

IT eszközök technológiája

1. előadás

- Tárgykövetelmények
- Rövid bevezetés
- Az alkalmazott technológiák rövid összefoglalása egy okostelefon felépítésén keresztül bemutatva
- Integrált áramkörök, technológiák

Labor

- Öt laborfeladat elégséges szintű teljesítése
 - LABOR = mindegyiket teljesíteni kell.
 - A labor elején a laborvezető oktató a felkészülést ellenőrizheti
 - Go/no go jellegű
 - Részletes elméleti összefoglaló és lépésről-lépésre útmutató áll rendelkezésre.
 - A demo feladat elkészítése után önálló (picit módosított) feladatot ad a laborvezető
 - Általában ledvillogtatás 😊
 - FONTOS! A szerdai csoportoknak már az első héten, egyébként pedig a laborok a 2. héten kezdődnek
 - Folytonos az előrehaladás.
 - A saját laborkurzusra kell menni
 - Teltház van szinte minden kurzuson, így átmenni, változtatni nem lehetséges.
 - Az utolsó héten lehet egy alkalmat pótolni, ha szükséges
 - Az ennél nagyobb kivételeket külön kezeljük le.

Kis házi feladatok

- A félév során 10 alkalommal.
- Minimum hetet kell elkészíteni és **határidőre** feltölteni.
 - A 2. héttől, hetente adjuk ki.
 - Hivatalos határidő: a rákövetkező hét hétfő, 12.00.
 - (a feltöltő rendszer péntek estig el fogja fogadni...és beadottnak minősül)
- Nem pótolható
- Egységes
 - Önállóan kell beadni.
 - Viszont nyugodtan lehet többen elkészíteni, megbeszélni
- Ellenőrzés szűrőpróbaszerűen.
- A félévvégi jegybe nem számít bele, viszont a számonkérés része.

Kis házi feladatok

- Változatosak
- Témába vágó szakcikk elolvasása és értelmezése
- Tervezési feladat – adott problémára eszköz, megoldás keresése, összehasonlítása
- Számpéldák az előadáshoz kapcsolódóan
 - Mivel a zárthelyin hasonlóak lesznek, érdemes kidolgozni.
- C++ kódolás minta alapján
 - System C

Előkövetelmények, szükséges ismeretek

- Fizika – alapvető ismeretek (nem igazán megyünk túl a középiskolás anyagon...)
 - Levezetések egyáltalán nem lesznek.
 - Mindig csak az adott anyaghoz tartozó részek kerülnek előadáson elő.
- Digitális technika
 - Bizonyos részekkel egy szinttel részletesebben foglalkozunk (digitális kapuk felépítése, tranzistorok)
 - Más tekintetben viszont magasabb absztrakciós szinten (rendszertervezés, szintézis, szimuláció, IP)
- Számítógép architektúrák
 - Szintén csak a legalacsonyabb szinttel foglalkozunk...
- Mindhárom tárgy régen volt...

Adminisztráció

- Az EET oktatási portálján
- <http://edu.eet.bme.hu>
- MOODLE alapú.
- Felhasználónév: NEPTUN kód, jelszóról később küldünk Neptun üzenetet. (legkésőbb keddig...)
- Itt lesznek az előadás diái és minden segédanyag.

Célkitűzés

- Az IT eszközök alapvető működésének és technológiájának vázlatos megismerése
- A modern mikroelektronika lehetőségei, a fejlődés trendjei, korlátai
- Megismerni és megtapasztalni, hogy a HW és SW fejlesztés eszközei, korlátai, problémái nagymértékben hasonlítanak
 - a korábbi merev elkülönülés megszűnőben van
 - Minden HW megvalósítható SW-ként és fordítva is
 - Kérdés megéri-e?

Miről lesz szó?



- Arról ami belül és kívül van...
 - Egy komplett számítógép, mikroprocesszor, memóriák, segédprocesszorok
 - Érzékelők, kijelzők
 - ~~RF kommunikáció~~ — ehhez kevés az időkeret és az előtanulmány...
 - [Forrás](#)

Rövid bevezetés

- Milyen komponensekből áll a rendszer?
- Hogyan tervezik ezeket a komponenseket?
- Melyek a legfontosabb szempontok a tervezés során?
- Hogyan szerelik őket össze egy rendszerré?
- Mi biztosítja az energiát a működéshez?



Az integrált áramkörök és összekötésük

- A fekete tokokban szilícium alaplemezen, akár többmilliárd komponenst tartalmazó **integrált áramkörök** (IC-k) vannak.
- A nyomtatott huzalozású lemez feladata, hogy összekösse ezeket illetve a szükséges egyéb (szokásos elnevezéssel **diszkrét**) alkatrészeket.
- Az integrált áramkörökben további alkatrészek vannak akár milliárdszámra.
- A legfontosabb komponens az ún. MOS tranzisztor, ami – első közelítésben – egy (nem teljesen ideális) kapcsoló.
- Ezekből a MOS tranzisztorokból készülnek el a digitális kapuk, amelyeket 8-16 szintű fémezéssel kötnek össze.

