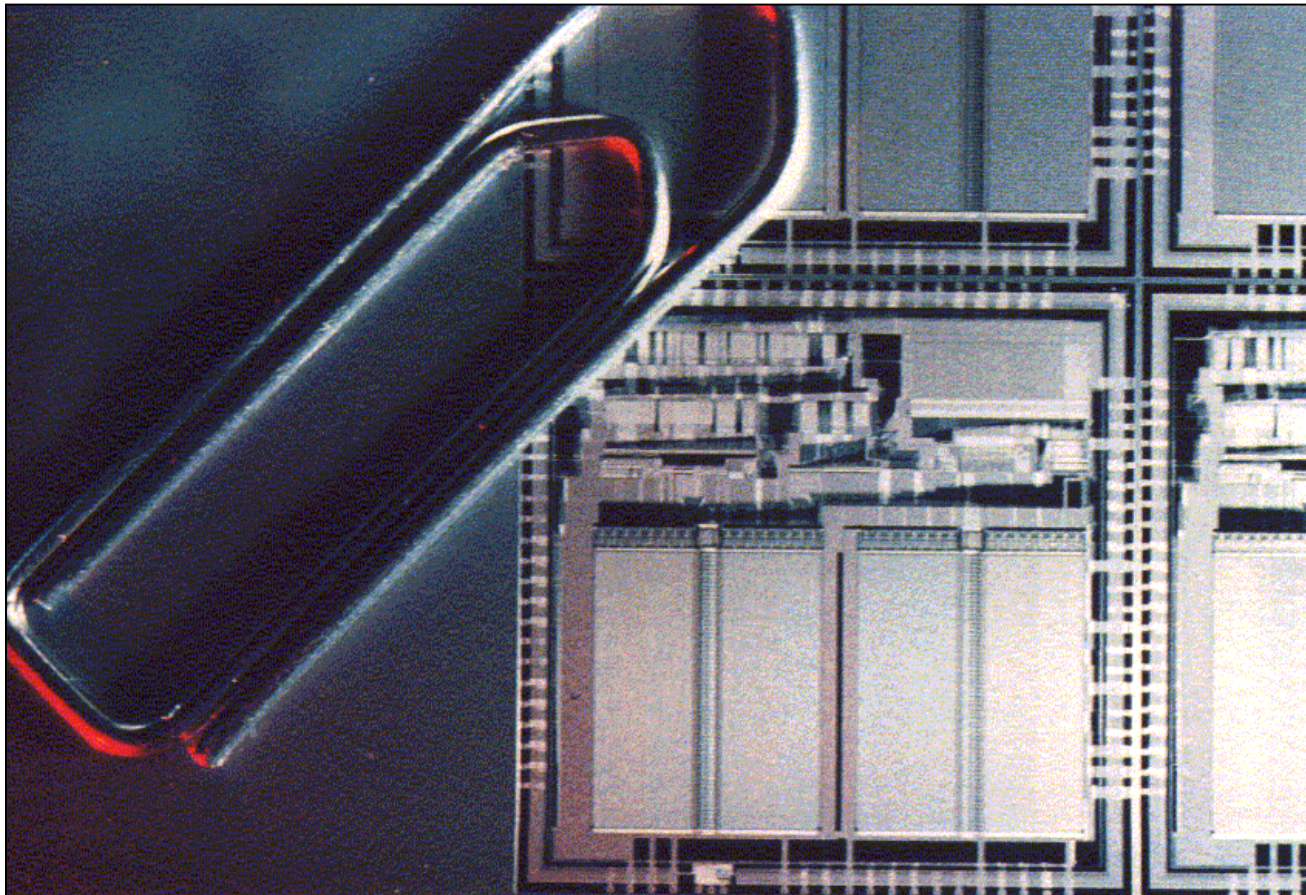
A különböző vastagságú oxidréteggel fedett területek különböző színűnek látszanak





Alapfogalmak

▶ 16x16mm²-es memória chippek





Alapfogalmak

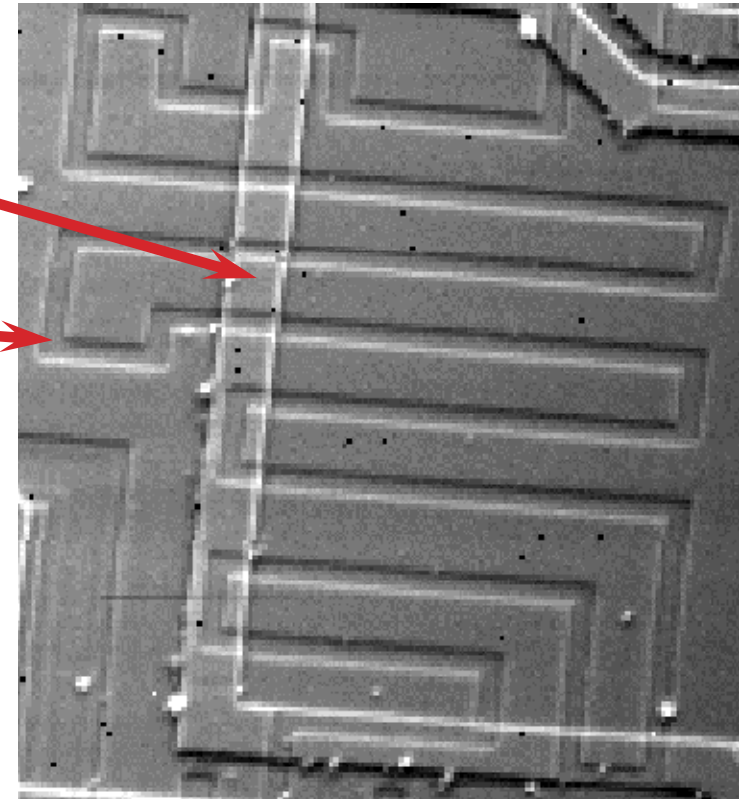
- ▶ **Minimális csíkszélesség - minimal feature size (MFS)** – a kialakítható legkisebb alakzat mérete

Fémezés csík („vezeték”) →

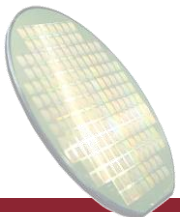
Adalékolt terület ("diffúziós csík") →

MFS kezdetekkor: 15-20 μm

MFS ma: $\sim 0.1\mu\text{m}$... $\sim 0.01\mu\text{m}$



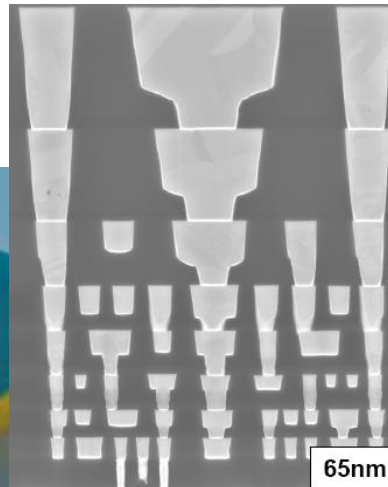
Talystep felületpásztázó



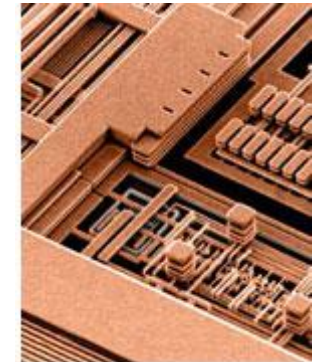


Alapfogalmak

- ▶ **Minimal feature size (MFS)**
2007/2008, Intel:

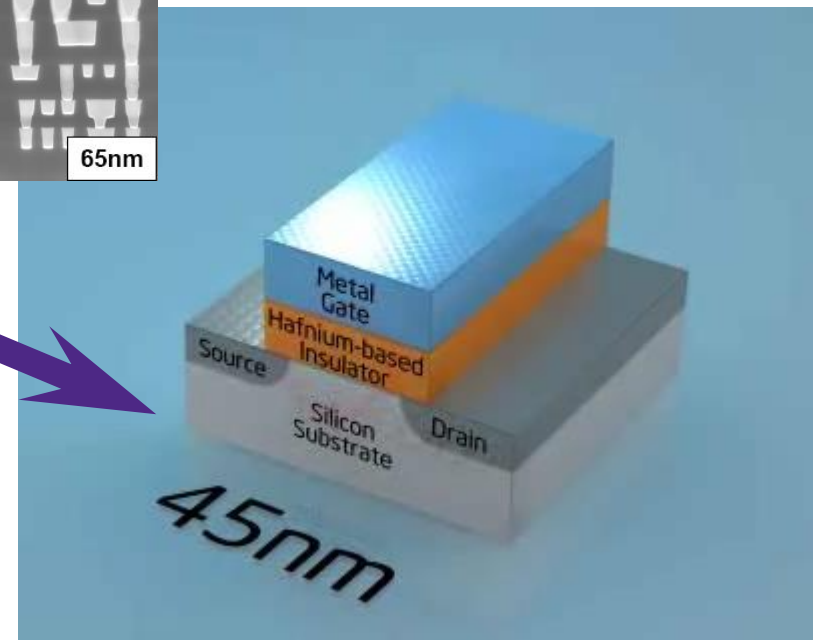
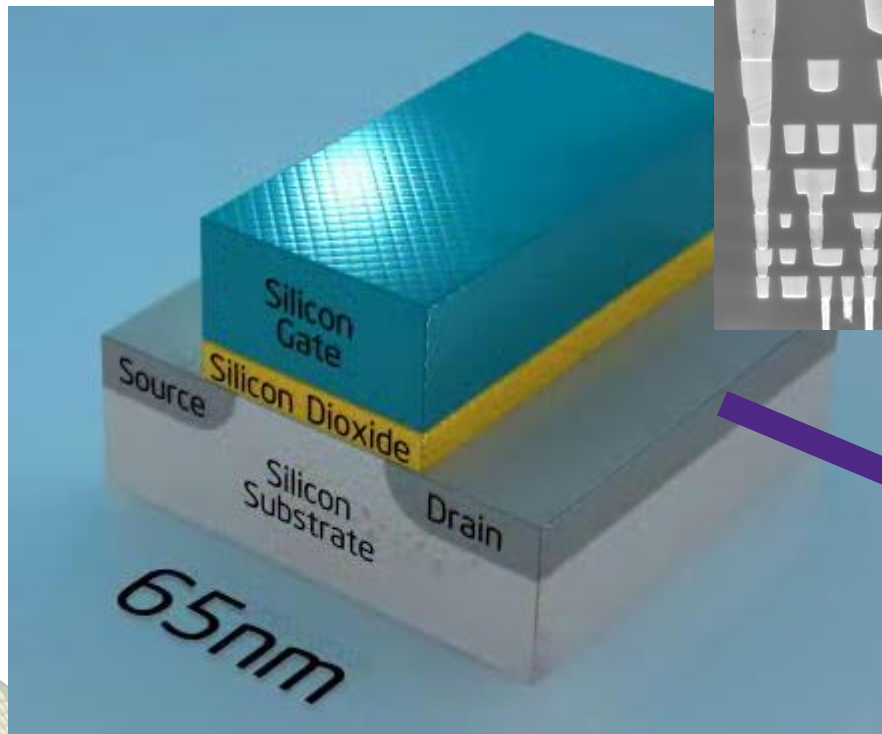


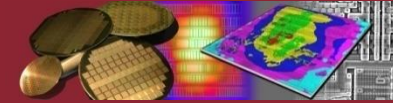
Intel



IBM

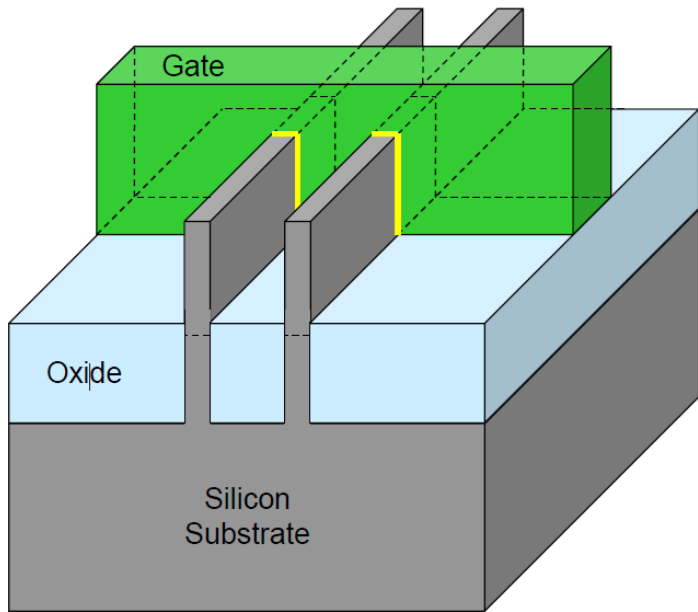
Nagyon sok fém vezetkező réteg,
réz használata alumínium helyett



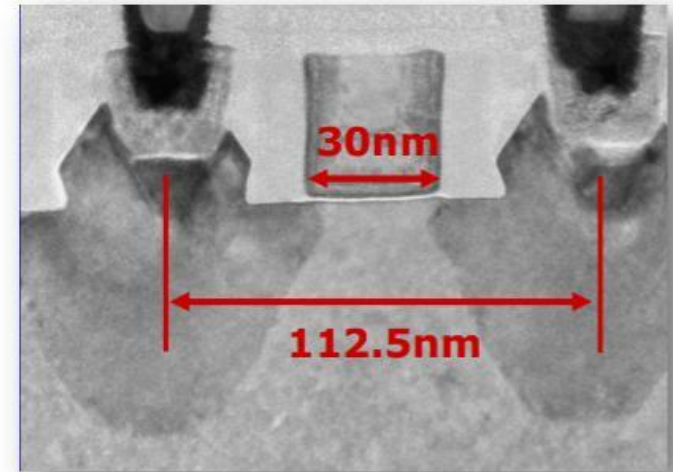


Alapfogalmak

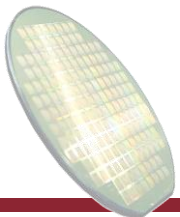
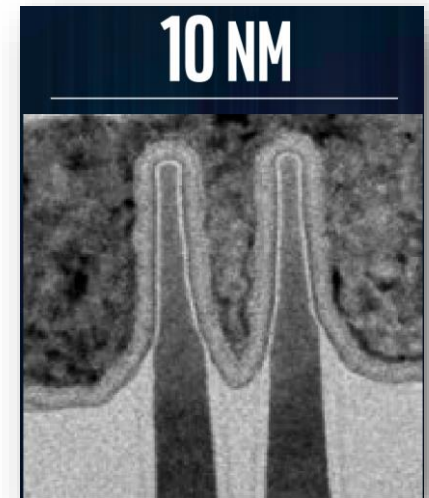
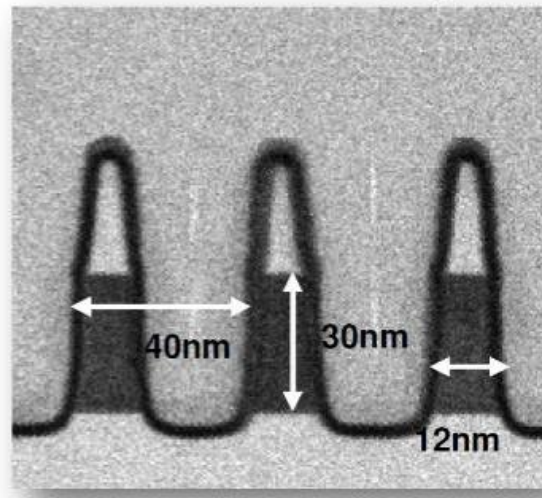
- ▶ **Minimal feature size (MFS)**
Intel 2012, 2014, 2018 (10nm)

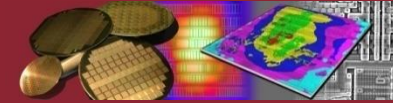


32nm Planar Example



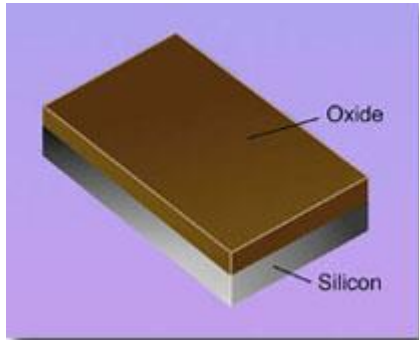
22nm FinFET Example



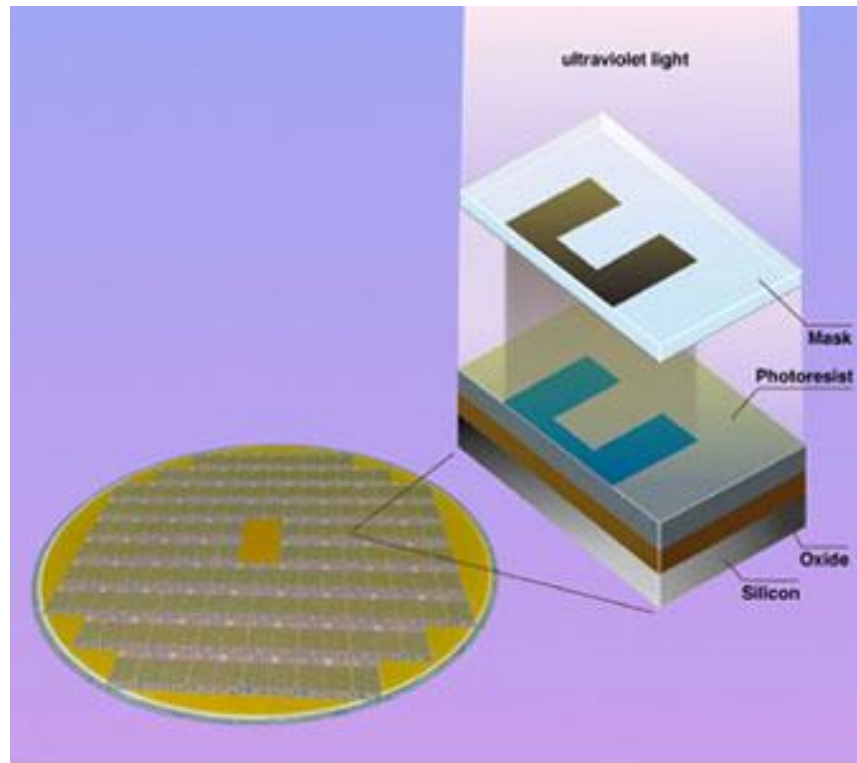


Strukturálás: fotolitográfia

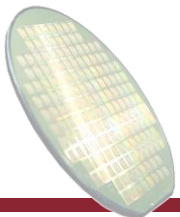
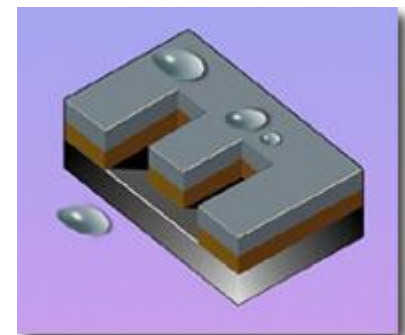
patterning / mintázat kialakítása