Az IPHONE 7 főbb alkatrészei

- **A10 Fusion processor (CPU, GPU, sensor hub)**
- **SK Hynix H23Q1T8QK2MYS 128-GB vagy Toshiba THGBX6T0T8LLFXE 128 GB NAND**
- Intel XMM7360 baseband processor
- Intel PMB5750 RF transceiver
- Intel PMB6826 power management
- USI O1 1R touch screen controller
- NXP PN549 NFC controller
- Murata 339S00199 WiFi controller
- **Broadcom BCM47734 GPS**
- **Cirrus Logic 338S00105 Audio Codec**
- **Cirrus Logic 338S00220 Audio amplifier**
- Avago (Broadcom) AFEM-8050/8060 High/Mid Band
- Qorvo RF6110 Low-Band PAM
- Qorvo 81003M Envelope Tracking Power Management IC
- Skyworks SKY77359 GSM Power Amplifier
- TDK-EPC D5313/ TDK-EPC D5325 Filter Banks
- TDK-EPC D5325 Filter Banks
- Skyworks SKY13702-20/21 (integrated antenna switches)
- Avago (Broadcom) DFI621 PA Duplexer Module
- Lattice Semiconductor FPGA ICE5LP4K
- NXP Interface IC 610A3B (likely a variant of CBTL1610A3 - DisplayPort)
- Texas Instruments Display Power Management TPS65730
- Texas Instruments Battery Charger SN2400AB0
- SiTime MEMS Oscillator SiT1532
- Alps Compass HSCDTD00xA
- Bosch Sensortec Pressure Sensor (likely BMP282)
- Battery 1960 mAh, 3.8 V (7.45 Wh)

Szenzor

Mobil

Számítógép

Kijelző

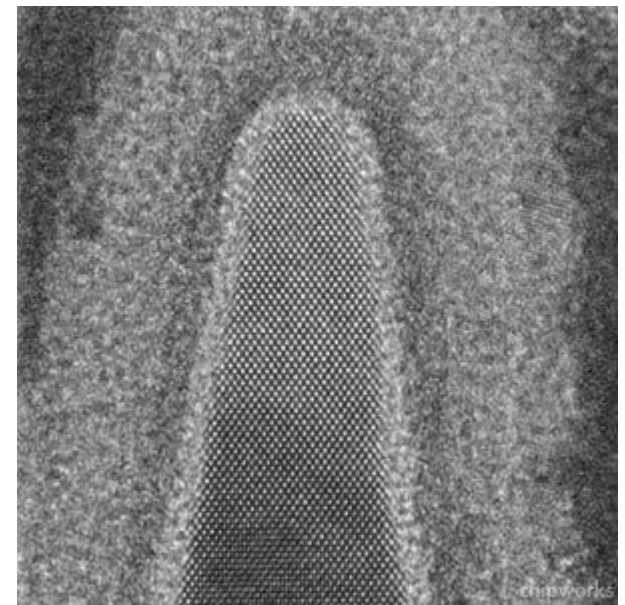
Tápellátás

Audio

Wireless

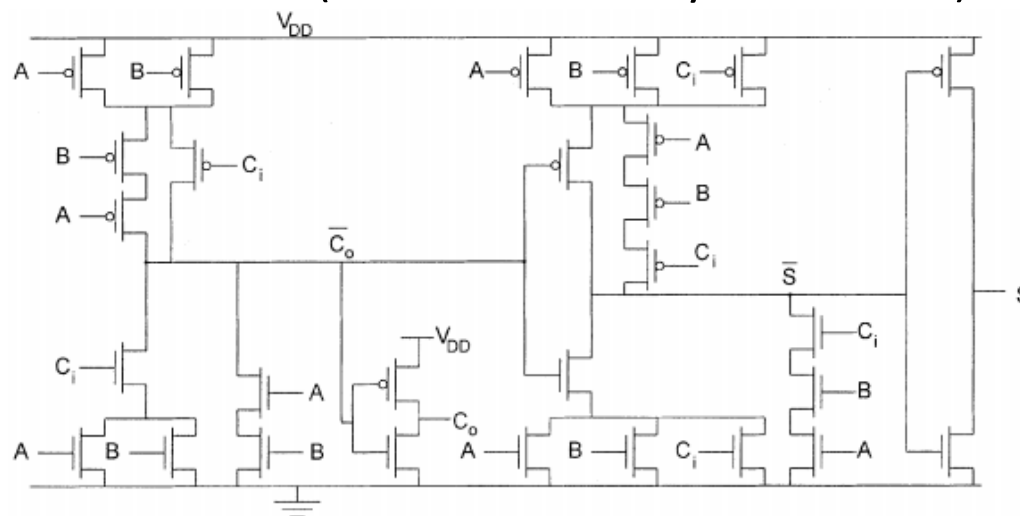
Az IC és MOS tranzisztor – 2. előadás

- Mit jelent az, hogy egy anyag félvezető?
- Milyen anyagokból épül fel egy tranzisztor?
- Hogy működik? (nagyjából és levezetések nélkül...)
- Miért lesz jó logikai áramkörök megvalósítására?
- Az ábrán egy modern ún. FinFET tranzisztor keresztmetszete látható.
 - A mintázat az atomok elektromos tere.



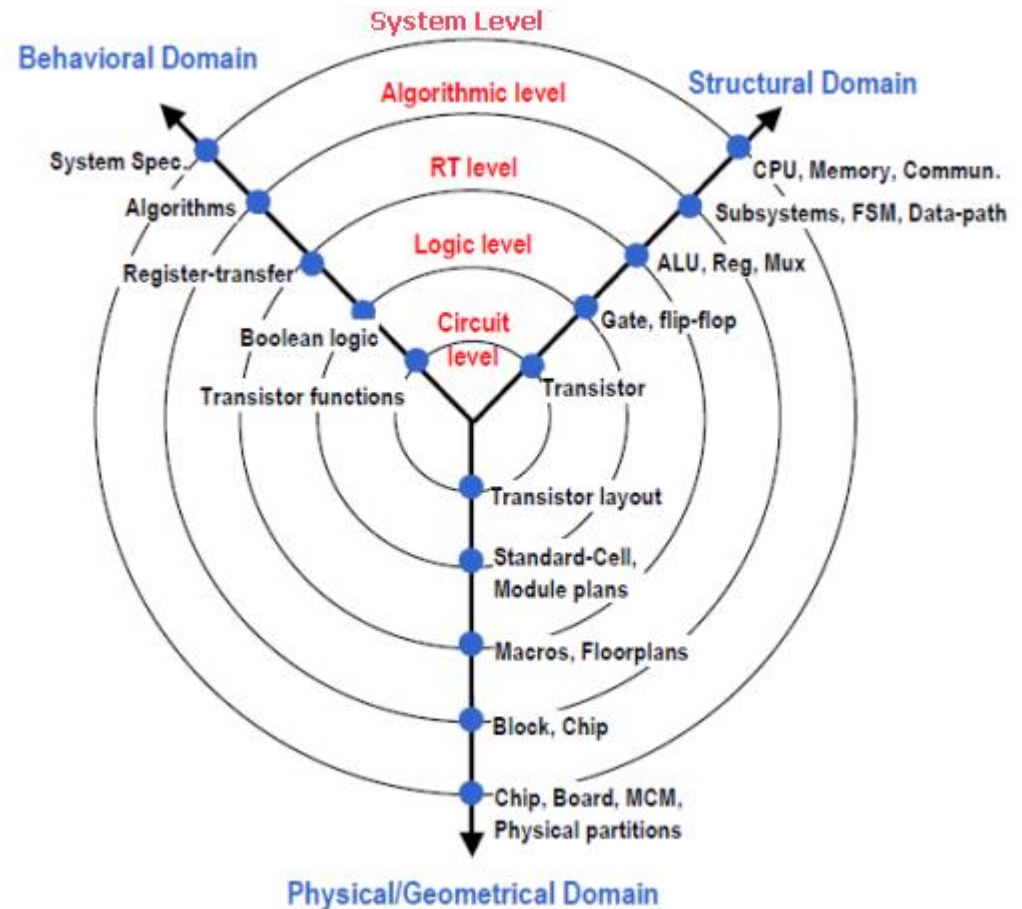
A digitális logika megvalósítása – 2-3. előadás, 1. labor

- Logikai áramkörök
 - Inverter és az alapkapuk, a NOR és NAND kapu
- A rossz hírek:
 - **Fogyasztás, késleltetés, és ezek összefüggései**
- Kombinációs és szekvenciális hálózatok megvalósítása
 - Komplex kapuk, többszintű logika, tárolók
 - Milyen kapu van az ábrán? (a nevekből könnyű kitalálni...)



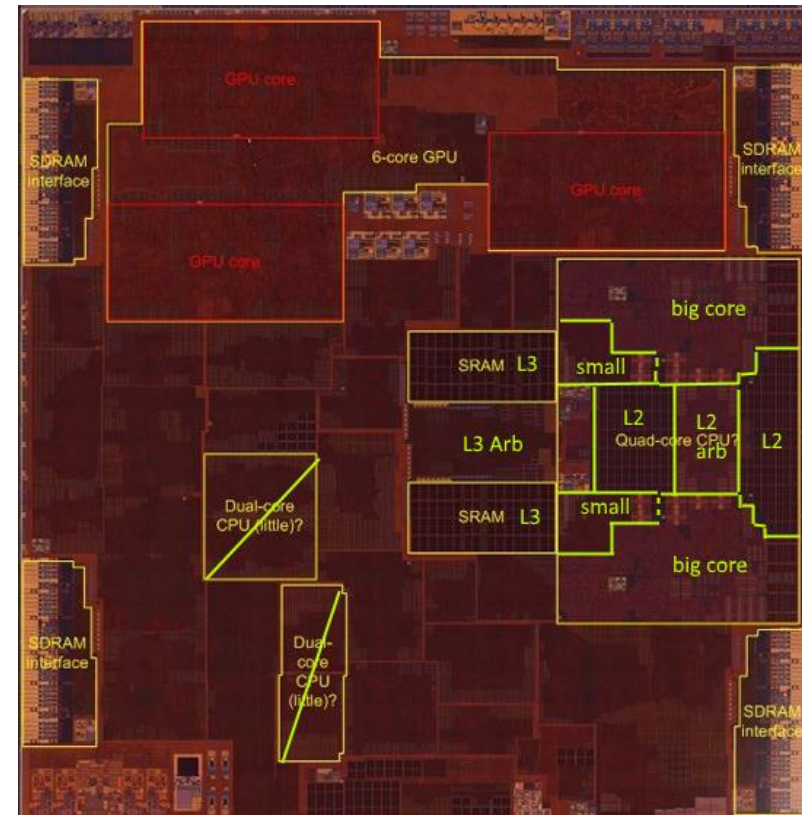
Digitális rendszertervezés 4. előadás, 2-3-4-5. labor

- A rendszertervezés folyamata
- Hardverleíró nyelvek
- **Logikai és fizikai szintézis**



Apple A10 application processor

- Ez egy SoC (System-on-a-chip)
- 2,34GHz négymagos ARM processzor + GT7600 6 magos graf. gyorsító + három szintű cache + “motion coprocessor” (szenzorok adatait gyűjti)
 - Utasításkészlet: ARM (UK)
 - Fejlesztés, mikroarchitektúra: Apple (US)
 - Grafikus gyorsító: Imagination Technologies (UK)
 - Gyártás TSMC (Taiwan)
 - 125mm², 3,3milliárd tranzisztor