SiO_2 lesz az adalékolás maszkoló rétege



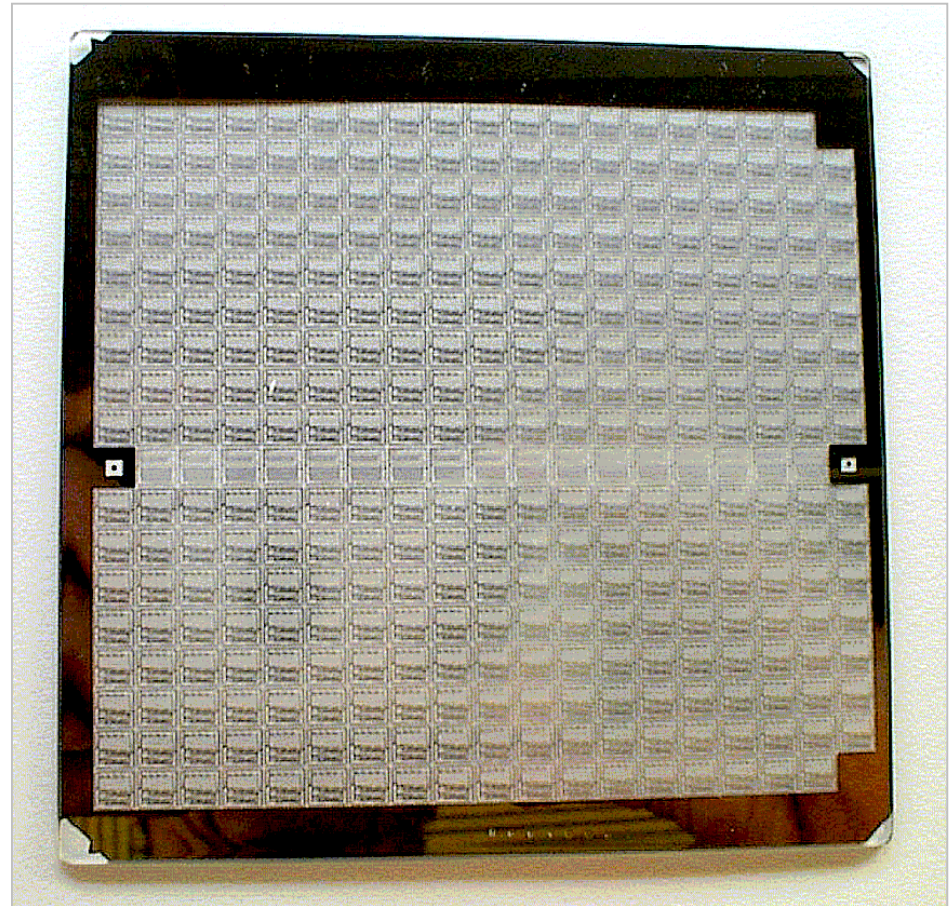
1. fotoreziszt felvtele
2. mintázat fényképezése a rezisztre
3. előhívás (oldás, hőkezelés)
4. mintázat átvitele a rezisztről az oxidre nedves marással





Mintázat kialakítása

- ▶ Az eredeti mintázat egy **fotomaszkon** van
 - üveg hordozón króm mintázat
- ▶ Nagy pontossági igény:
 - 14nm / 30cm!
 - Szükséges pontossági arány: $10^{-7}:1$
- ▶ Látható fény:
 - $\lambda=0.3-0.6 \mu\text{m}$
 - deep UV-re van szükség!
 - Jelenleg 193nm





Fotolitográfia

- ▶ Sárga fényű helyiségben – a reziszt UV-re érzékeny, sárgára nem



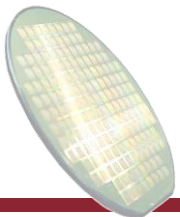
IC gyár valahol a világban

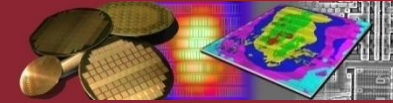


Az új tanszéki félvezető labor (QB -1)



Monolit IC Laboratórium, Mikroelektronika specializáció az EET-n





Jellemző alakzatok a chip-en

Fémezés csik

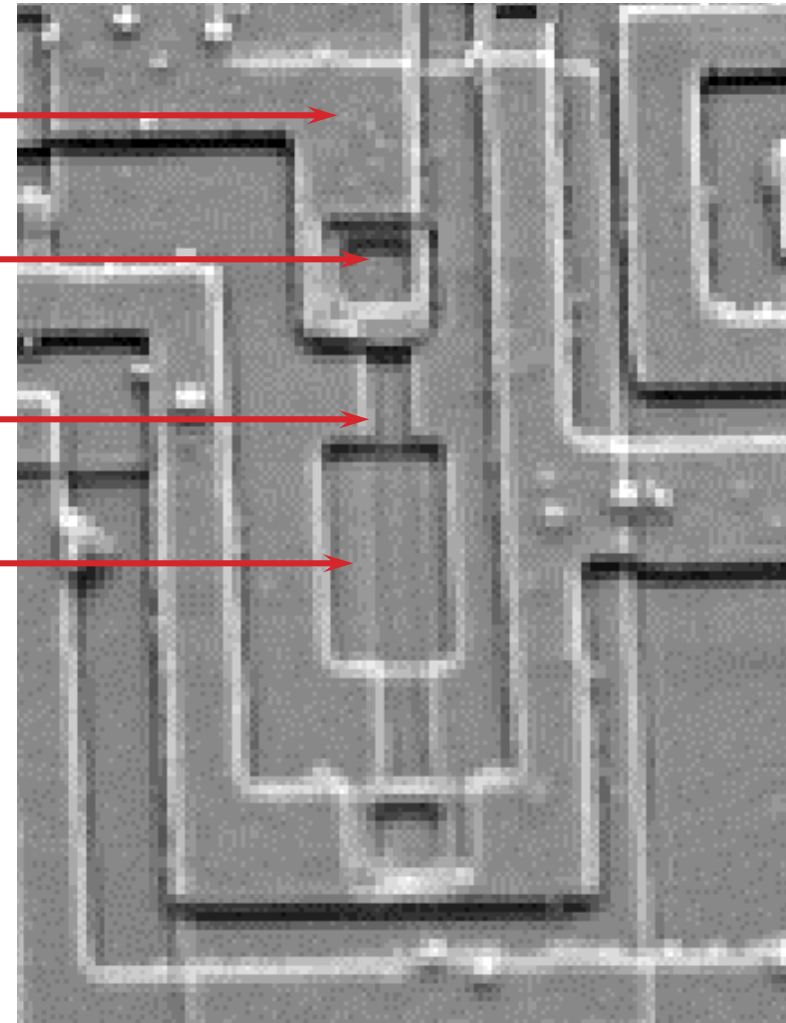
Kontaktus ablak

P adalékolt régió

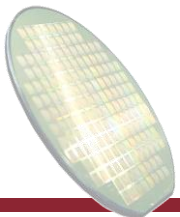
N adalékolt régió

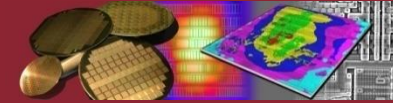
Egy technológia: 15..70 maszk

Probléma: **maszkillesztés**



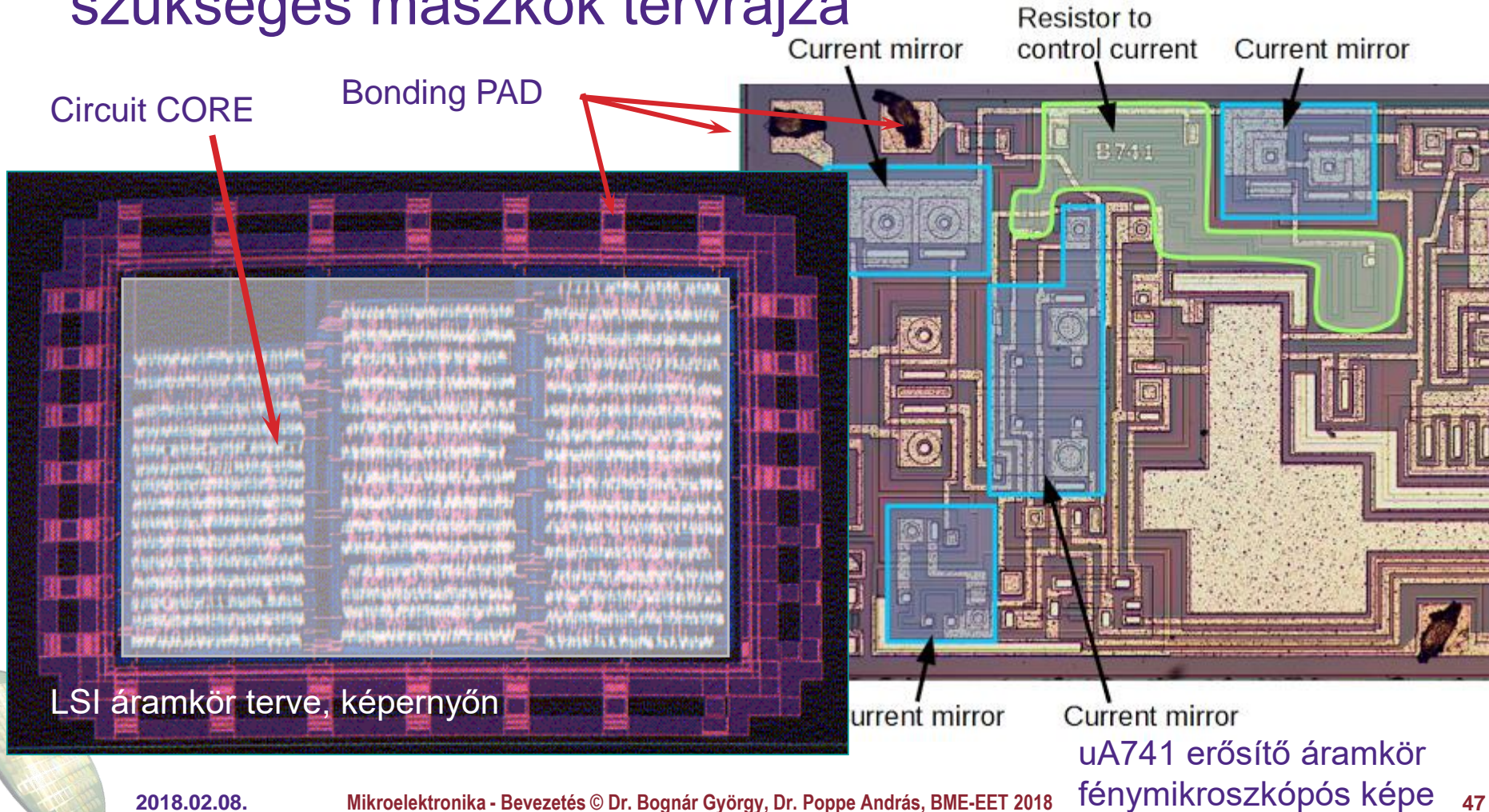
Bipoláris integrált (nyomott) ellenállás

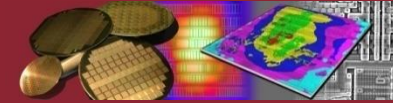




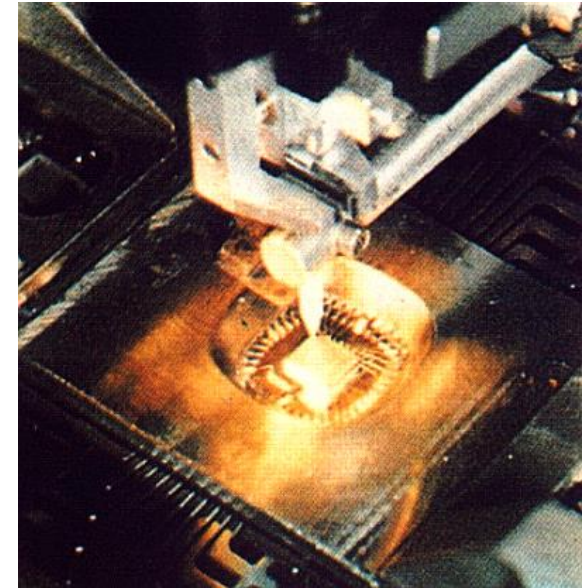
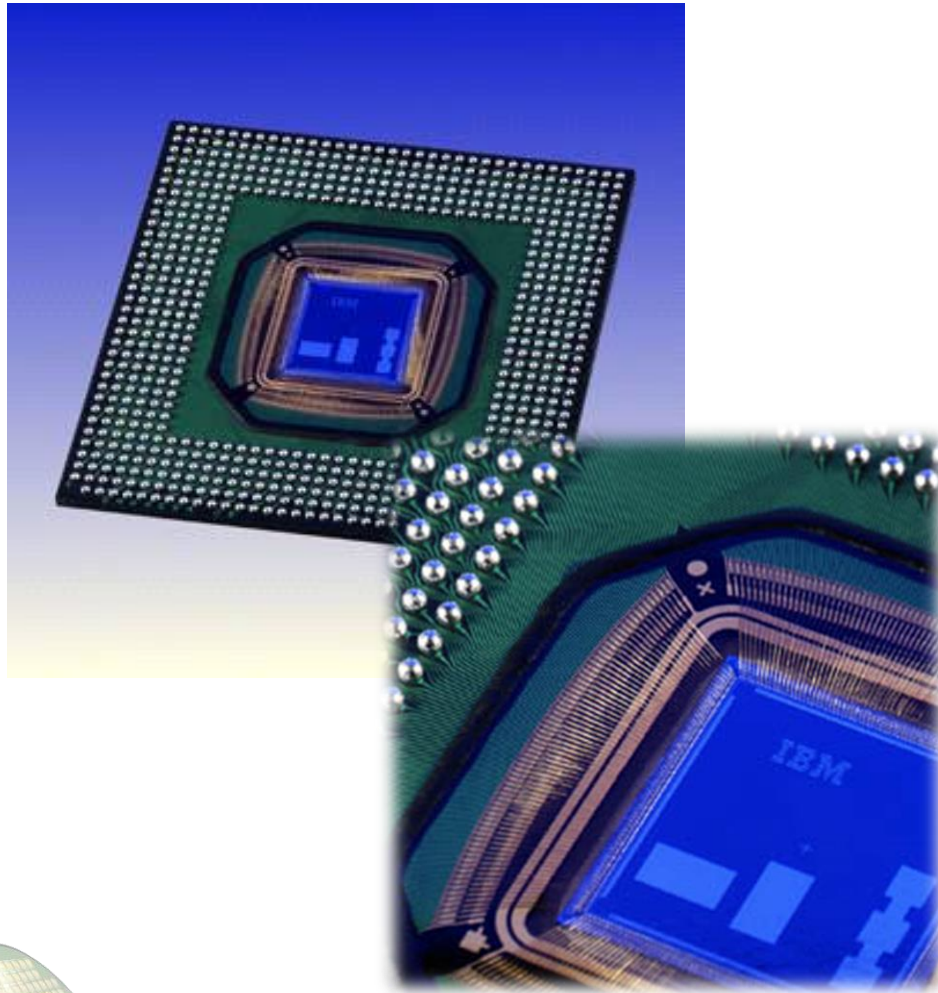
Alapfogalmak

- **Layout:** az integrált áramkör gyártásához szükséges maszkok tervrajza





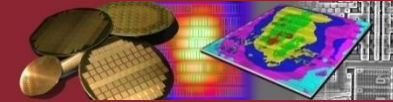
Tokozás – ma nagy kihívás



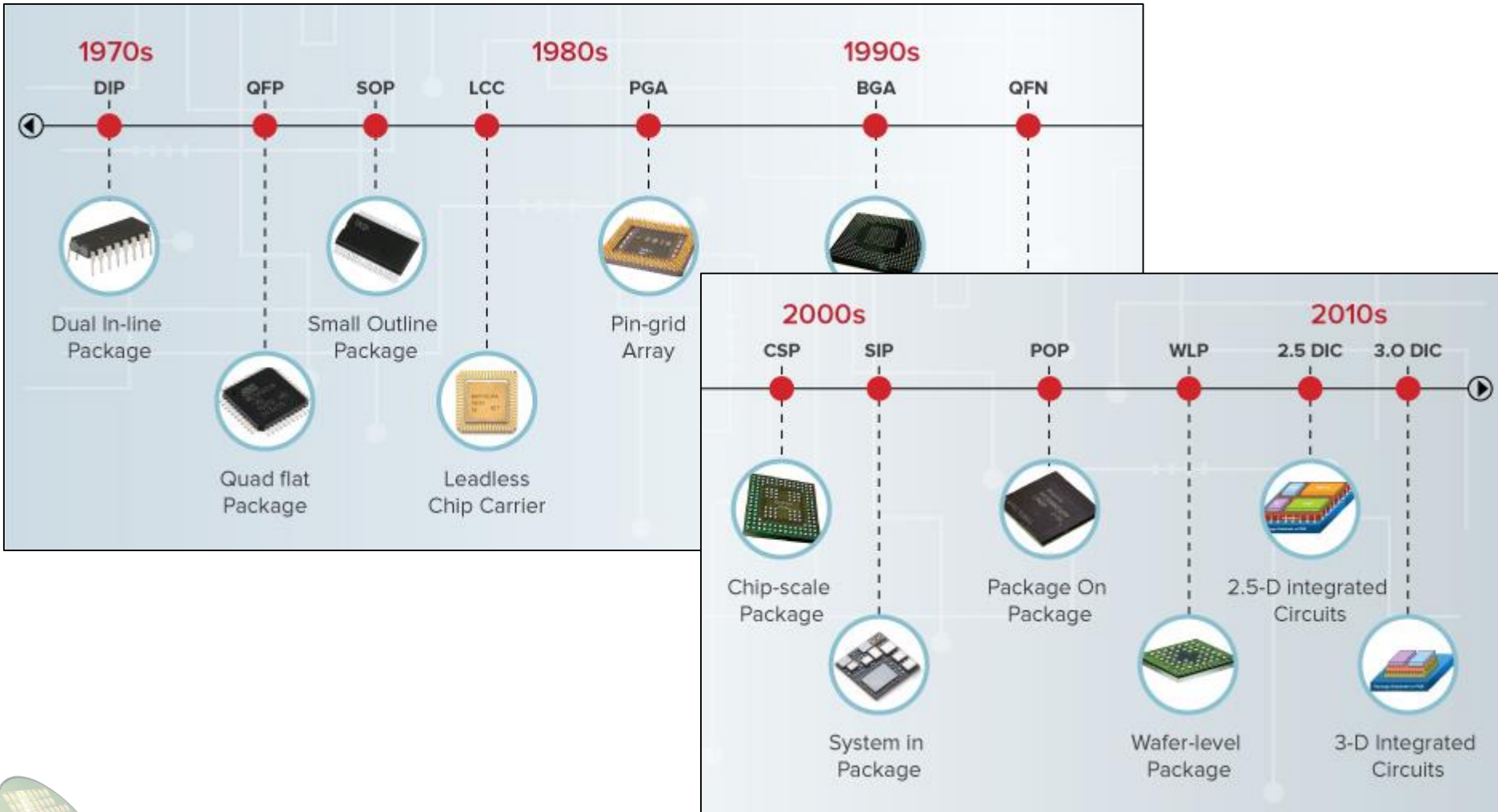
Bondoló automata

Kihívások:

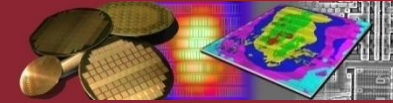
- nagyszámú kivezetés szám
- egyre finomabb osztásköz/pitch
- nagyfrekvenciás tulajdonságok
- hőelvezetés a környezet felé
- rendszerintegráció



Modern tokozás –

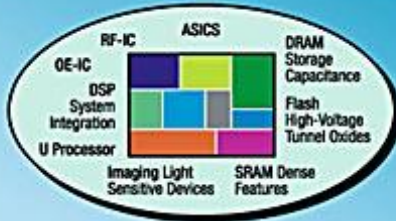


<http://anysilicon.com/wp-content/uploads/2016/02/Semicondcutor-packaging-history.jpg>