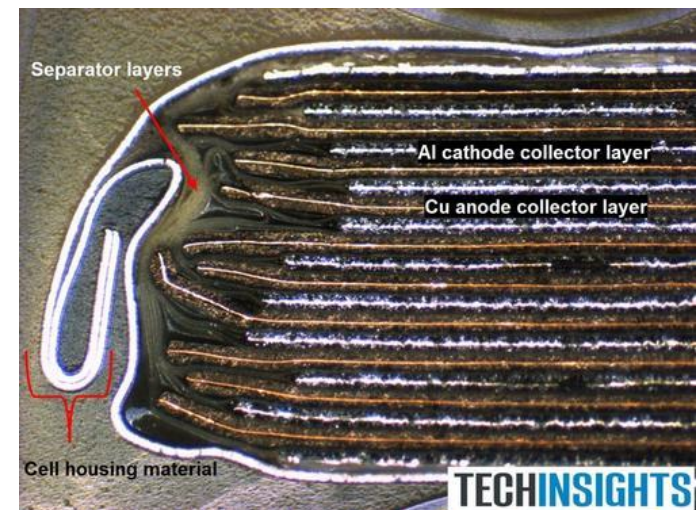


Memória technológiák 5. előadás

- RAM memóriák
 - Operatív memória → Dinamikus RAM
 - Cache memória → Statikus RAM (?)
- ROM memóriák
 - Program memória, adat memória, háttértár – ugyanazok az alkatrészek, csak más elrendezésben
- CAM (content adressable memory)
 - $O(1)$ keresés!

Hogyan illesztjük a digitális IC-t egy rendszerbe? – 6. előadás

- Miért nem szabad pusztán kézzel IC lábakat megérinteni?
- Hogyan generálunk órajelet?
- Milyen külső alkatrészek szükségesek ahhoz, hogy a rendszer működjön?
- Hogyan állítunk elő tápfeszültséget?
 - A hálózati 230V-os váltakozó feszültségből
 - Egyenfeszültségből.
 - Hatékonyan, kevés veszteséggel!

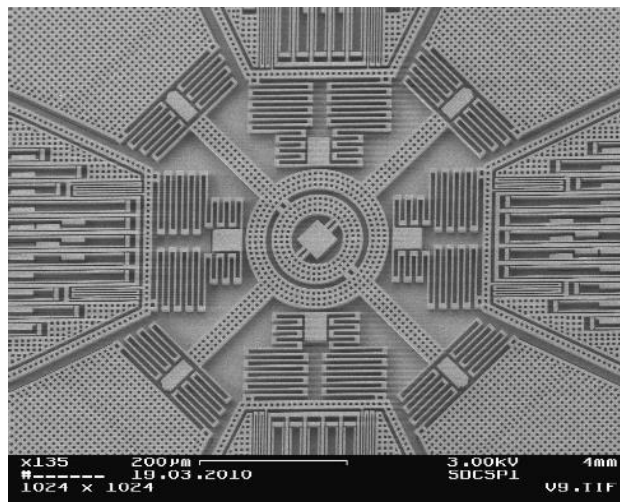


ASIC és Programozható logikai eszközök – 7. előadás

- Mit teszünk akkor, ha nem elégszünk meg a polcról levehető (rendelhető) termékkel, hanem valami egyedi IC kell a rendszerünkbe?
 - Az iPhone példáját tekintve az A10 pont ilyen!
- Hogyan működnek a programozható logikai eszközök?
- Melyek az egyes megvalósítások előnyei és hátrányai? Avagy miért vesz meg egy processzorgyártó cég egy FPGA-t gyártó céget?
- **A rendszertervtől a Linux bootig FPGA-n**

Érzékelés minden szinten – 8. előadás

- Mágneses tér, fényintenzitás, hőmérséklet, elmozdulás, gyorsulás, érintés, közelség...
- Milyen fizikai hatást észlelünk és milyen pontossággal?
- Mit jelent a MEMS gyártástechnológia?
- (az ábrán egy giroszkóp elektronmikroszkópos képe látható)



További előadások

- Megjelenítő eszközök technológiája (9. előadás)
- Átjárás az analóg és a digitális világ között, az AD/DA átalakítók (10. előadás)
- Teljesítmény és hőmérsékleti problémák. Hogyan történik egy rendszer hűtése, hogyan lehet egyszerű módszerekkel közelítőleg meghatározni egy komponens hőmérsékletét? (11. előadás)
- Mágneses adattárolás (12. előadás)
- Hogyan készül a nyomtatott huzalozású lemez? Milyen alkatrészeket használunk még és hogyan rögzítjük? (13. előadás)



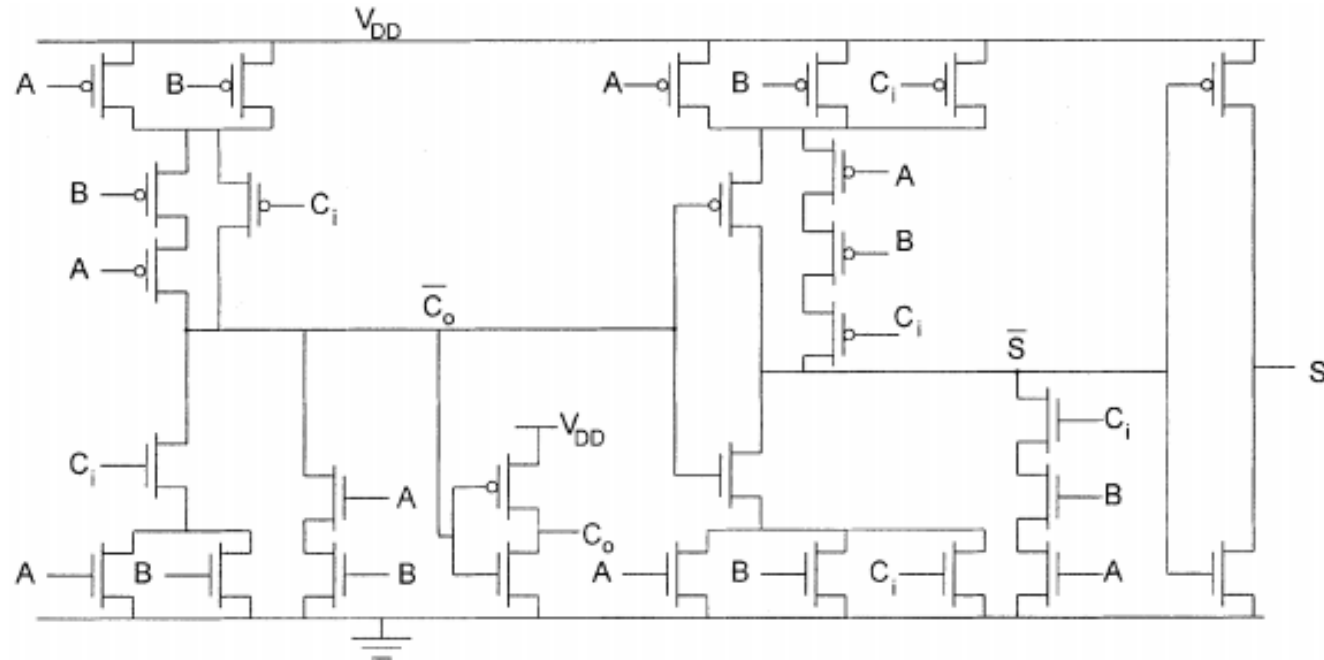
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikus Eszközök Tanszéke