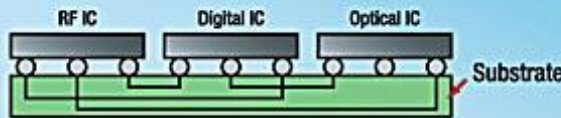


Modern tokozás – 3D integráció

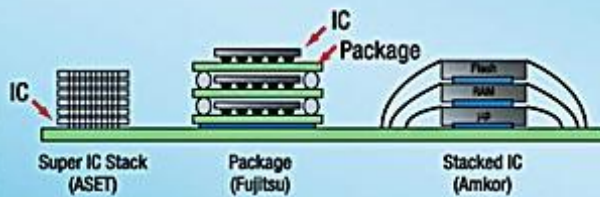
SOC
Complete system on one chip



MCM
(Multi-Chip Module)
Interconnected components

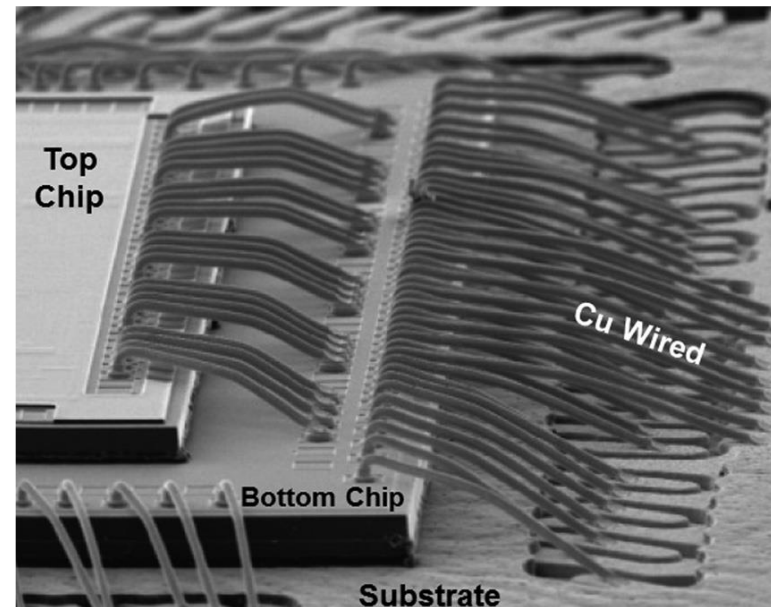
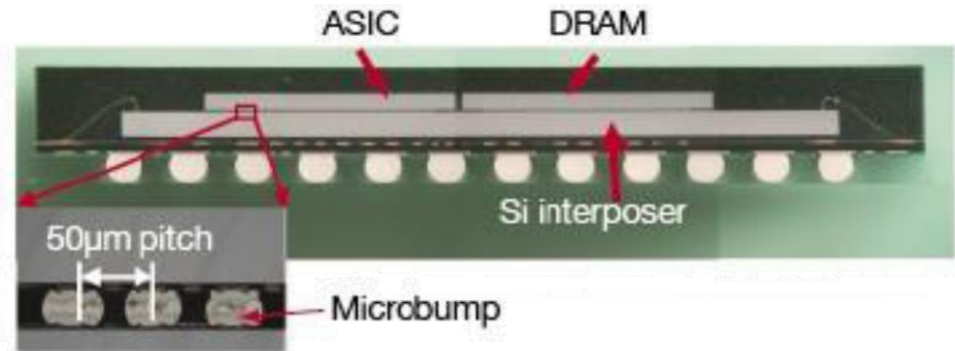
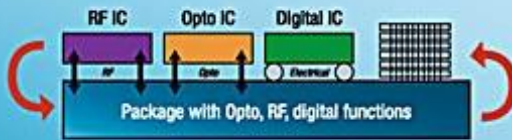


SIP
Stacked chip/package for reduced form factors



SOP

- Optimizes functions between ICs and package
- Miniaturizes systems

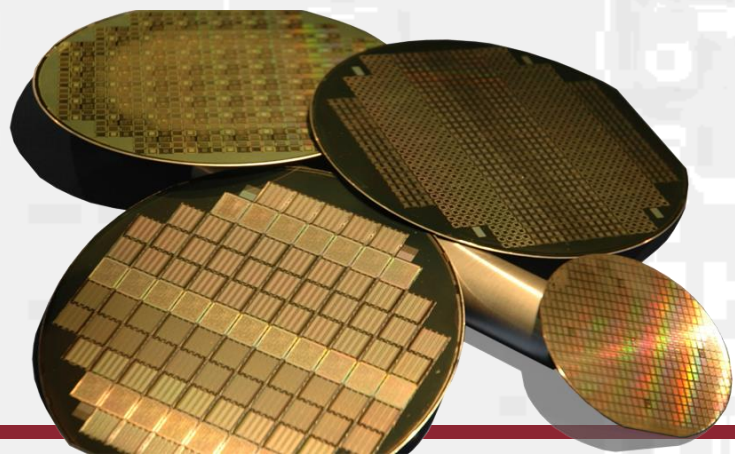




Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikus Eszközök Tanszéke

MIKROELEKTRONIKA, VIEEAB00

Modern IC gyártó
üzemek, fejlődési trendek



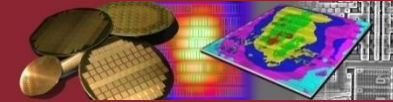
<http://www.eet.bme.hu>



Egy IC gyár (silicon foundry vagy fab)

- ▶ Tiszta tér / tiszta szoba (cleanroom)



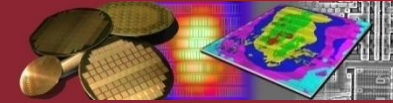


Tiszta tér (cleanroom)



A műveletek
maximális
tisztaságot
igényelnek

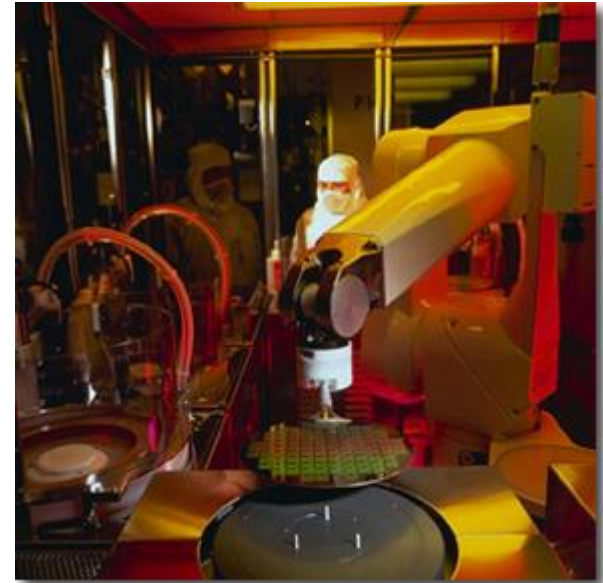
Speciális ruha – mint az
űrruha: *nem az embert védi*
Speciális szoba: **tiszta
szoba**; sokkal tisztább, mint
egy steril műtő



Tiszta tér (cleanroom)



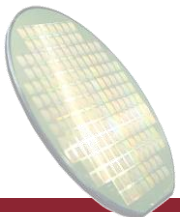
EET új tiszta tér (Q)

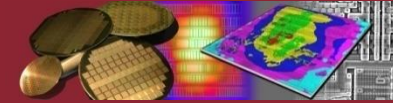


IBM

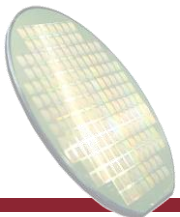
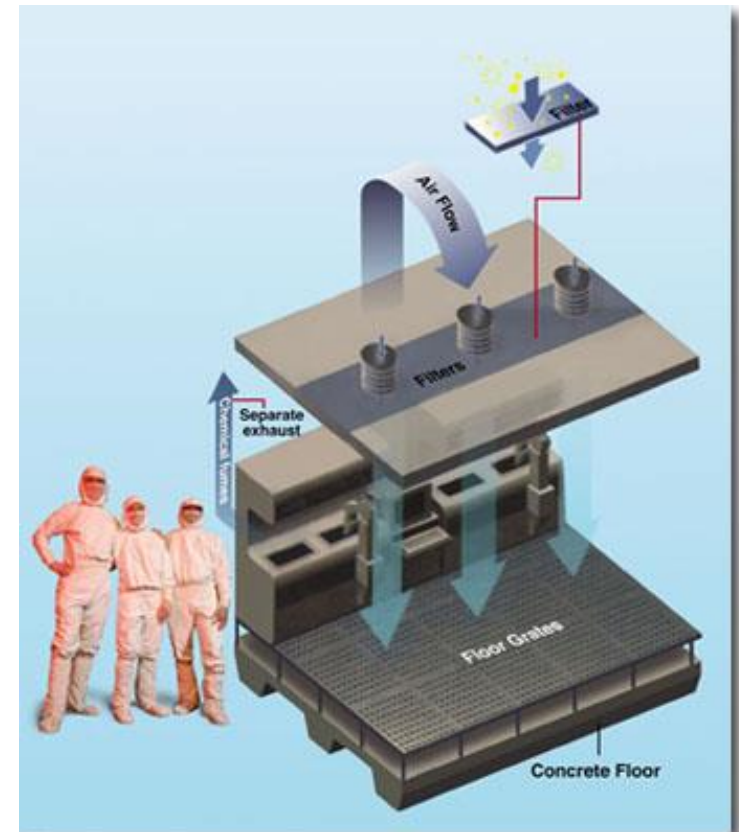
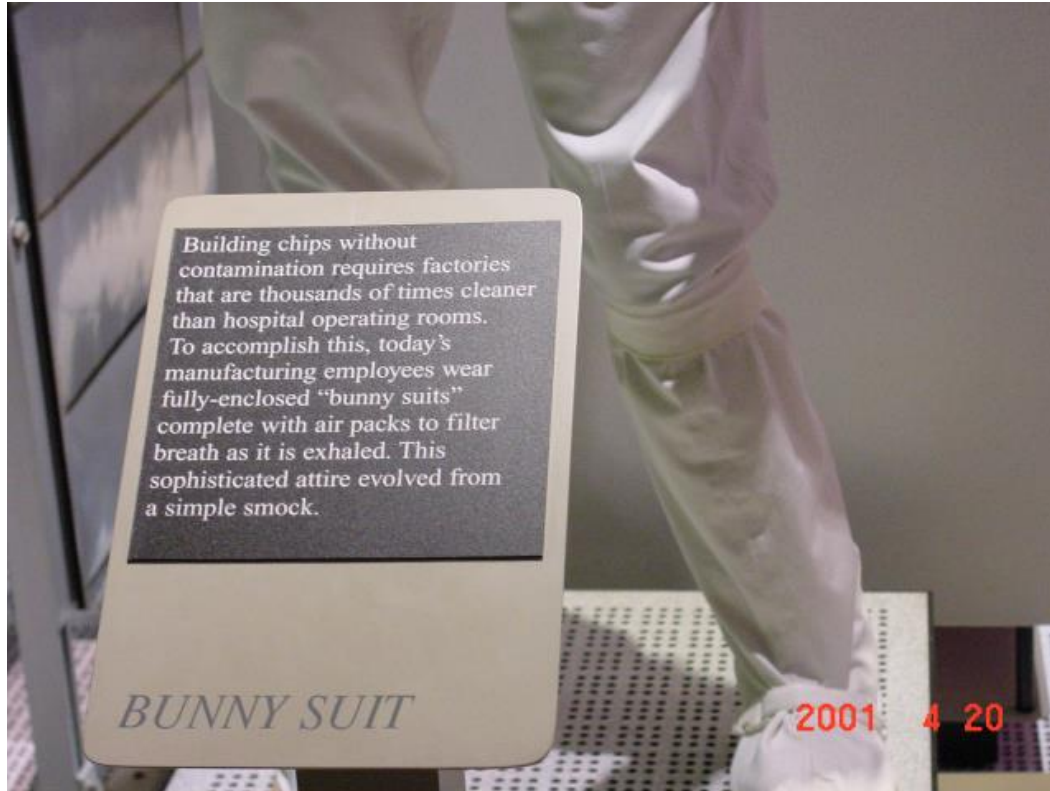


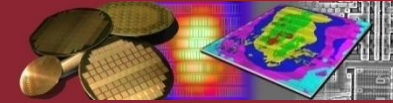
Intel Múzeum





Tiszta tér (cleanroom)





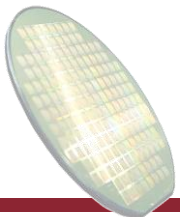
Tiszta tér (cleanroom)



Suining Up

This is a typical sequence of steps that everybody who plans to enter a fab must follow:

1. Store personal items.
2. Discard any gum, candy, etc.
3. Remove any makeup with clean room soap and water.
4. Take a drink of water to wash away throat particles.
5. Cover any facial hair with a surgical mask or beard/mustache cover.
6. Put on a lint-free head cover.
7. Clean shoes with shoe cleaners.
8. Place shoe covers over street footwear.
9. Enter an air shower designed to blow off loose particles.
10. Exit air shower and enter shoe change room.
11. Clean any small, pre-approved items to be taken inside.
12. Pick up booties.
13. Sit on "dirty" side of bench.
14. Put on one bootie.
15. Swing bootied foot to "clean" side of bench.
16. Put on other bootie on "dirty" side.
17. Swing bootied foot to "clean" side.
18. Enter main gowning room.
19. Set aside badge, pager, and any other items to be taken inside.
20. Put on nylon gowning gloves.
21. Obtain bunny suit and belt from hanger.
22. Put on bunny suit without letting it touch the floor.
23. Put on belt.
24. Tuck bunny suit pant legs into booties.
25. Fasten snaps at top of booties.
26. Attach filter unit to belt.
27. Attach battery pack to belt.
28. Plug filter unit into battery pack.
29. Obtain helmet, safety glasses.





Tiszta tér az EET-n

- Az EET új félvezető laborjában, a Q épületben:



*Monolit IC Laboratórium,
Mikroelektronika
specializáció az EET-n*

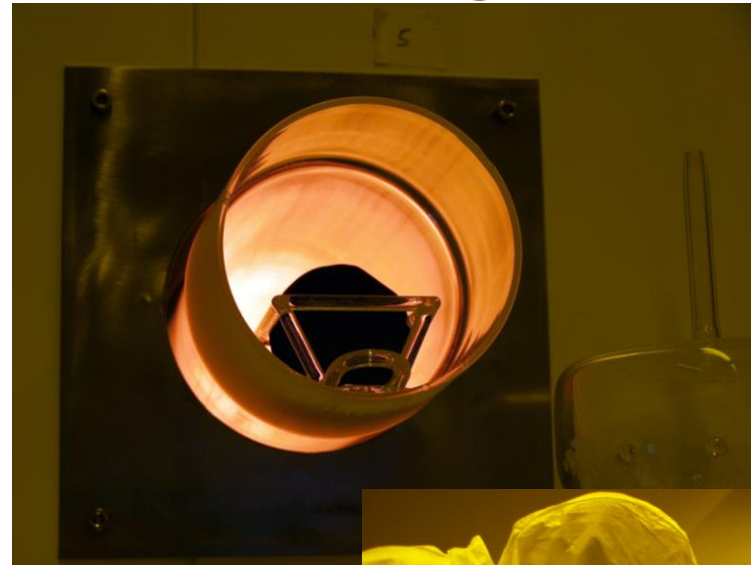




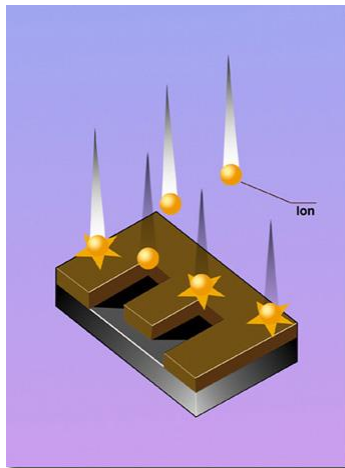
Ionimplanter, diffúziós kályha



IBM



EET, új tisztatér (Q)



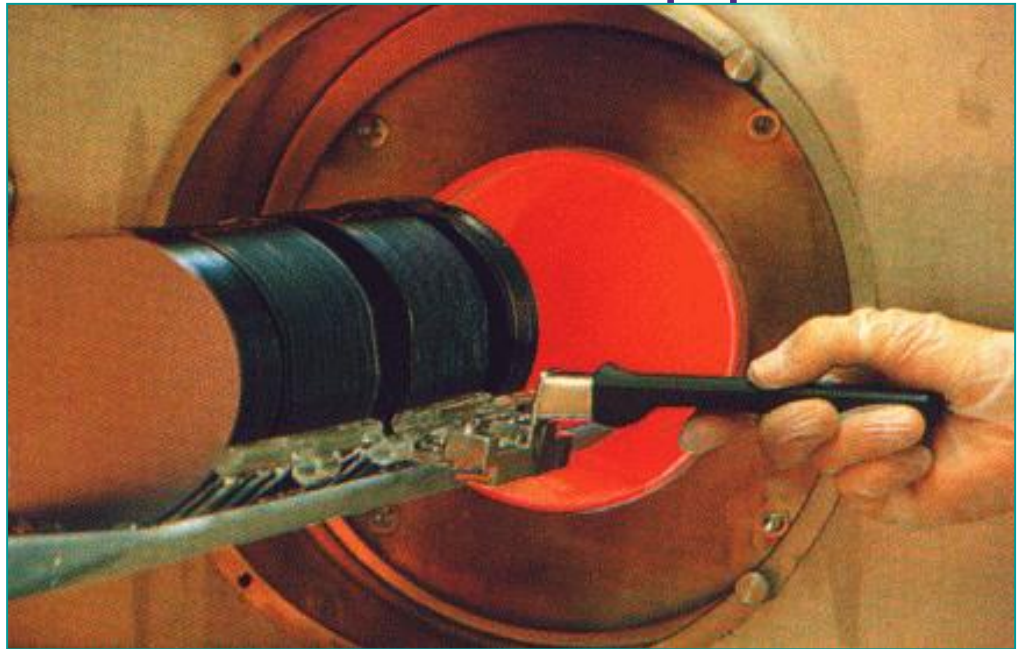
Monolit IC Laboratórium,
Mikroelektronika specializáció az EET-n



Egy parti (batch, mfg. lot)

- ▶ A szeleteket csoportokban kezelik (parti vagy angolul *batch*)
- ▶ 40..100 szelet/parti, 10 000 – 50 000 chip/parti

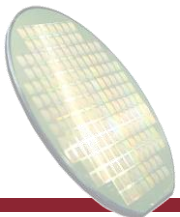
Egy parti behelyezése a diffúziós kályhába





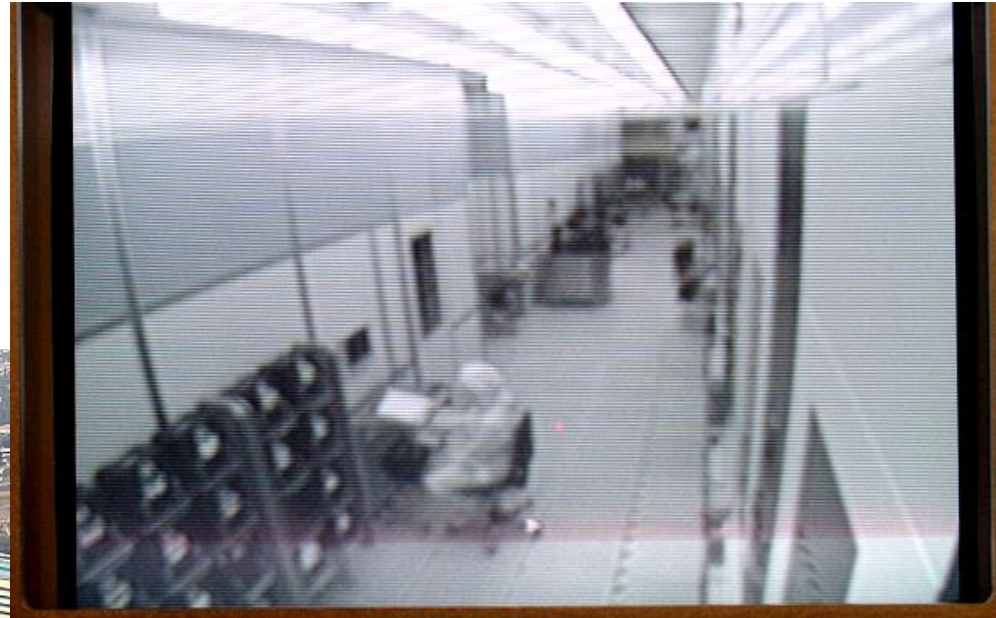
Szeletátmérők

- ▶ Ma kb. 30cm (8"), vagy akár 12"





Egy Intel *fab*





Intel gyártósorok 2006-2008

► 65nm fab-ek, ~2006



45nm: "Fab32", 2007-



An Intel manufacturing technician uses a scanner to start the very first 45nm production lot of 300mm wafers inside of Fab 32, Intel's first high-volume 45nm chip factory in Chandler, Ariz.