Digitális áramkörök

A digitális áramkörök

- Digitális logikát leggyakrabban **áramkörökkel** valósítunk meg.
 - A leggyakoribb megvalósításban **feszültséglogikát** használunk
 - Ebben az esetben általában a tápfeszültséget feleltetjük meg a logikai igaz, a 0V-ot pedig a logikai hamisnak.
 - A tápfeszültség megállapodás kérdése, 5V, 3.3V, 2.5V, 1.8V vagy még kevesebb, sőt a rendszer változtathatja is, erről majd bővebben beszélünk.
 - A műveletet elvégző egységek a Digitális technikából megismert kapuk.
 - (nagysebességű áramkörökben áramlogikát, vagy differenciális feszültséglogikát használnak)

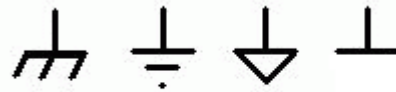
Kapcsolási rajz



- A valódi kapcsolási rajz picit eltér a fizikából megszokottól
- A feszültséggenerátorok szimbólumai általában hiányoznak, ehelyett egy kis karika vagy vonal mellé kerül egy felirat.
- Már egy egyszerűbb kapcsolásban is a rajz áttekinthetetlenné válik, ha a tápfeszültséget kettőnél több helyre kell elvezetni.
- A tápfeszültség szokásos jelzése VCC, VDD, vagy egyszerűen csak a tápfeszültség értéke pl. +3.3V

A föld

Föld szimbólumok, a
bal szélső a védőföld



- Van egy kijelölt referencia pont, a föld.
- Minden feszültséget – ha nem mondjuk meg pontosan, hogy mi között kell mérni – ehhez viszonyítunk.
- A referencia pont és a valódi föld potenciál nem biztos, hogy egybeesik...
- Ez valójában fizikai értelemben véve potenciál, de a villamosmérnöki gyakorlatban feszültségnek mondjuk.
- Sokféleképpen ábrázolják, nincs mindenre érvényes konvenció.



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikus Eszközök Tanszéke

A mikroelektronika

Mikroelektronika

- Az Elektronika azon ága, amely kisméretű integrált áramkörök tervezésével és gyártásával foglalkozik
 - Általában (legalábbis jelenleg) félvezető alapanyagokból, egy kisméretű szilícium lapkán (chip) készülnek el az áramkörök.
 - Digitális integrált áramkörökben az alkatrészek tranzisztorok, azaz kisméretű kapcsoló elemek.
 - (analóg integrált áramkörökben természetesen megvalósíthatók a „megszokott” további alkatrészek, azaz ellenállás, kapacitás, tekercs – ezek értékészlete korlátozott, minősége jóval rosszabb, mint az egyedi alkatrészeké – így érthető a digitális jelfeldolgozás irányába történő eltolódás)
 - Az integrált áramköri gyártás **TÖMEGGYÁRTÁS**
 - Az egy darabra jutó költség emiatt kicsi

A Moore-törvény

- 1965-ben Gordon Moore megjósolta, hogy az egy lapkára integrálható tranzisztorok száma másfél – kétévente megduplázódik (exponenciális növekedés)
- **A jóslat továbbra is helytálló**
- Az 1 millió tranzisztor/lapka határt az iparág a 80-as években törte át
 - 2300 tranzisztor, 1 MHz-es órajel frekvencia (Intel 4004) - 1971
 - 42 millió tranzisztor, 2 GHz-es órajel frekvencia (Intel P4) – 2001
 - 19 milliárd tranzisztor (becslés) AMD EPYC™ 7601, 32 mag, 2,2GHz (3,2GHz max. turbo módban)
 - [Adatlap](#)
 - FPGA: 30 milliárd tranzisztor, Stratix 10 10GX5500/10SX5500
 - [Adatlap](#)
 - Intel, 10nm 100,8M tranzisztor/ mm²