Intel gyártósorok 2010-

Investing for the
FUTURE

22nm Fab Upgrades

14nm and Beyond

**D1D/C
Oregon**



**Fab 32/12
Arizona**



**Fab 28
Israel**



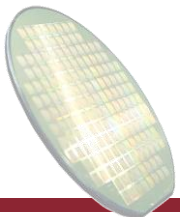
**D1X
Oregon**



**Fab 42
Arizona**



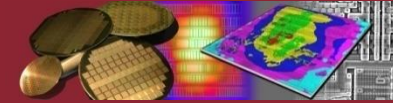
**Fab 24
Ireland**





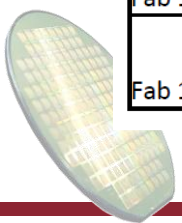
Intel gyártósorok 2010-

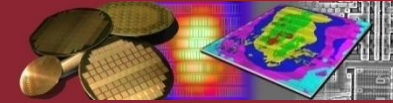




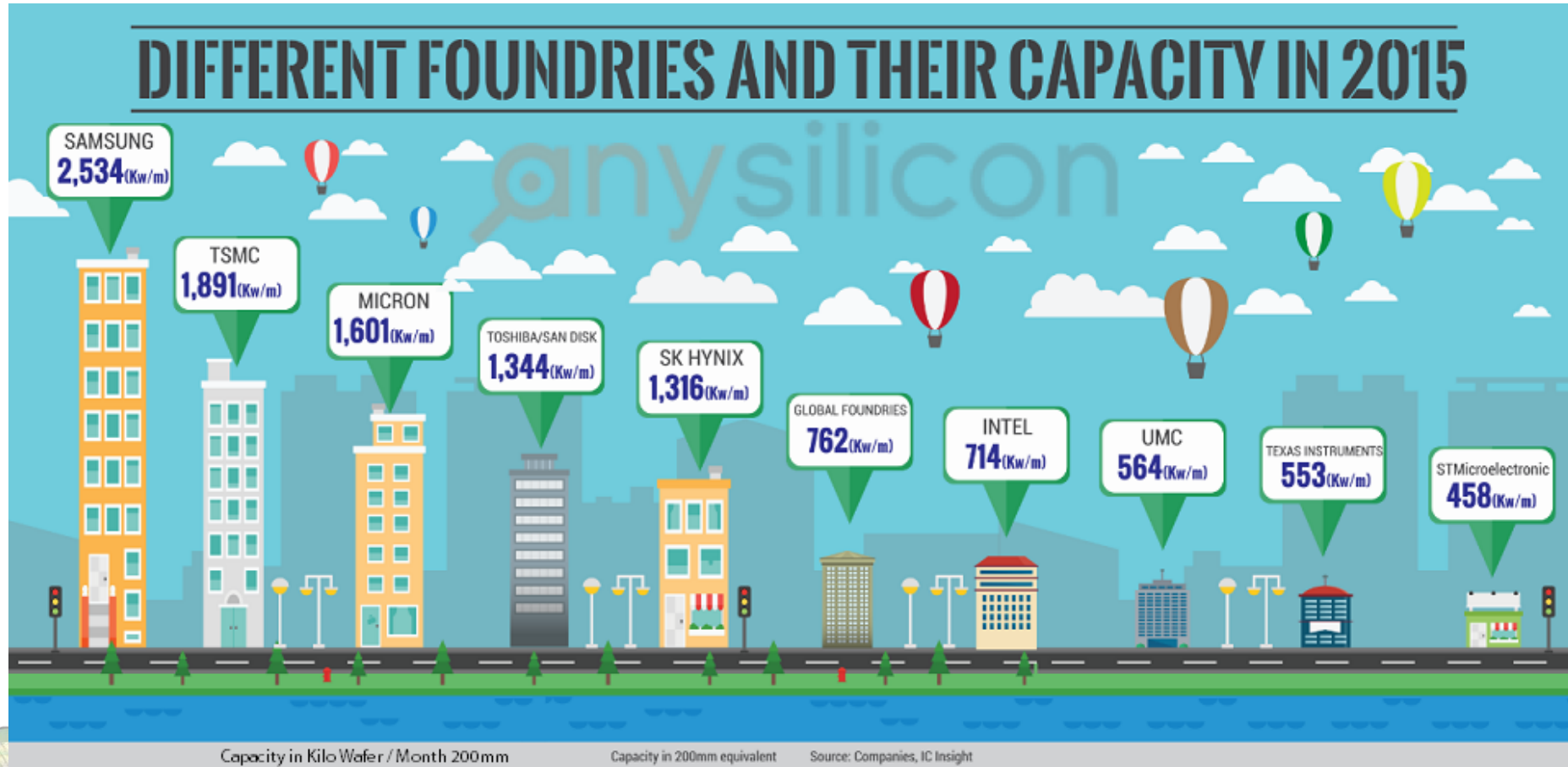
Intel gyártósorok 2010-

Fab	Location	Products	Process Technology	Wafer Size	Year Opened	Comments
D1X	Hillsboro, OR	Microprocessors	14nm and beyond	300mm	2013 projected	Development Fab
D1D	Hillsboro, OR	Microprocessors	22nm*	300mm	2003	Development Fab
D1C	Hillsboro, OR	Microprocessors	32nm/22nm*	300mm	2001	Development Fab
Fab 68	Dalian, China	Chipsets	65nm	300mm	2010	
Fab 42	Chandler, AZ	Microprocessors	14nm and beyond	300mm	2013 projected	
Fab 32	Chandler, AZ	Microprocessors	32nm/22nm*	300mm	2007	
Fab 28	Qiryat Gat, Israel	Microprocessors	45nm/22nm*	300mm	2008	
Fab 24	Leixlip, Ireland	Microprocessors, Chipsets & Comm	90nm/65nm	300mm	2004	
Fab 17	Hudson, MA	Chipsets and other	130nm	200mm	1998	
Fab 12	Chandler, AZ	Microprocessors & Chipsets	65nm/22nm*	300mm	1996	
Fab 11X	Rio Rancho, NM	Microprocessors	45nm/32nm	300mm	2002	





Félvezetőgyárak szerte a világon





Fejlődési trendek

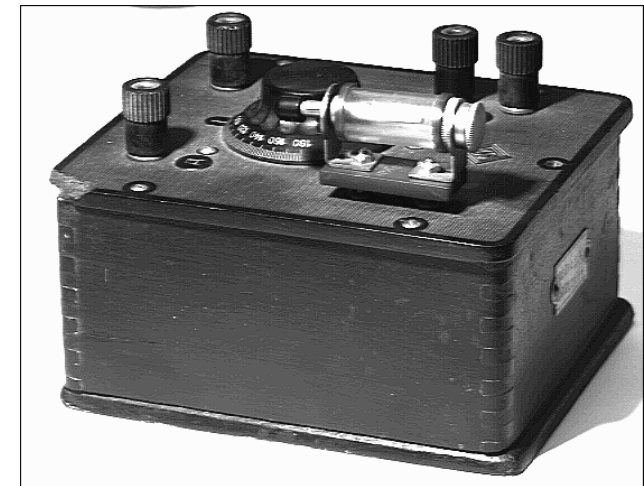
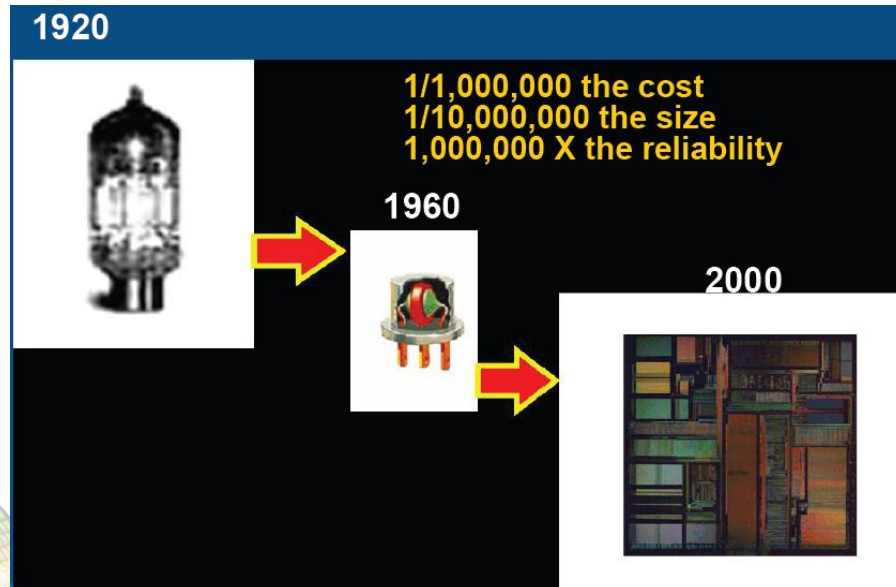
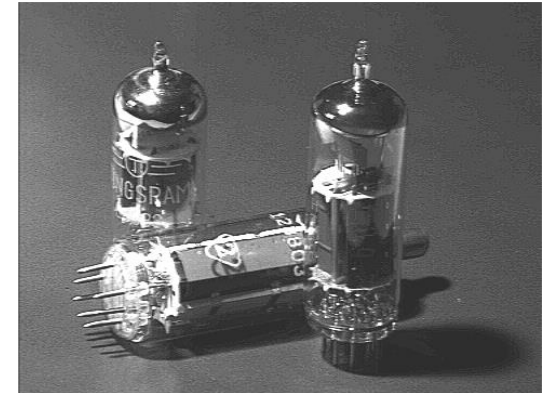
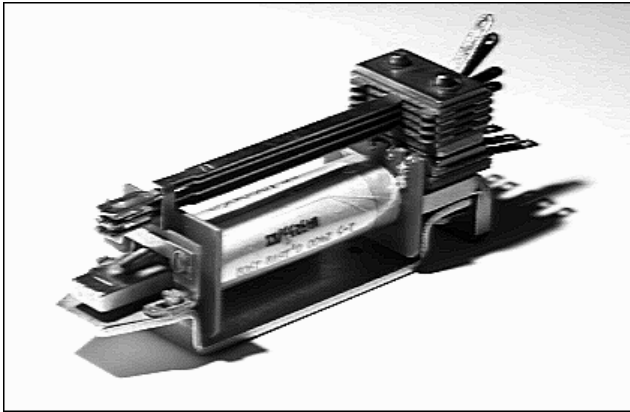
- ▶ A Moore jóslat és annak megnyilvánulásai
- ▶ Friss roadmap adatok



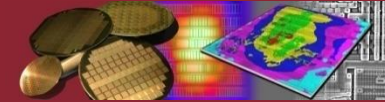


Gyökerek

1837 Morse, telegraph



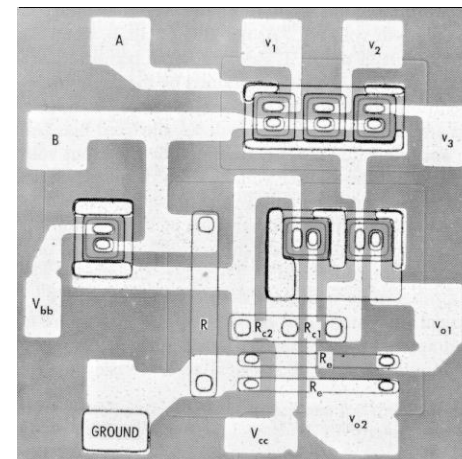
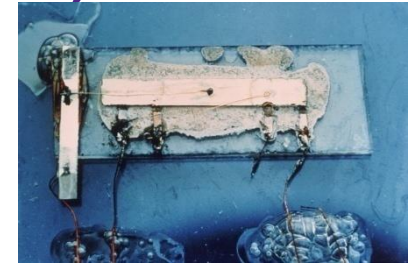
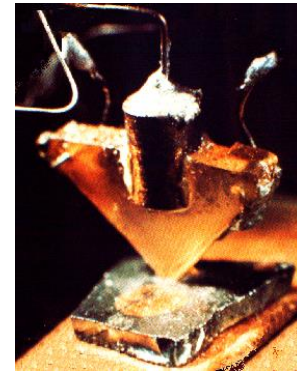
~1920 rádió



Mikroelektronika: az egyik leggyorsabban fejlődő iparág

A tranzisztorok forradalma:

- ▶ **Germánium tranzisztor – Bardeen (Bell Labs), 1947**
- ▶ **Bipoláris tranzisztor – Shockley, 1949**
- ▶ **Az első bipoláris logikai kapu – Harris, 1956**
- ▶ **Az első monolitikus IC – Jack Kilby, 1959**
- ▶ **Az első kereskedelmi IC logikai kapukkal – Fairchild, 1960**
- ▶ **Az első analóg integrált áramkör μ A702 erősítő - Fairchild 1964**
- ▶ **TTL – 1962-től az 1990-es évekig**
- ▶ **ECL – 1974-től az 1980-as évekig**



ECL 3-input Gate
Motorola 1966

Kb. ilyen bonyolultságú IC-t készíthet bárki a *Monolit IC Laboratóriumban* a *Mikroelektronika specializáció* az EET-n



Mikroelektronika: az egyik leggyorsabban fejlődő iparág

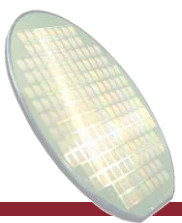
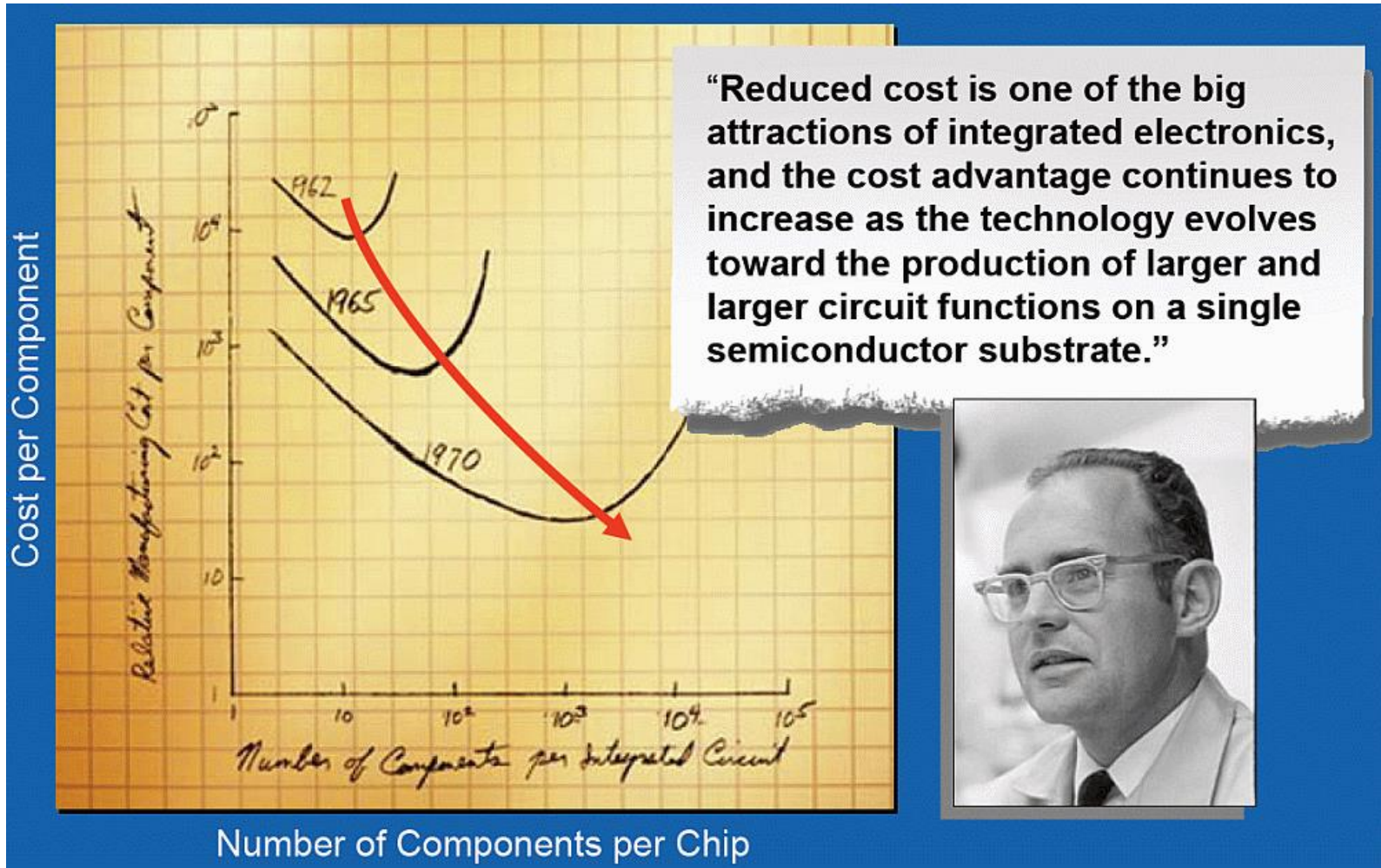
MOSFET-ek fejlődése:

- ▶ MOSFET tranzisztor – Lilienfeld (Kanada, 1925) és Heil (Anglia, 1935)
- ▶ CMOS – 1963, de gyártási gondok miatt egy időre megrekedt
- ▶ pMOS az 1960-as években
- ▶ nMOS az 1970-es években (4004, 8080)
- ▶ CMOS az 1980-as években – preferált MOSFET technológia a kis fogyasztás előnye miatt (Frank Wanlass, Fairchild)
- ▶ Manapság pl.:
 - BiCMOS, GaAs, SiGe – nagyfrekvenciás áramkörökhöz
 - SOI, réz vezetékezés, kis dielektromos állandójú szigetelők (*low-K*)





Gordon Moore, 1965:

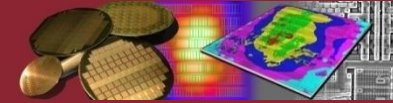




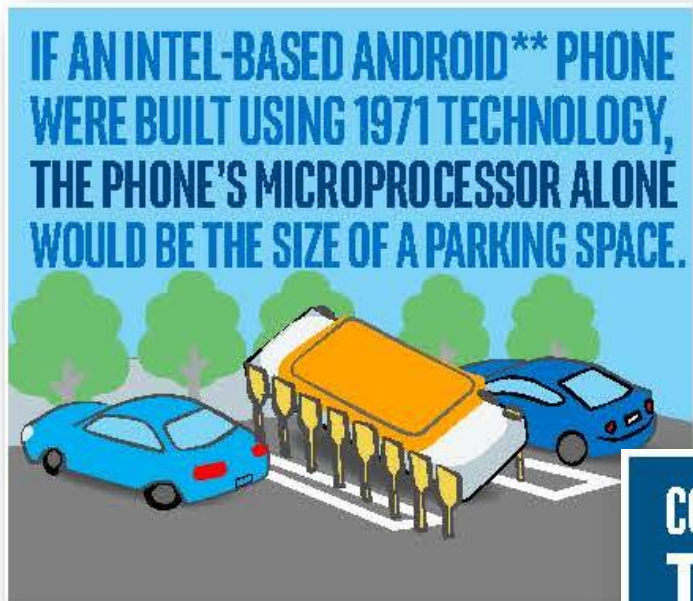
Mikroelektronika: az egyik leggyorsabban fejlődő iparág