Moore eredeti cikkének ábrája

- A „merész” becslés talán nem túlzás

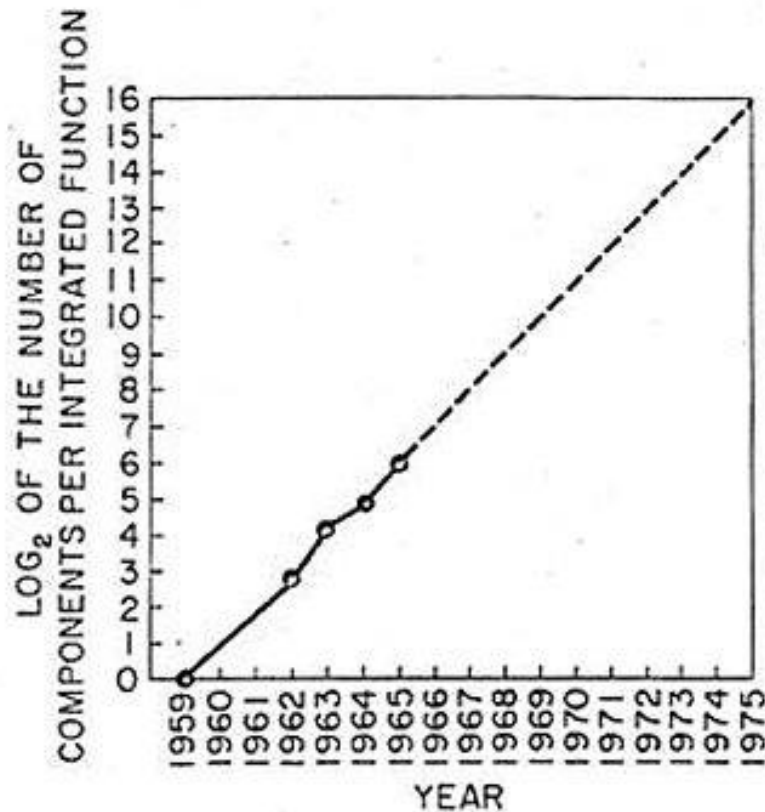
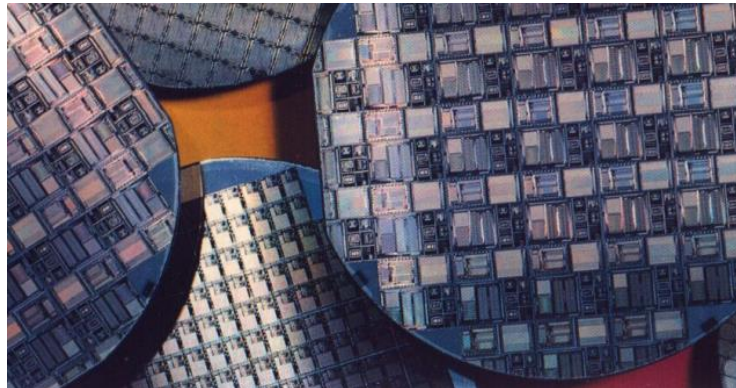


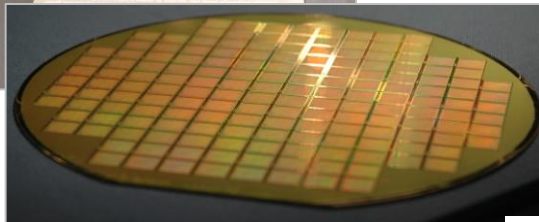
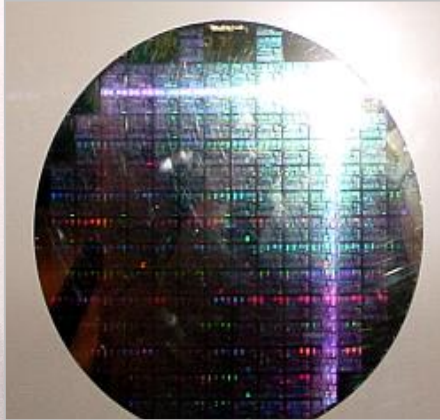
Fig. 2 Number of components per integrated function for minimum cost per component extrapolated vs time.

A planár technológia

- VLSI – very large scale integration.
 - 1980-as évek óta $\geq 10\,000$ tranzisztor
- A planár szó arra utal, hogy az integrált áramkörök gyártása síkbeli elrendezésben történik.
 - A gyártás „síkja” a félvezető szelet (wafer) felülete.
- Kiindulási alap: a rudakban készülő szilícium egykristály 50-450mm átmérőjű, 0,25-0,7 milliméter vastag szeletek
- Egy szeleten több ezer IC (chip vagy die) készül egyszerre



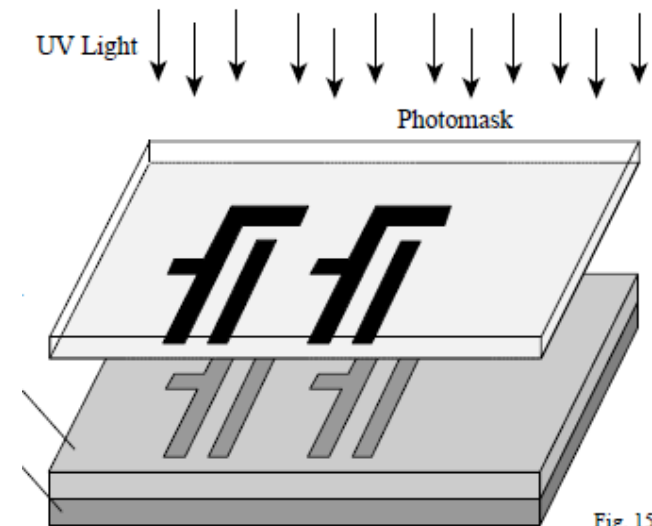
Kiindulási alapanyag: a szilícium egykristály, ~30cm



Megmunkált Si szelet

Litográfia

- Feladata a szelektív mintázat kialakítása.
- A felületre ún. fotorezisztet visznek fel.
 - Szerves anyag, megvilágítás hatására bizonyos oldószerekkel szemben az oldhatósága megváltozik, pl. oldhatóvá válik.
- Egy **maszkon** keresztül (ami a megvalósítandó alakzatok körvonalát tartalmazza) megvilágítják.
- A rezisztet előhívják, azaz a szelektív oldószerral a megvilágított részt leoldják.
 - Így a felületet a maszk által meghatározott területeken a fotorezisztet fedik.



Példa: fémezés kialakítása

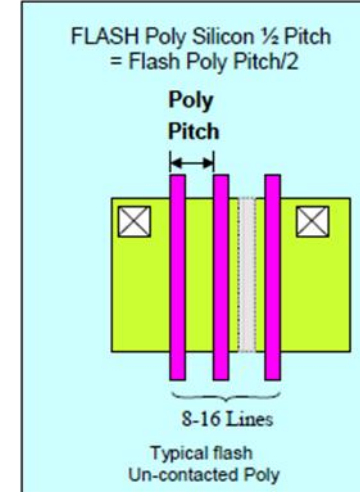
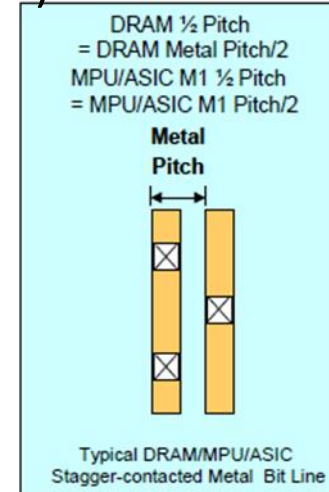
- A teljes felszín fémréteggel beborítják
- Ezt mintázzák meg, így a felületen kialakul rezisztből a fémezés rajzolata
- Utána a felesleget (amit nem véd reziszt) marószerral lemarják
 - Ezt a technológiát nagyon sok helyen alkalmazzák, pl. nyomtatott huzalozású hordozó gyártásakor is.
- Ennél persze egy jóval bonyolultabb a technológia, de az elv ez.

A méretcsökkentés

- Az elemek számát kétféleképpen növelhetjük meg:
 - Meg kell növelni a chip méretét. Ennek akadálya, hogy a gyártási hiba valószínűsége a chip felszínével egyenesen arányos. Így létezik egy optimális chip méret, aminél nagyobbat nem érdemes gazdaságosan gyártani. Ez kb. 500mm^2
 - Csökkenteni kell az elemek és az összeköttetések méretét.
 - Ha minden fizikai méretet pl. a felére csökkentünk, akkor kb. 4x annyi alkatrészt lehet kialakítani felületegységenként.
 - Ez utóbbi a méretcsökkentés
- A méretcsökkentés hatása
 - A késleltetés csökken (órajel növelhető)
 - Egy kapu fogyasztása csökken
 - Viszont a felületegységnyi fogyasztás **megnövekszik!**

Méretcsökkentés

- “x nm-es” technológia
 - jelentése: a megvalósítható legkisebb méret x nm.
 - (manapság persze ezt is „érdekesen” értelmezik)
- Ez az ún. MFS (minimum feature size)
- 1970 környékén ez kb. $10\mu\text{m}$ (10 000nm) volt.
- Jelenleg ez az érték 10nm, gyártásban
 - Intel, Samsung, TSMC
- A szilícium rácsállandója (két atom középpontja közötti távolság a kristályrácsban) 543pm...



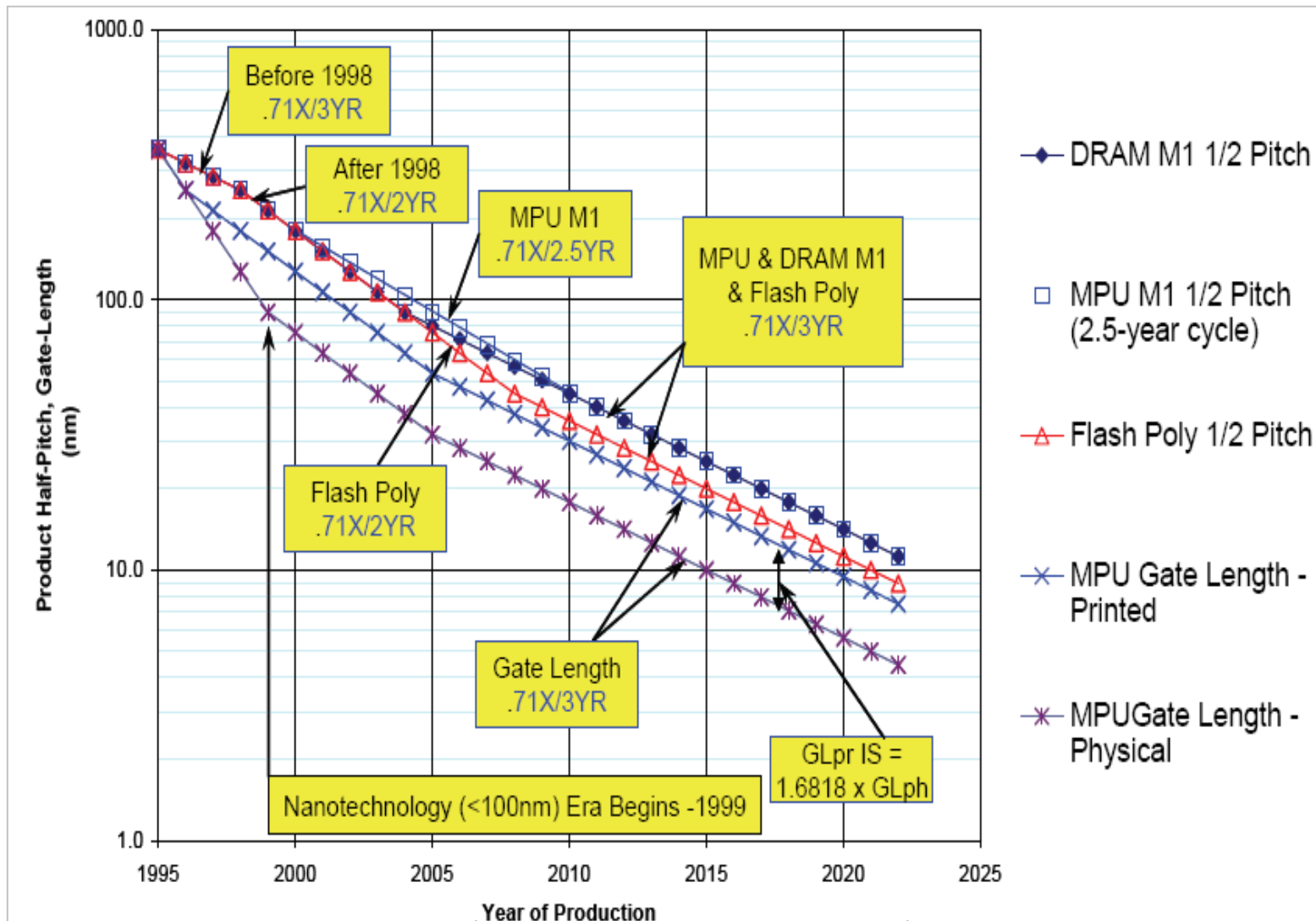
IRDS roadmap (2016 előtt ITRS)