Moore törvény

- ▶ 1965-ben Gordon Moore megjósolta, hogy az egy lapkára integrálható tranzisztorok száma 14..18 havonta megduplázódik (exponenciális növekedés)
- ▶ A jóslat továbbra is helytálló (önbeteljesítő jóslat)
- ▶ Az 1 millió tranzisztor/lapka határt az iparág a 80-as években törte át
 - 2300 tranzisztor, 1 MHz-es órajel frekvencia (Intel 4004) - 1971
 - 16 millió tranzisztor (Ultra Sparc III)
 - 42 millió tranzisztor, 2 GHz-es órajel frekvencia clock (Intel P4) - 2001
 - **1 milliárd tranzisztor** (nVidia GTX280) - **2008**
- ▶ *More than Moore*: elemsűrűség erőteljesebb fokozása, pl. 3D kialakítással (pl. RAM-ok, lásd pen drive-ok)

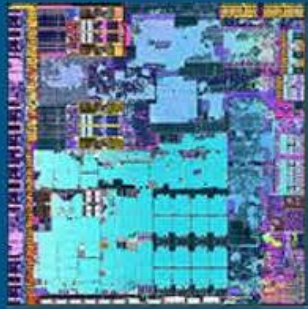
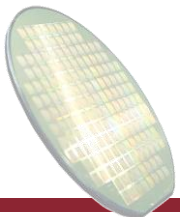


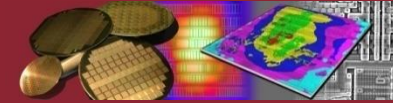
Moore-törvény



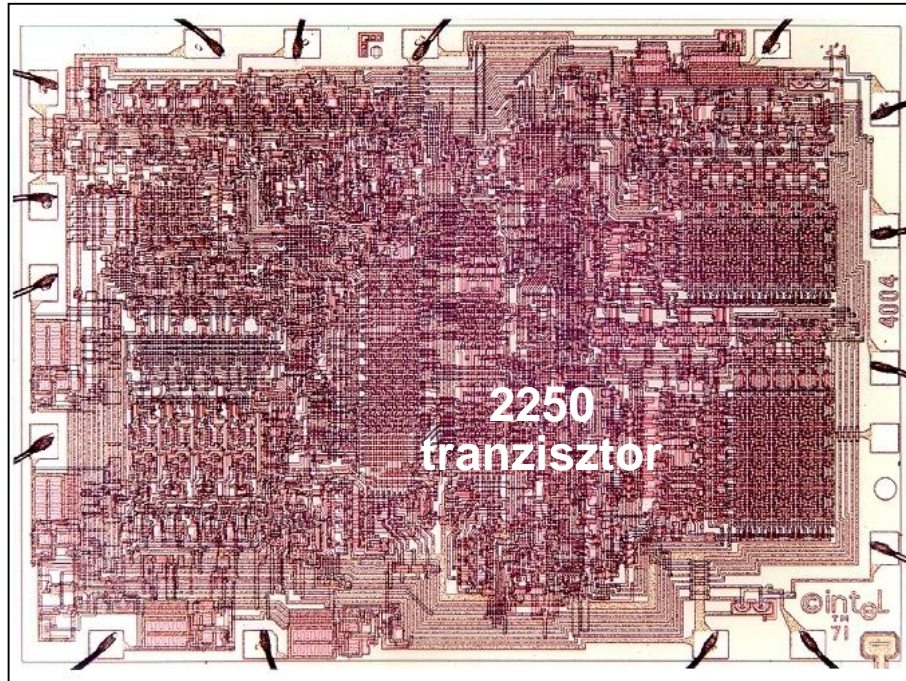
- ▶ 50 év fejlődésének az eredménye egy mai modern CPU és egy modern mobil/okostelefon processzorának példáján

COMPARED TO INTEL'S FIRST MICROPROCESSOR, THE INTEL® 4004, TODAY'S 14NM PROCESSORS DELIVER 3,500 TIMES THE PERFORMANCE, AT 90,000 TIMES THE EFFICIENCY AND AT 1/ 60,000TH THE COST.



Mikroelektronika: az egyik leggyorsabban fejlődő iparág

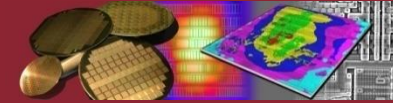


1971 - Intel 4040

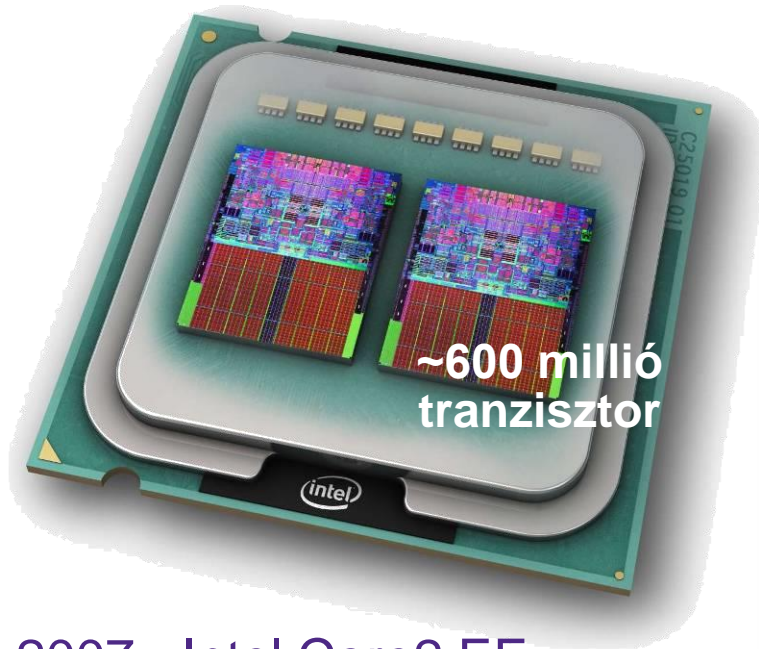


2002 - Intel Pentium IV



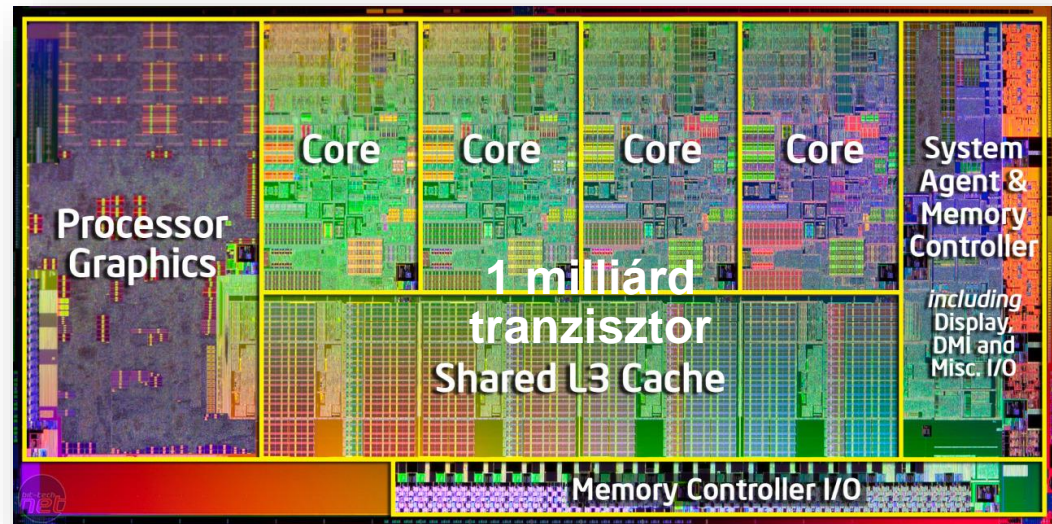


Mikroelektronika: az egyik leggyorsabban fejlődő iparág



~600 millió
tranzisztor

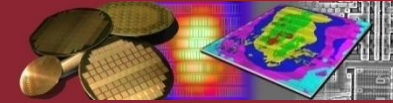
2007 - Intel Core2 EE



1 milliárd
tranzisztor

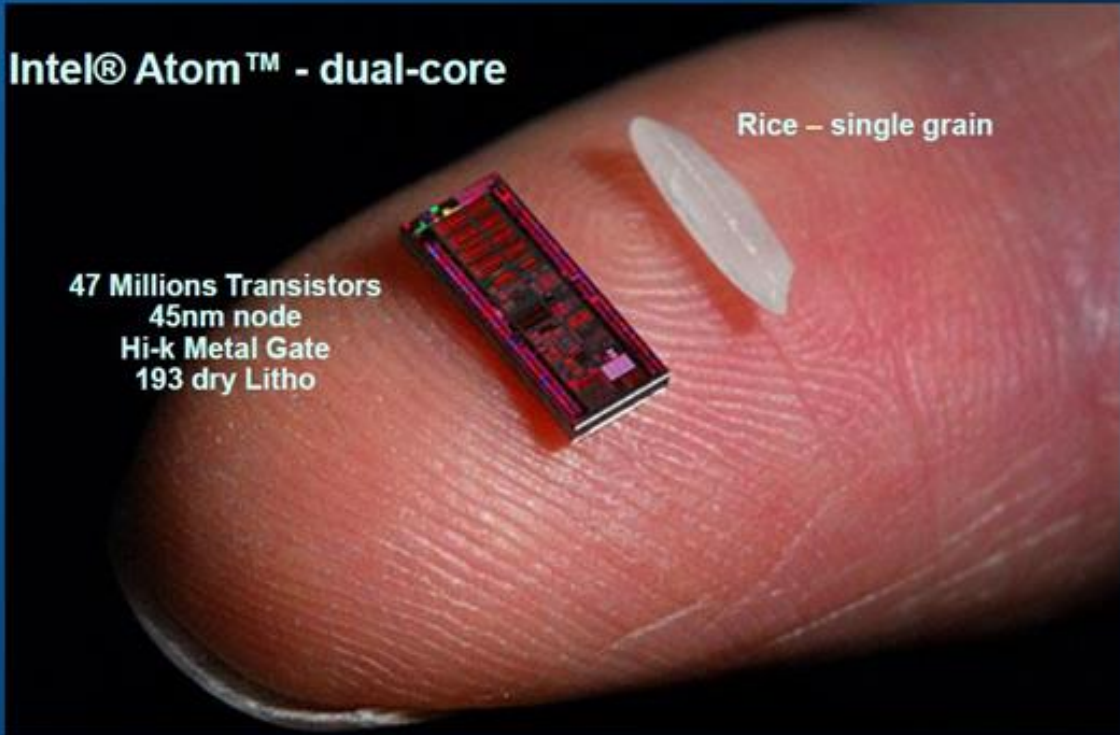
2012 - Core i7





Mikroelektronika: az egyik leggyorsabban fejlődő iparág

Moore's Law: circa 2008

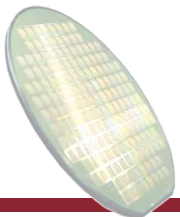


Intel® Atom™ - dual-core

47 Millions Transistors
45nm node
Hi-k Metal Gate
193 dry Litho

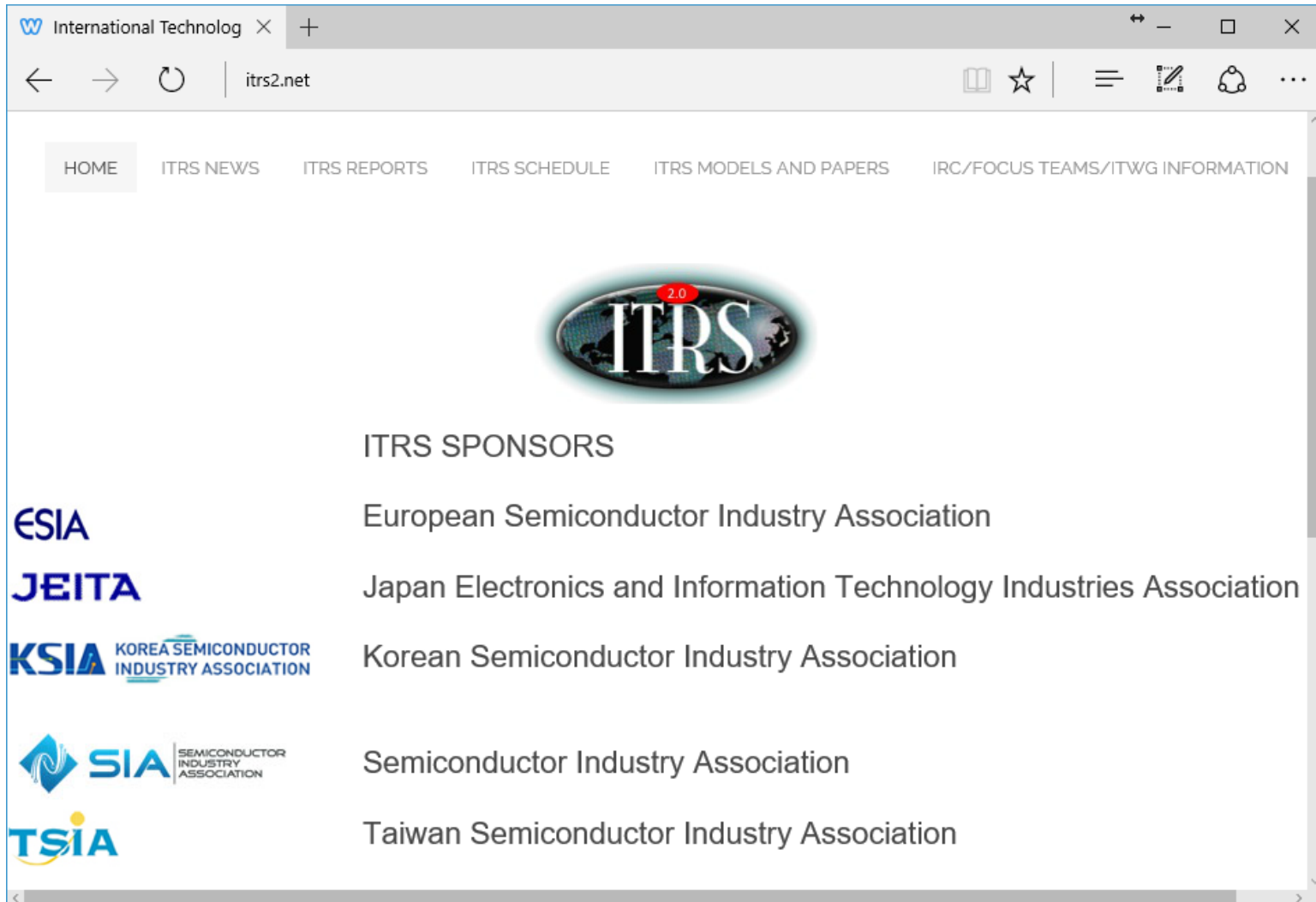
Rice – single grain

In 2014, on 14nm technology, the above chip would be 1/8 the size
- Much smaller than the grain of rice!





Rendszeres előrejelzés: *roadmap*



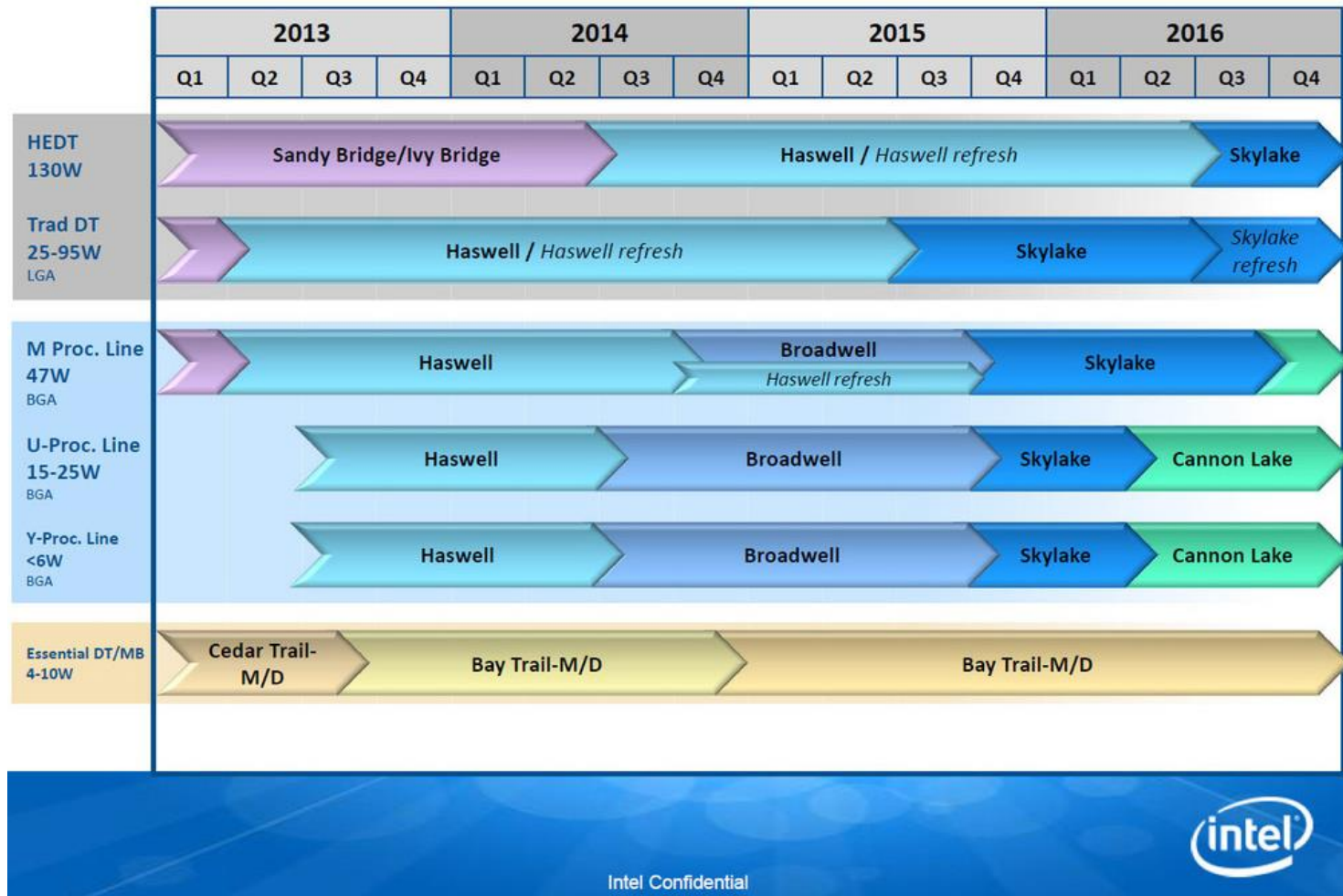
The screenshot shows a web browser window with the URL `itrs2.net`. The page features a navigation menu with links for HOME, ITRS NEWS, ITRS REPORTS, ITRS SCHEDULE, ITRS MODELS AND PAPERS, and IRC/FOCUS TEAMS/ITWG INFORMATION. The main content area displays the ITRS 2.0 logo, which consists of the letters 'ITRS' in a stylized font over a globe, with a red '2.0' badge above it. Below the logo, the text 'ITRS SPONSORS' is followed by a list of five semiconductor industry associations, each with its logo and name:

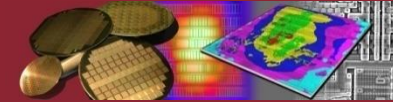
- ESIA** European Semiconductor Industry Association
- JEITA** Japan Electronics and Information Technology Industries Association
- KSIA** KOREA SEMICONDUCTOR INDUSTRY ASSOCIATION Korean Semiconductor Industry Association
- SIA** SEMICONDUCTOR INDUSTRY ASSOCIATION Semiconductor Industry Association
- TSIA** Taiwan Semiconductor Industry Association



Legfrissebb tényleges állapot

► Céges honlapokról, pl. Intel:





Legfrissebb tényleges állapot

2016-17 CCG Mobile Product Roadmap

Schedule represents front-end of RTS

BDW = Broadwell BSW = Braswell
SKL = Skylake APL = Apollo Lake
KBL = Kaby Lake GLK = Gemini Lake
CNL = Cannon Lake CHT = Cherry Trail
CFL = Coffee Lake

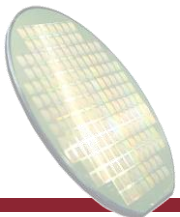


	Q2'16	Q3'16	Q4'16	Q1'17	Q2'17	Q3'17	Q4'17	Q1'18	Q2'18		
H Processor	Skylake 45W, 2-chip BGA								QC GT4e	6C GT2	
	Skylake 45W, 2-chip BGA			QC GT2	Kaby Lake 45W, 2-chip BGA				QC GT2	CFL 45W	
U Processor	Skylake 15W/28W, SoC BGA				GT3e	Kaby Lake 15W/28W, SoC BGA				GT3e CFL 15W/28W	QC GT3e
	Skylake 15W SoC BGA		GT2	Kaby Lake 15W, SoC BGA			GT2	CNL 15W, SoC BGA		GT2	
Y Processor	Skylake 4.5W, SoC BGA		GT2	Kaby Lake 4.5W, SoC BGA			GT2	CNL 5.2W, SoC BGA		GT2	
	BSW 4W/6W, SoC BGA		QC	Apollo Lake 4W/6W, SoC BGA			QC	GLK 4W/6W, Soc BGA		QC	



Legfrissebb tényleges állapot

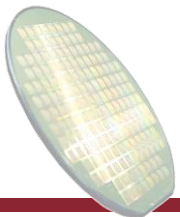
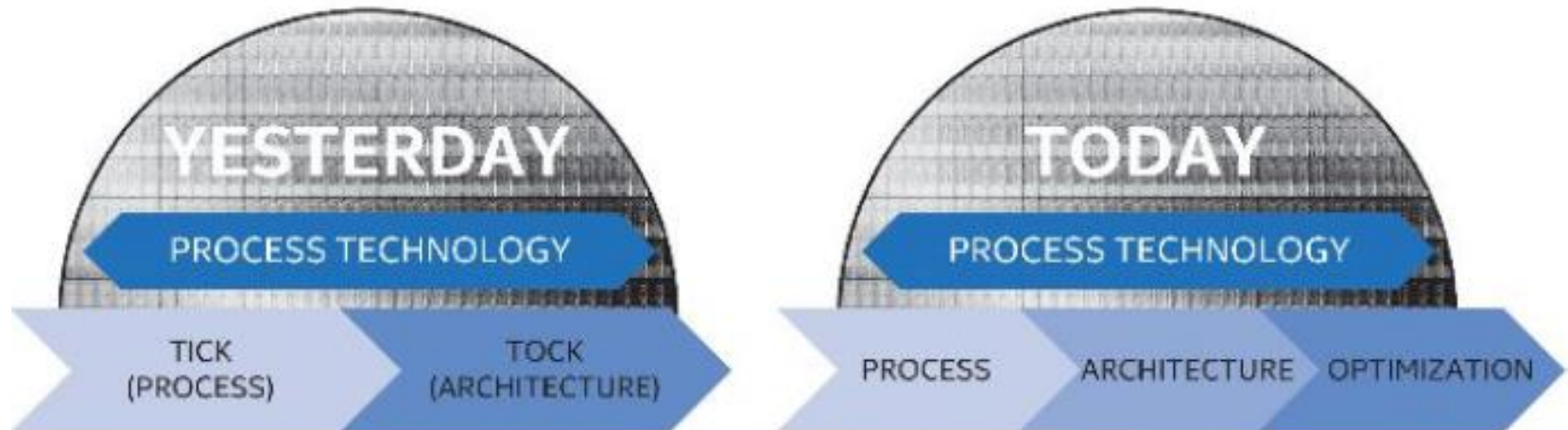
► Intel Tick-Tock stratégia ... a múlt...

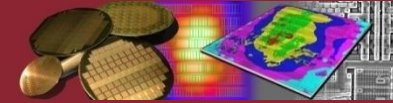




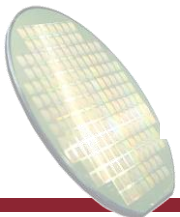
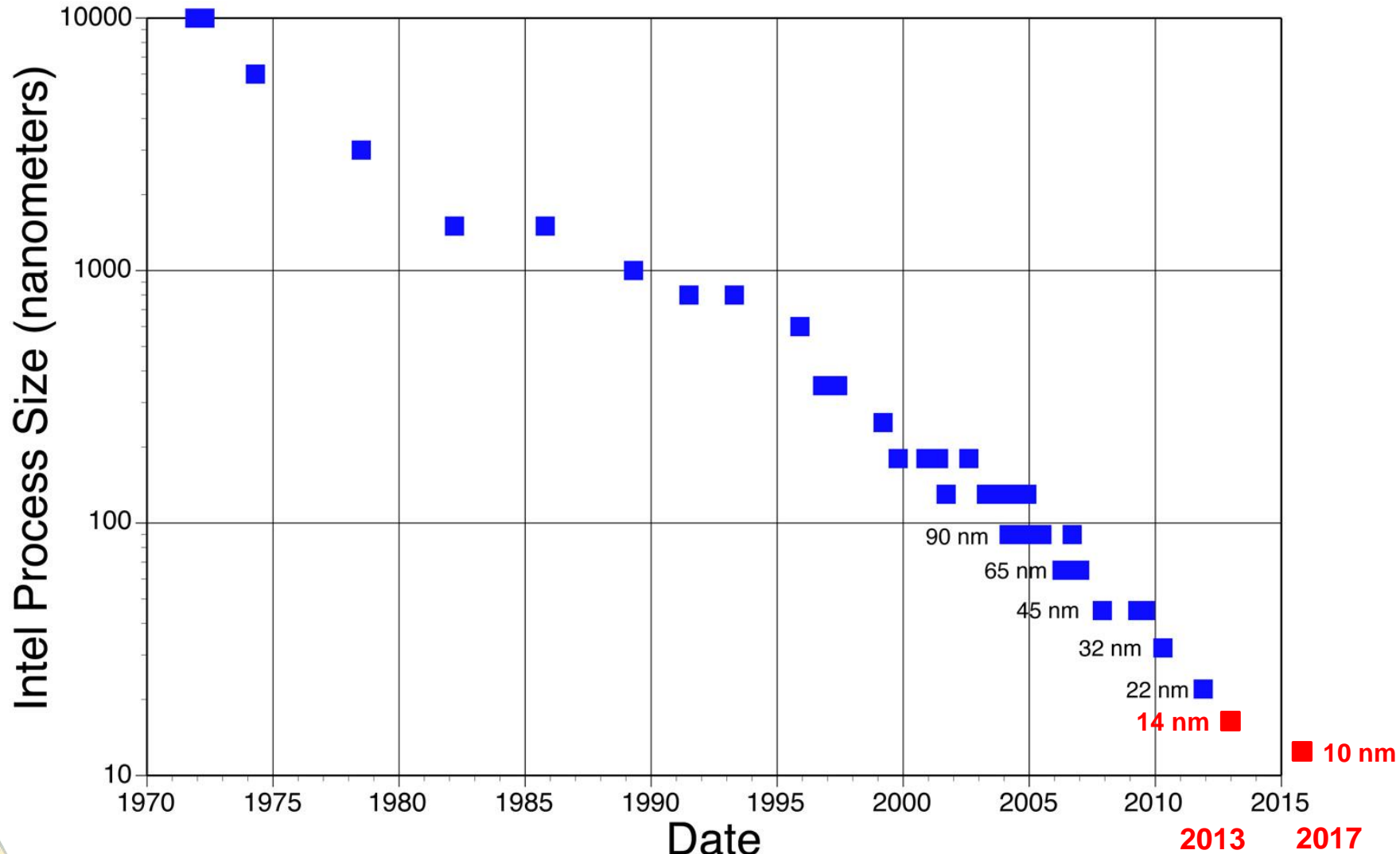
Legfrissebb tényleges állapot

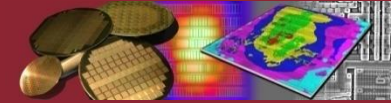
- ▶ ... a jelen ... Intel új fejlesztési stratégiája



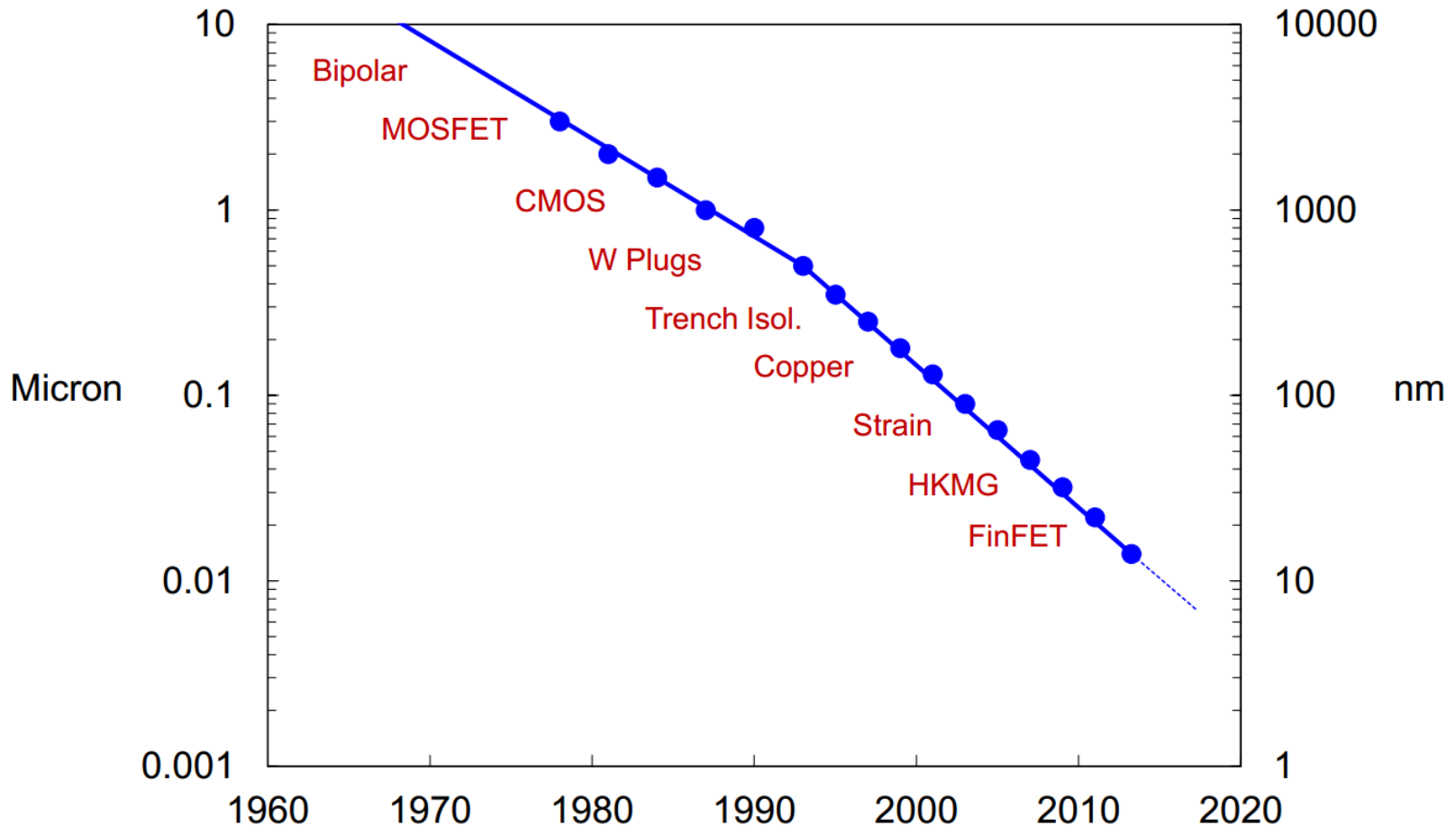


Minimal feature size – trend (Intel)





Minimal feature size – trend (Intel)



Process/device innovation has always been an indispensable part of scaling



Processzorok 2015-ös toplistája

Intel HEDT Flagship Processors (Gen vs Gen Specifications Comparison):

Intel HEDT Family	Gulftown	Sandy Bridge-E	Ivy Bridge-E	Haswell-E	Broadwell-E	Skylake-E
Process Node	32nm	32nm	22nm	22nm	14nm	14nm
Flagship SKU	Core i7-980X	Core i7-3960X	Core i7-4960X	Core i7-5960X	Core i7-6950X	Core i7-7970X (TBA)
Max Cores/Threads	6/12	6/12	6/12	8/16	10/20	TBD
Clock Speeds	3.33/3.60 GHz	3.30/3.90 GHz	3.60/4.00 GHz	3.00/3.50 GHz	3.00 GHz / TBD	TBD
Max Cache	12 MB L3	15 MB L3	15 MB L3	20 MB L3	25 MB L3	TBD
Max PCI-Express Lanes	32 Gen2	40 Gen2	40 Gen3	40 Gen3	TBD	TBD
Chipset Compatibility	X58 Chipset	X79 Chipset	X79 Chipset	X99 Chipset	X99 Chipset	New HEDT Chipset (TBA)
Socket Compatibility	LGA 1366	LGA 2011	LGA 2011	LGA 2011-3	LGA 2011-3	New HEDT Socket (TBA)
Memory Compatibility	DDR3-1066	DDR3-1600	DDR3-1866	DDR4-2133	DDR4-2400	DDR4-2400+
Max TDP	130W	130W	130W	140W	TDP	TBD
Launch	Q1 2010	Q4 2011	Q3 2013	Q3 2014	1H 2016	2017
Launch Price	\$999 US	\$999 US	\$999 US	\$999 US	~\$999 US	TBD

Főbb jellemzők összefoglaló táblázata:

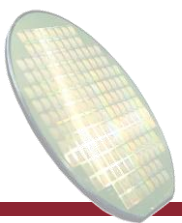
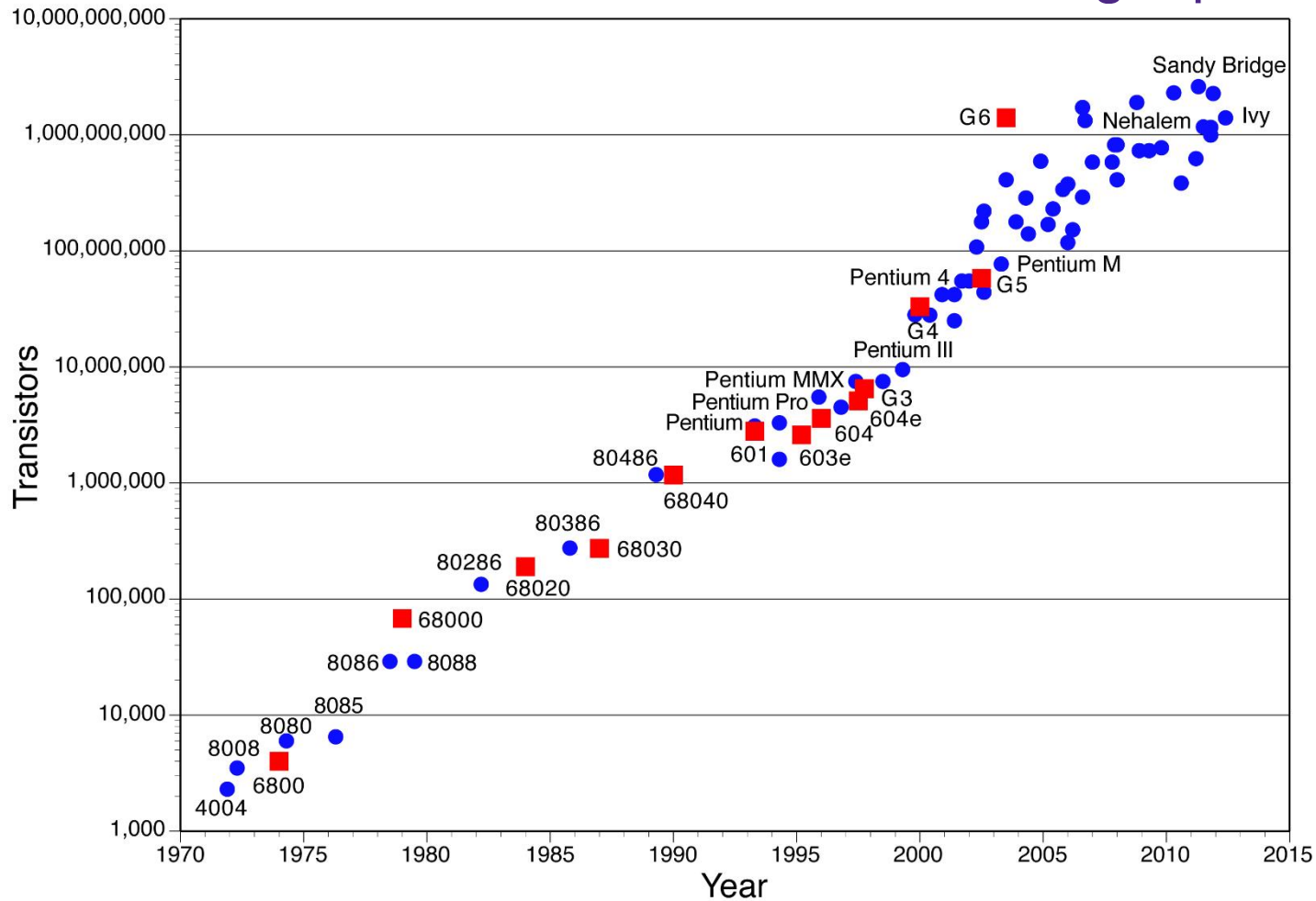
- órajel frekvencia,
- CACHE mérete, szervezése
- fogyasztás adatok
- tokozási kérdések
- operatív tár sávszél

- lapka mérete,
- tranzisztorok száma
- fogyasztás



A Moore törvény processzorokra

► A tranzisztorok száma kb. másfél évente megduplázódik:

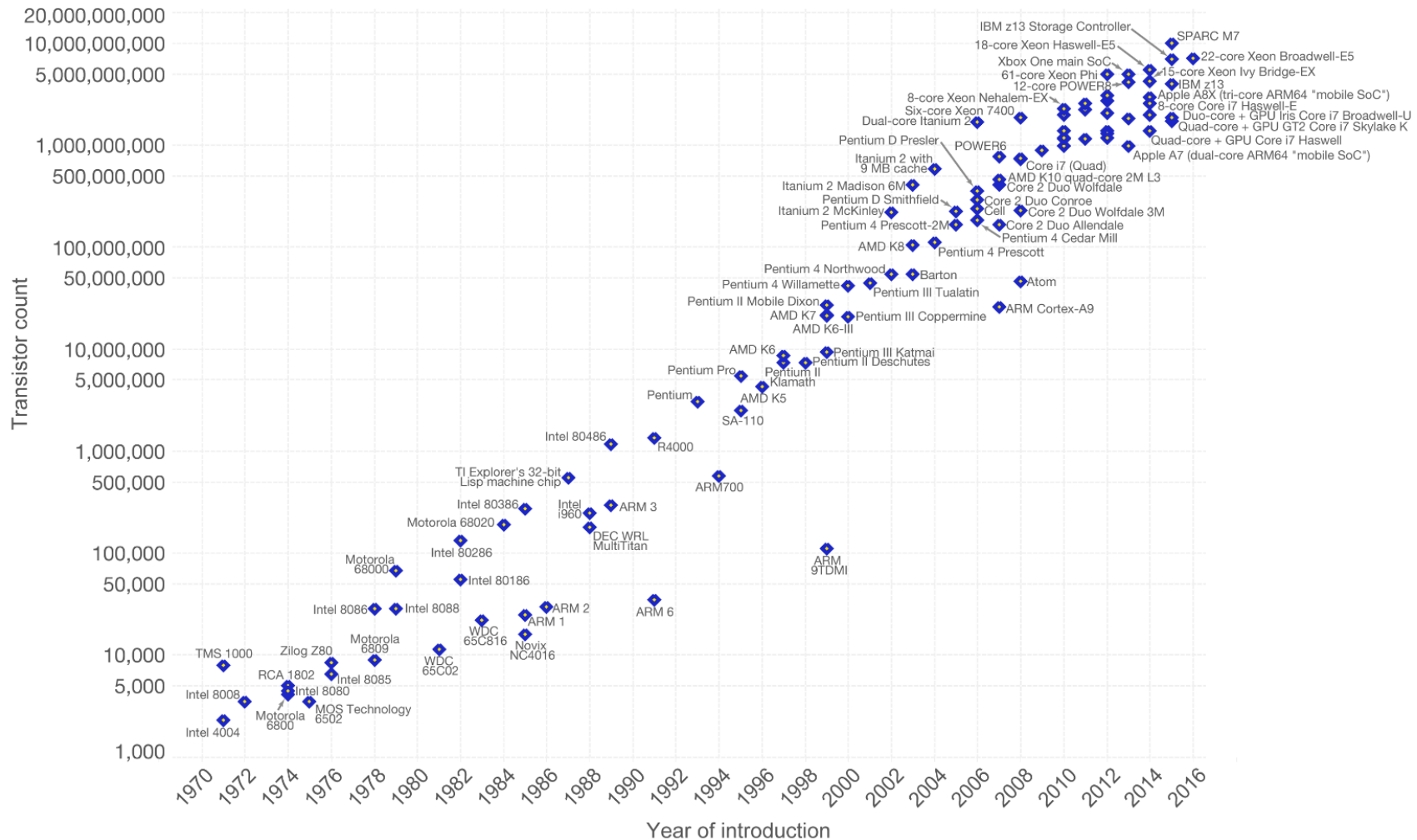




Moore's Law – The number of transistors on integrated circuit chips (1971-2016)