- Vezető ipari szakértők által **folyamatosan frissített** előrejelzések a mikroelektronikai technológiák (IC gyártás) várható fejlődési irányairól.
- A 2016 évi előrejelzés [itt található](#).

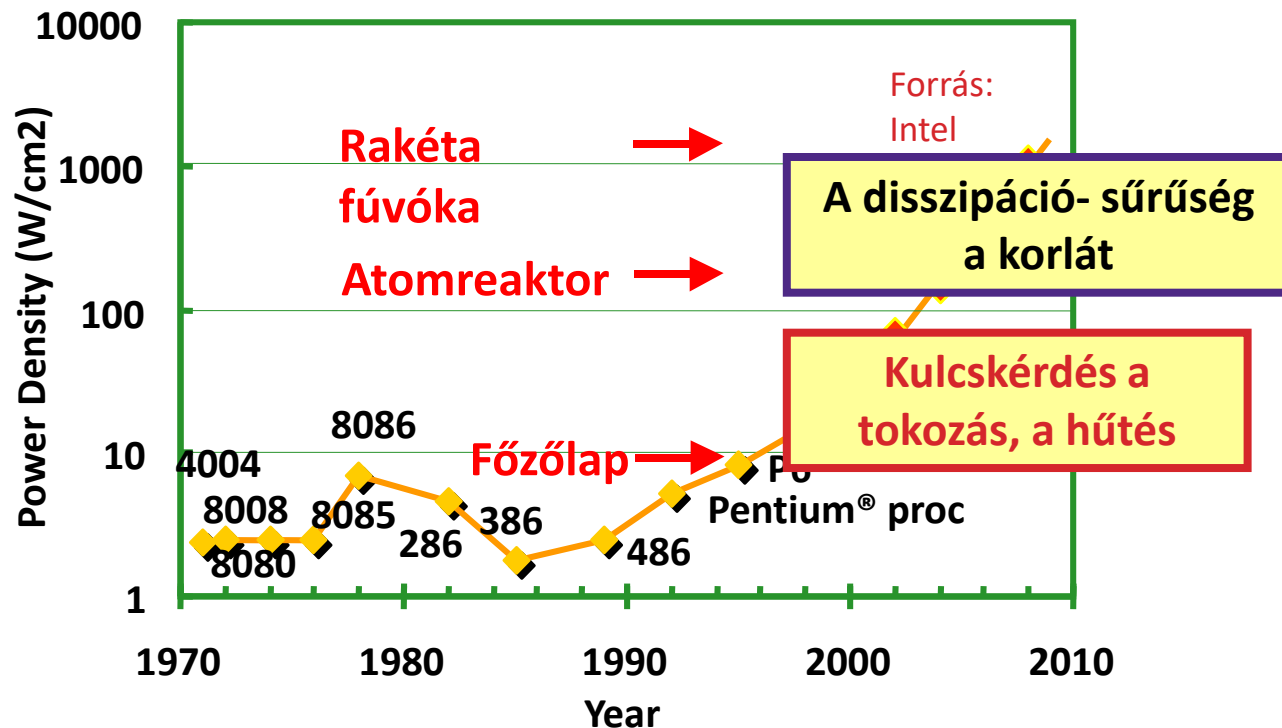
YEAR OF PRODUCTION	2015	2017	2019	2021	2024	2027	2030
Logic device technology naming	P70M56	P54M36	P42M24	P32M20	P24M12G1	P24M12G2	P24M12G3
Logic industry "Node Range" Labeling (nm)	"16/14"	"11/10"	"8/7"	"6/5"	"4/3"	"3/2.5"	"2/1.5"
Logic device structure options	finFET FDSOI	finFET FDSOI	finFET LGAA	finFET LGAA VGAA	VGAA, M3D	VGAA, M3D	VGAA, M3D

- A rövidítések feloldása (FinFET, FDSOI, LGAA, VGAA)

A becsült ütem különböző „node”-okon



A növekvő disszipációsűrűség



- (Többek között) Ez vezetett a többmagos mikroprocesszorok kifejlesztéséhez.
 - 2004 körül az ún. Power Wall. Kb 3-4GHz-ben limitálta az órajel frekvenciát.