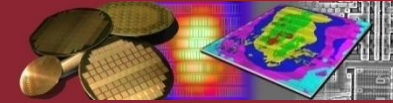
Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important as other aspects of technological progress – such as processing speed or the price of electronic products – are strongly linked to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



Data source: Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count)

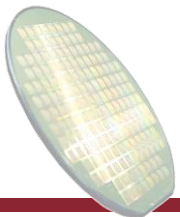
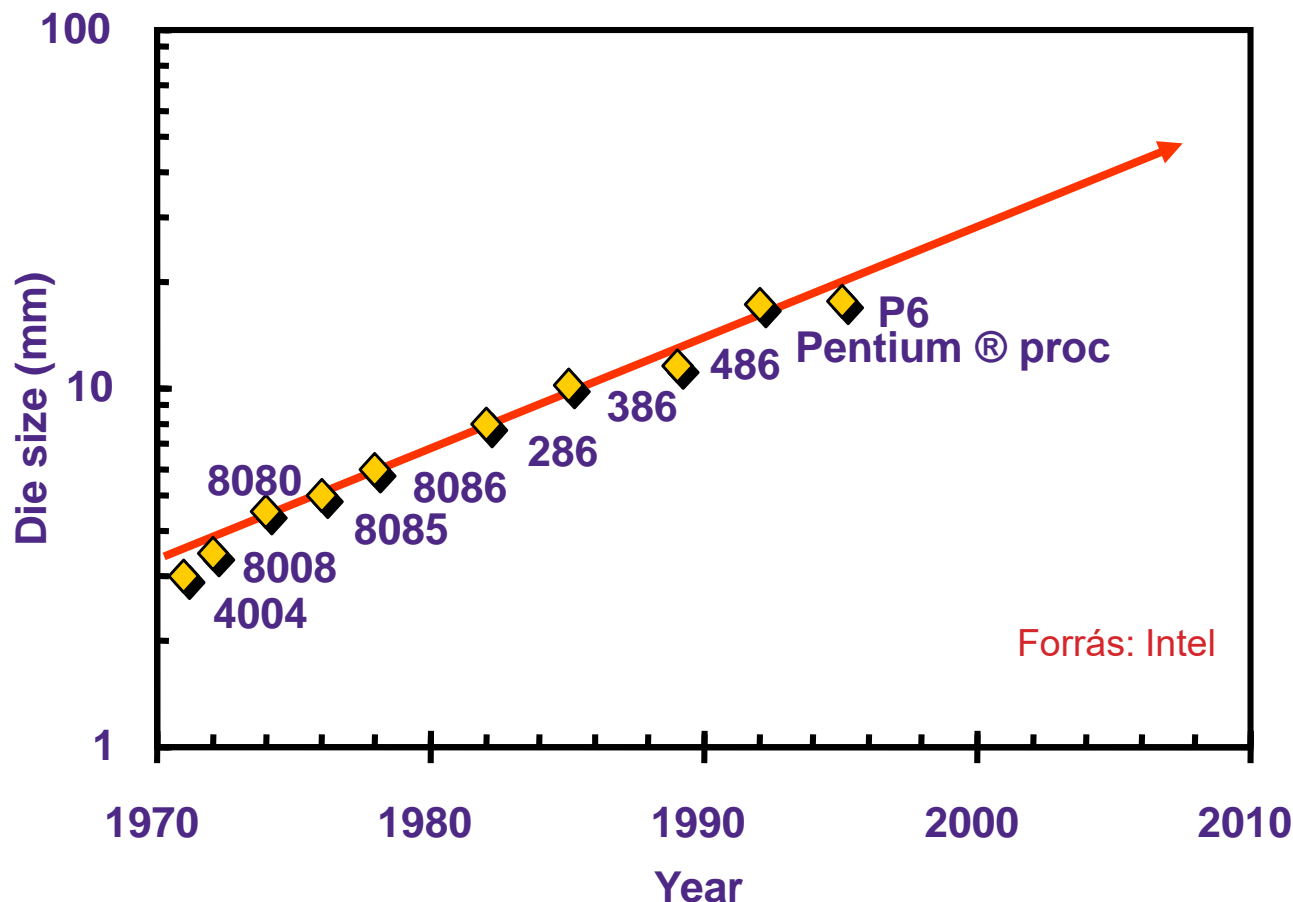
The data visualization is available at [OurWorldinData.org](https://www.ourworldindata.org). There you find more visualizations and research on this topic.

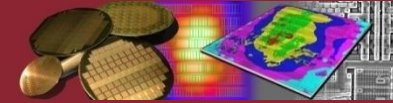
Licensed under [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) by the author Max Roser.



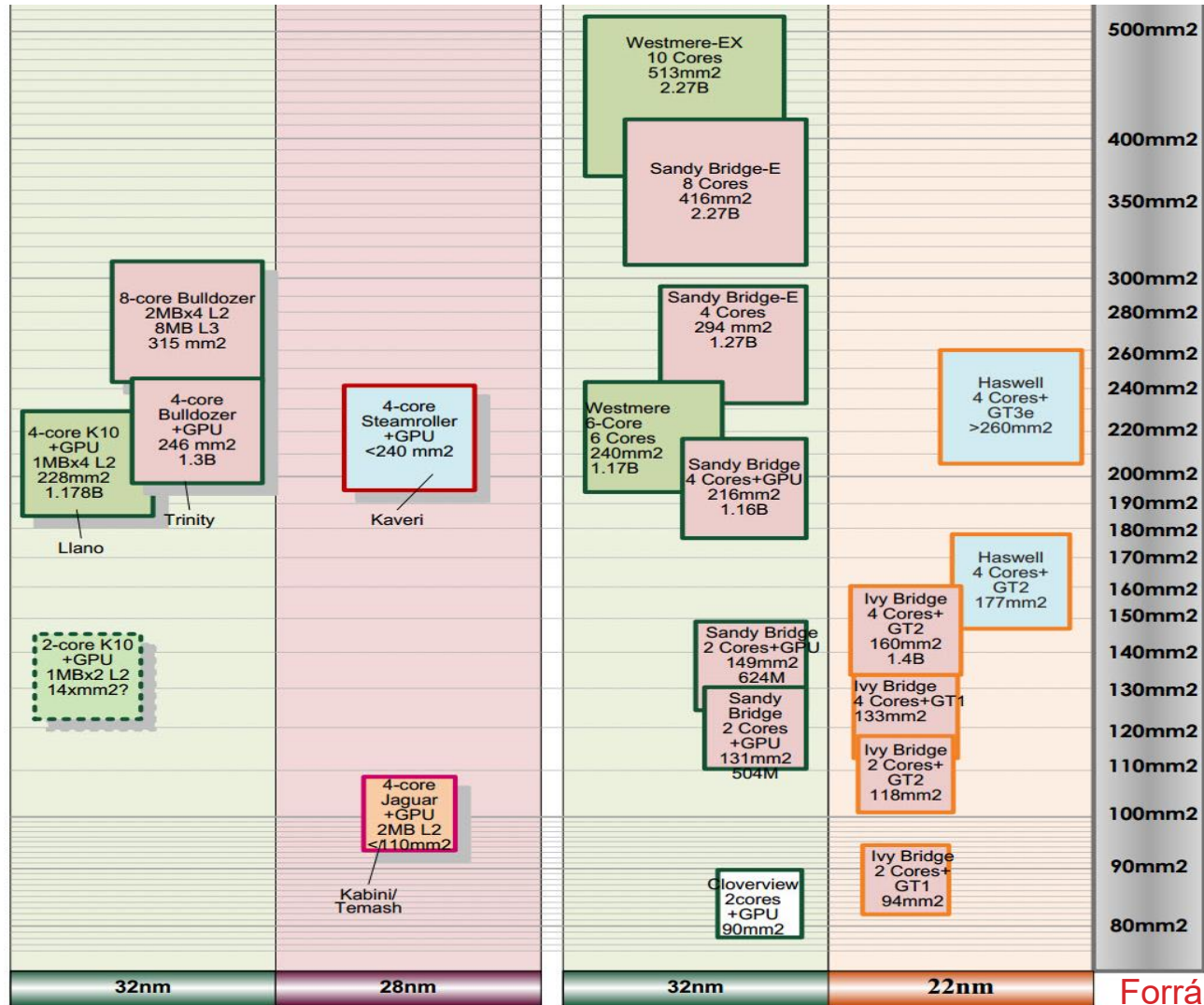
Lapka méret (*die size*) növekedése

- ▶ 10 év alatt kb. 2-szeres növekedés, 7%-os éves növekedés (megfelel a Moore tv-nek) SINGLE CORE!

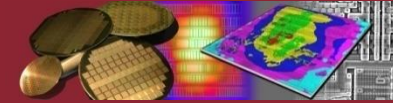




Lapka méret (*die size*) növekedése

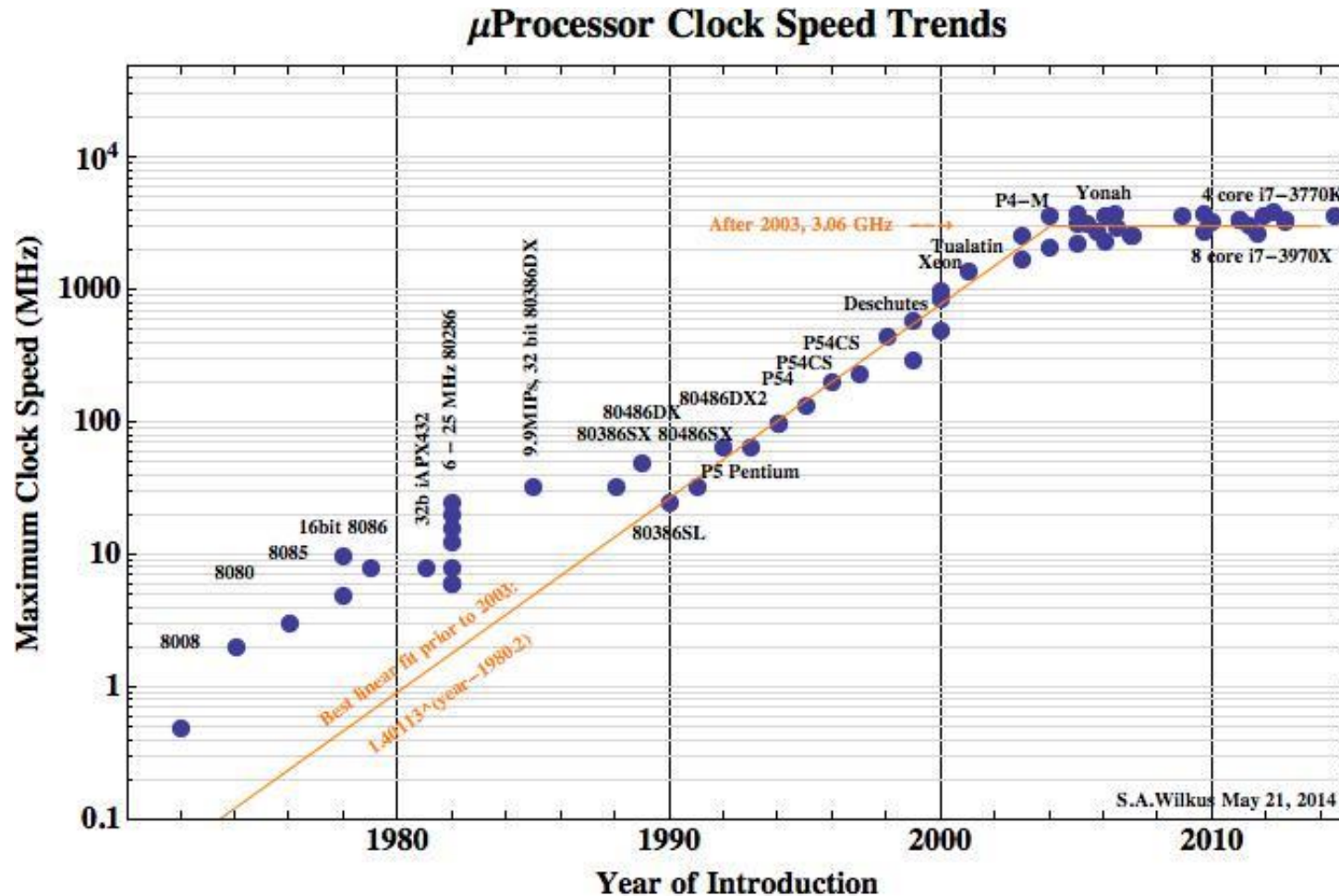


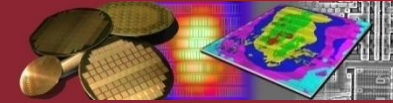
Forrás: Intel



Órajel frekvencia növekedése

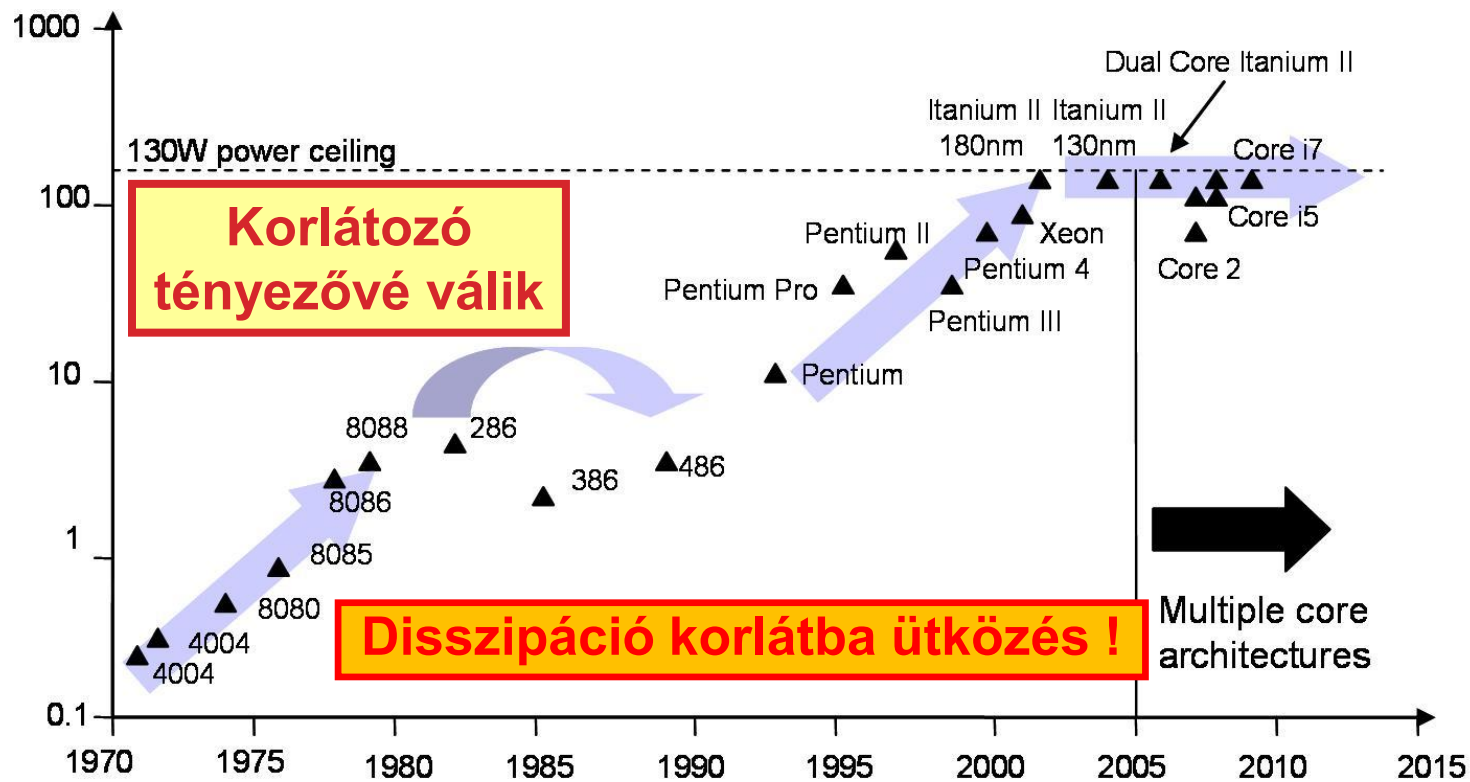
- ▶ 2 év alatt kb. 2-szeres növekedés kb. 2010-ig



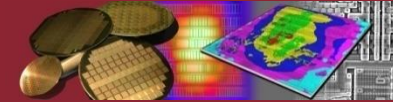


Növekvő fogyasztás (disszipáció)

- ▶ Folyamatos növekedés volt megfigyelhető a vezető processzorok esetében

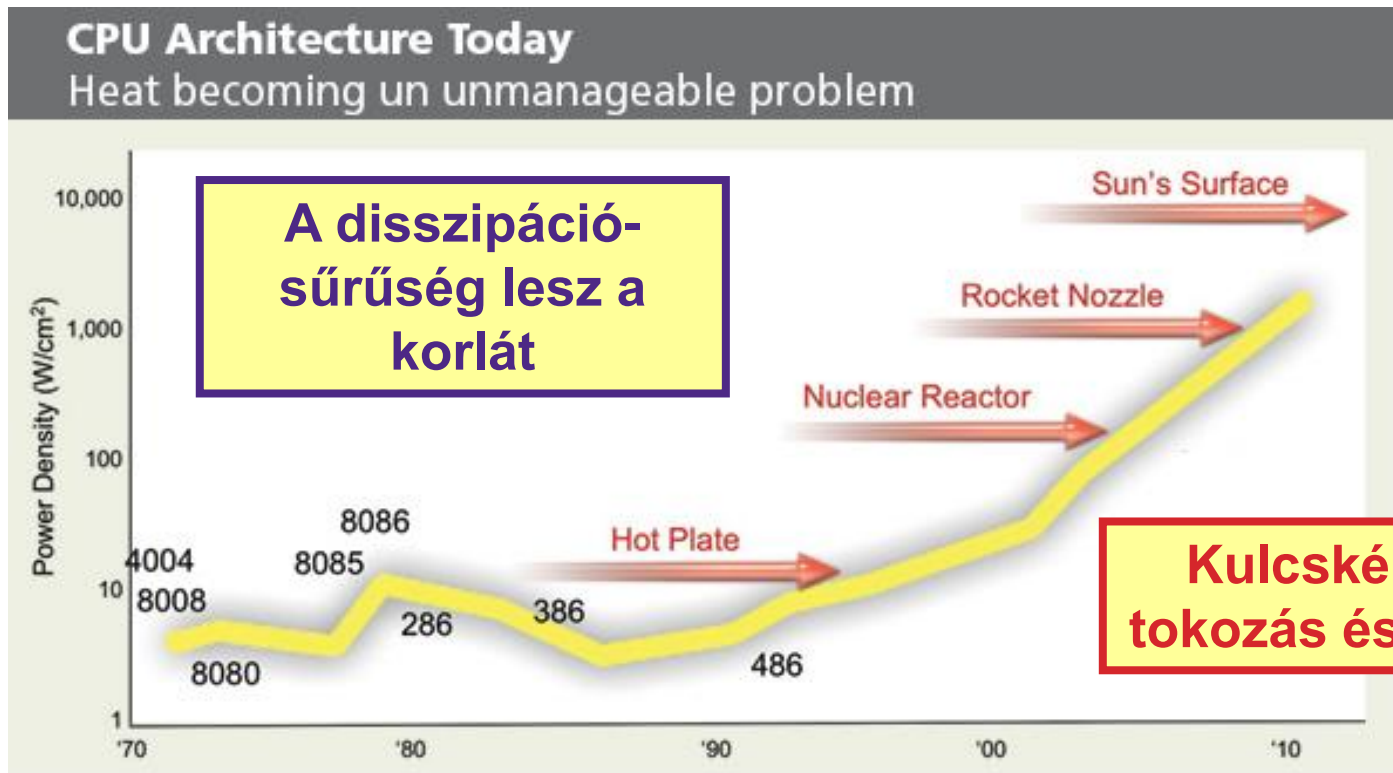


Adapted from ARC 2010 presentation by Dr. Ram Krishnamurthy, Intel Research

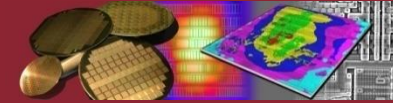


Növekvő disszipációsűrűség

- Fogyasztás erőteljesebben nő, mint a lapkaméret, ezért a teljesítménysűrűség meredeken nő:

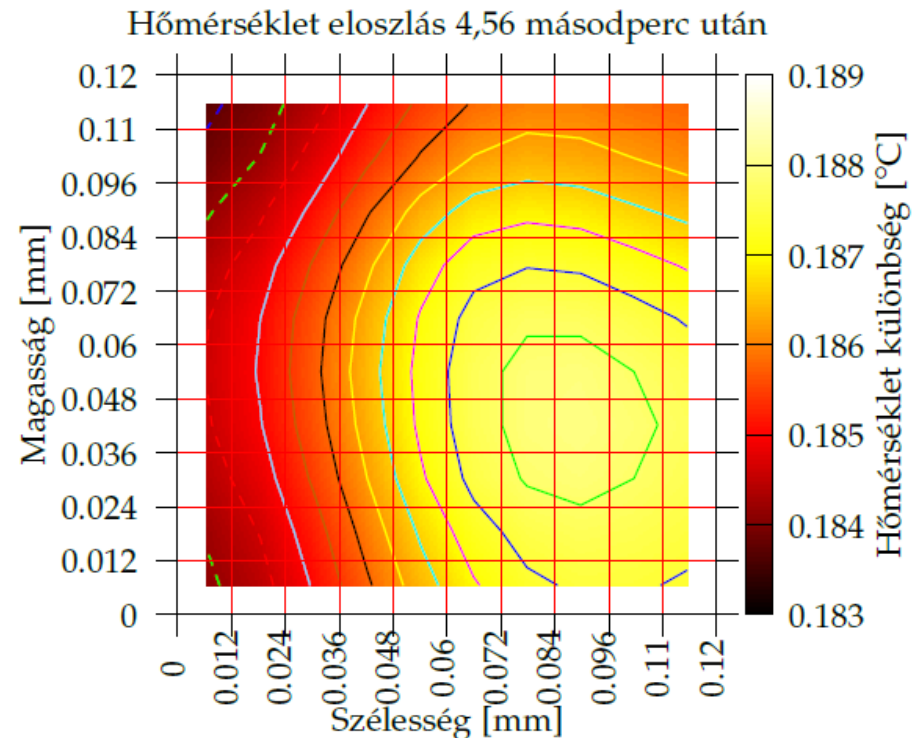
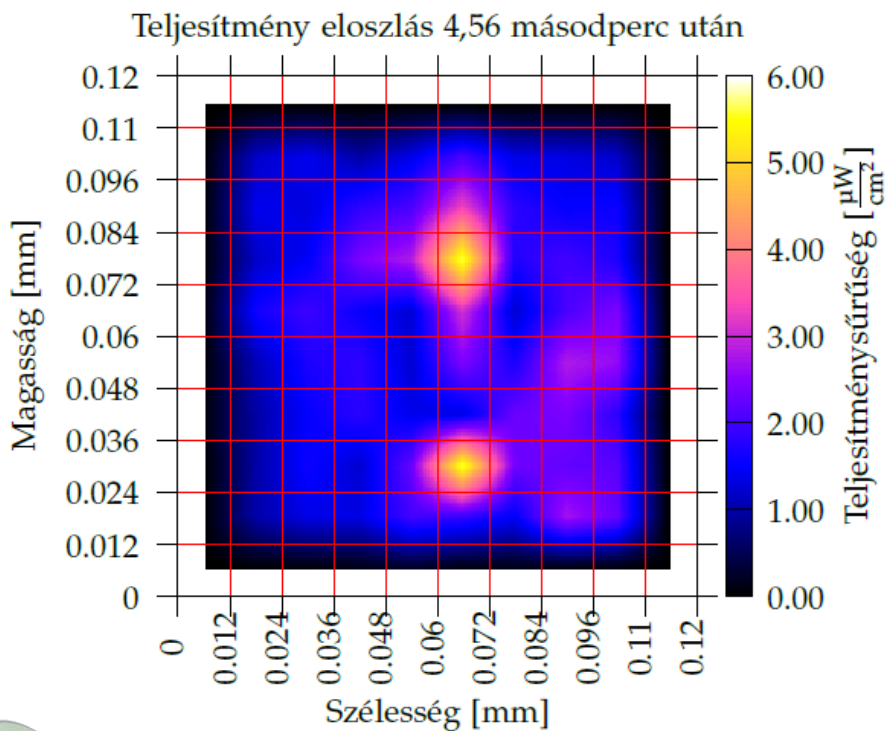


In CPU architecture today, heat is becoming an unmanageable problem.
(Courtesy of Pat Gelsinger, Intel Developer Forum, Spring 2004)

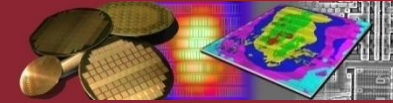


Növekvő disszipációsűrűség

- ▶ IC-k felületén nem egyenletes disszipáció, nem egyenletes hőmérséklet eloszlás!

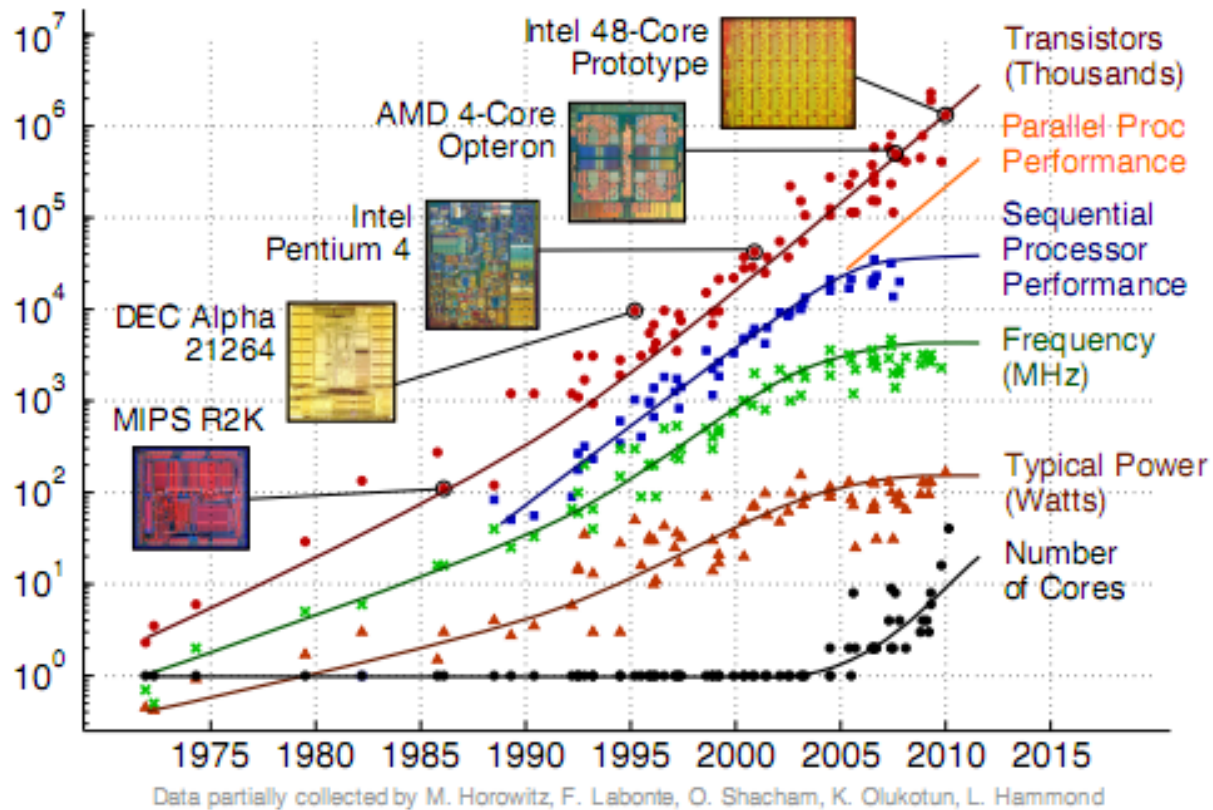


Logitermikus szimuláció eredménye – EET tanszéki K+F munka

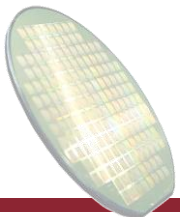


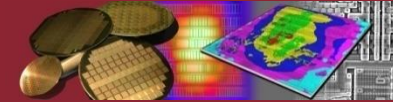
Probléma: alkalmas hűtés kell

- Az órajel frekvencia növekedése megtorpant



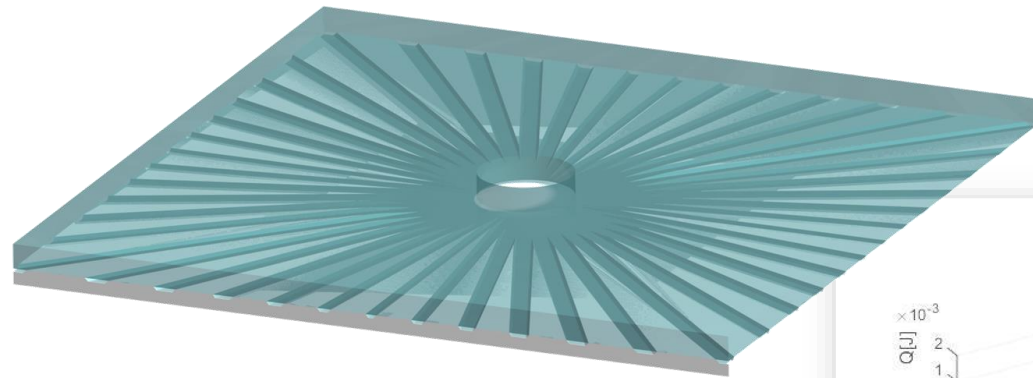
Prepared by C. Batten - School of Electrical and Computer Engineering - Cornell



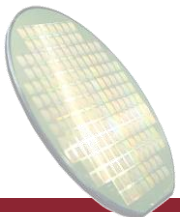
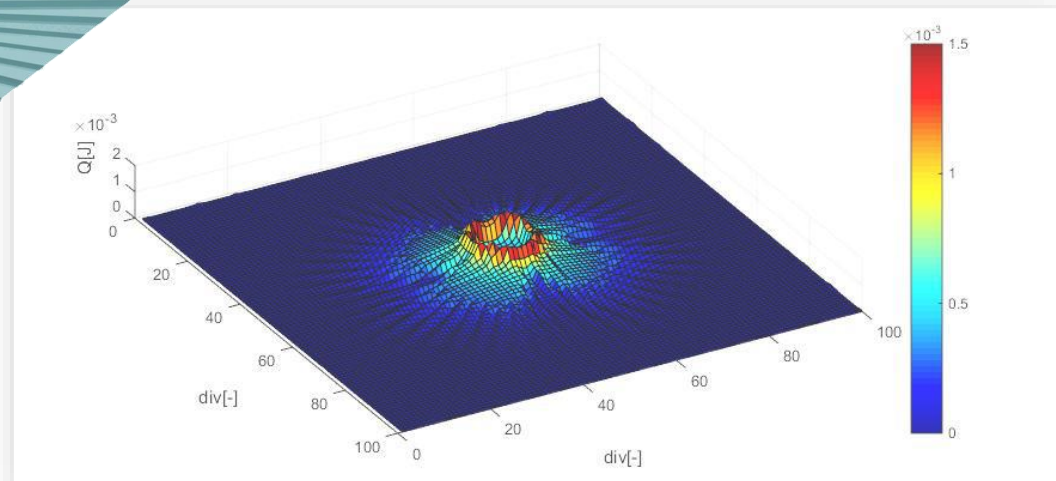


Probléma: alkalmas hűtés kell

- ▶ Egy megoldási lehetőség az integrált mikrocsatornás hűtőeszközök a chip hátoldalában vagy a köztes hordozóban kialakítva
 - Aktuális, zajló kutatási téma az EET-n



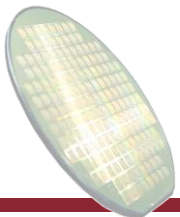
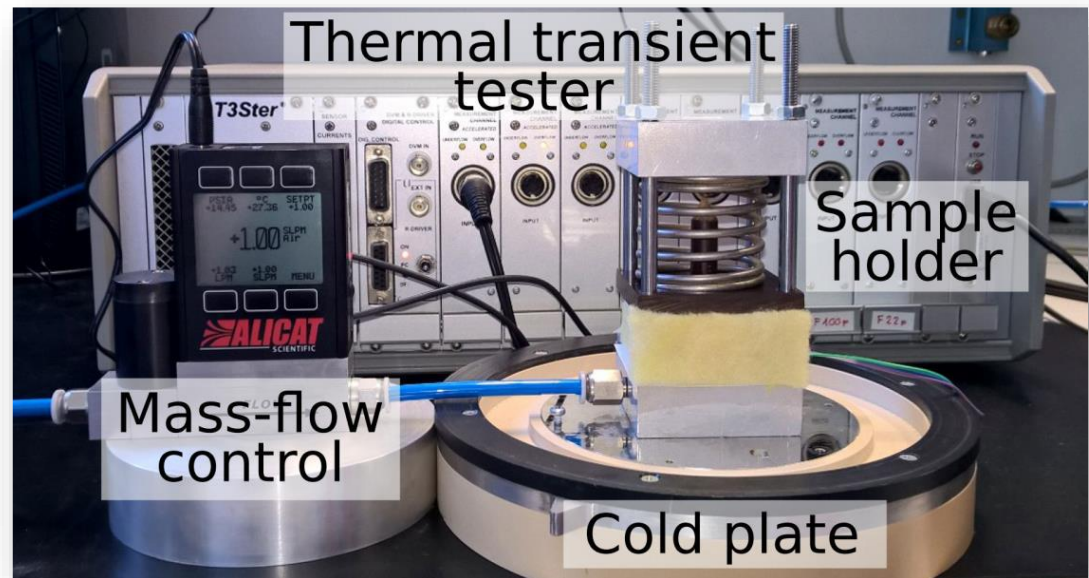
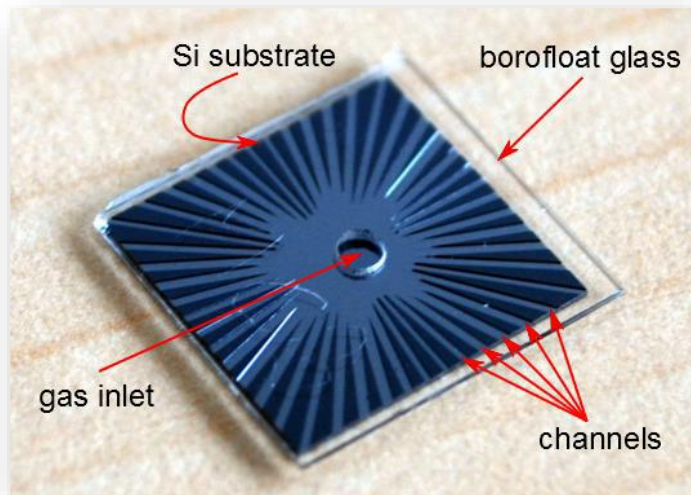
A jelenlegi hűtési technikák mellett nem növelhető tovább a disszipációsűrűség!





Probléma: alkalmas hűtés kell

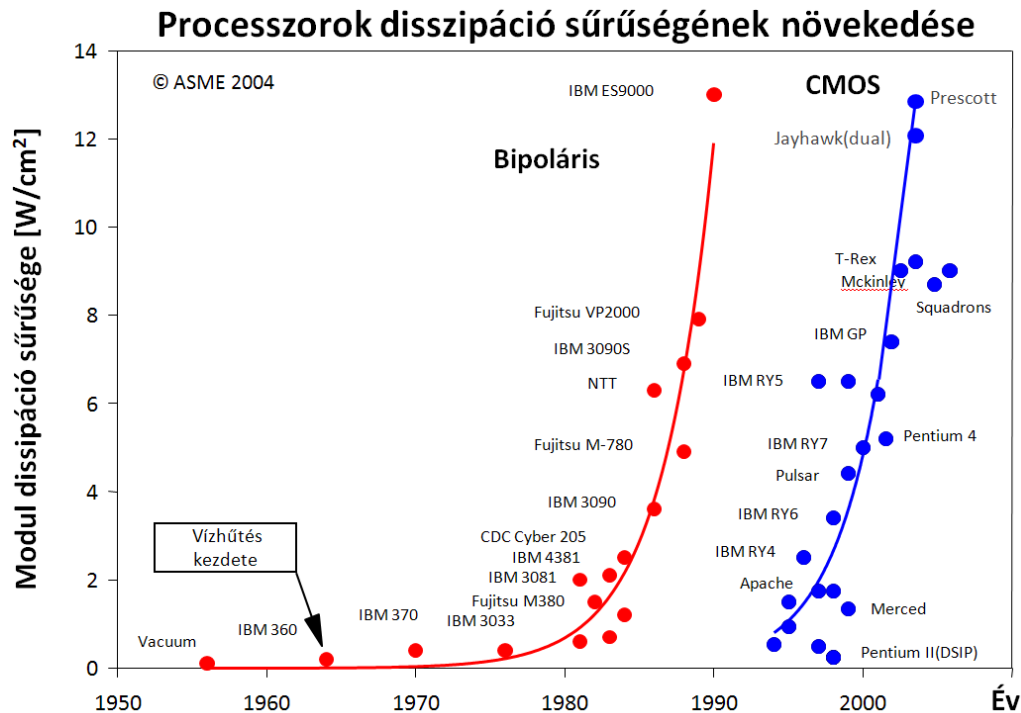
- ▶ Egy megoldási lehetőség az integrált mikrocsatornás hűtőeszközök
 - Aktuális, zajló kutatási téma az EET-n

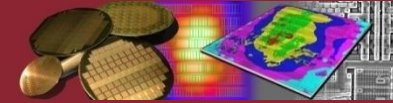




Hasonló, korábbi megtorpanás

- ▶ Nem hűtési technika változott korábban, hanem az áramköri technika: bipoláris helyett CMOS
- ▶ Most a CMOS marad, tehát új hűtési technikák kellenek (pl. mikrocsatornás hűtés)





More than Moore integráció ITRS

