

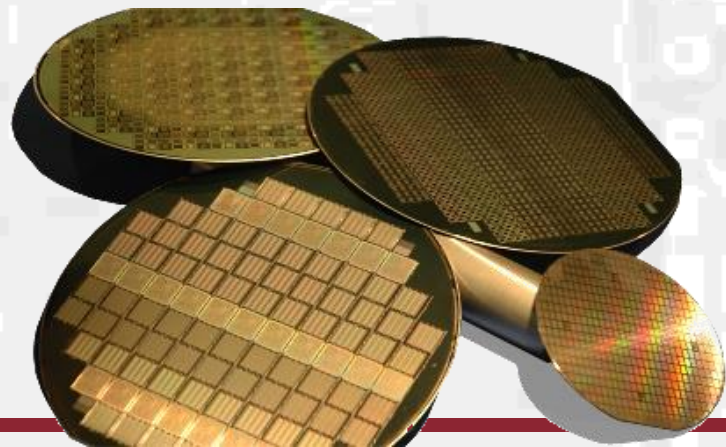
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikus Eszközök Tanszéke

Layout reprezentációk

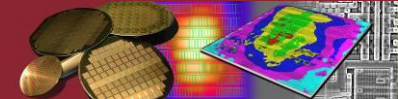
Bognár György

Timár András

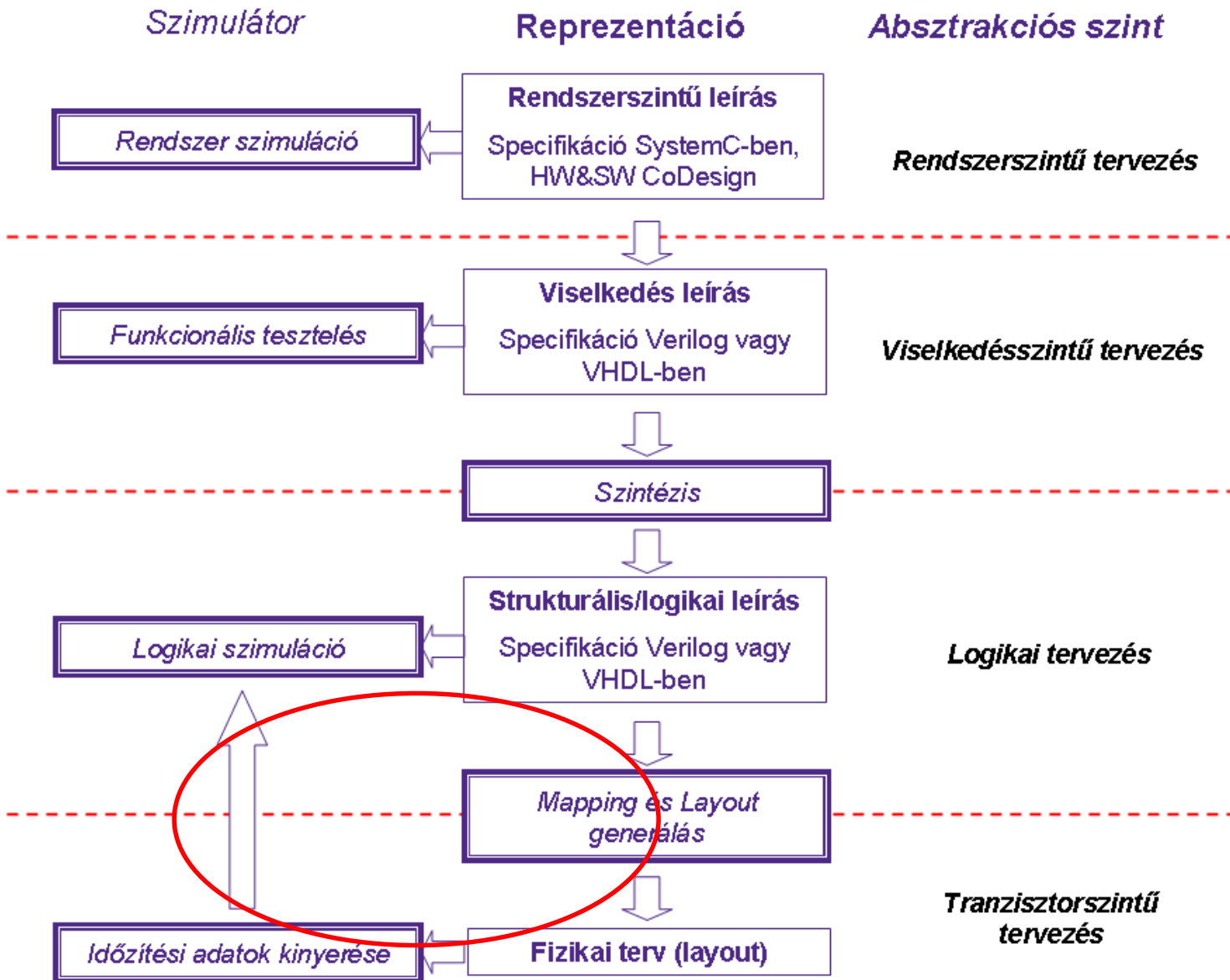
Dr. Poppe András

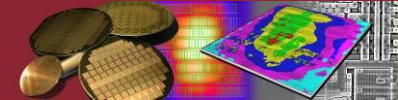


<http://www.eet.bme.hu>

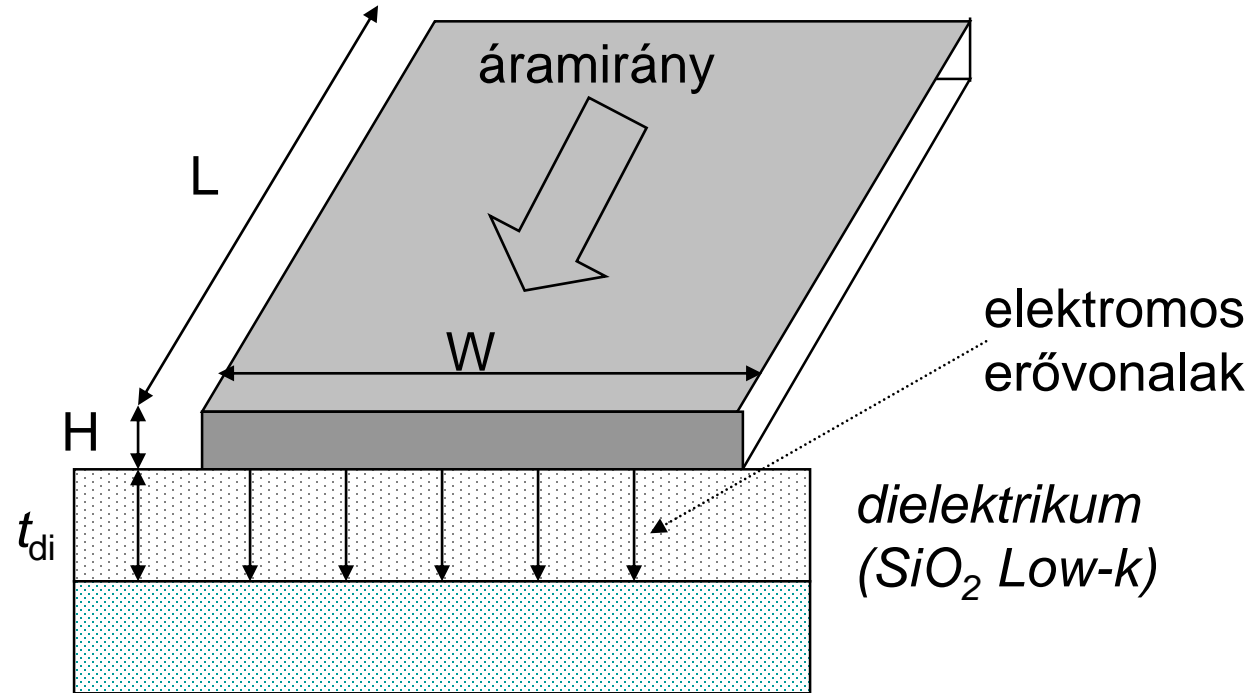
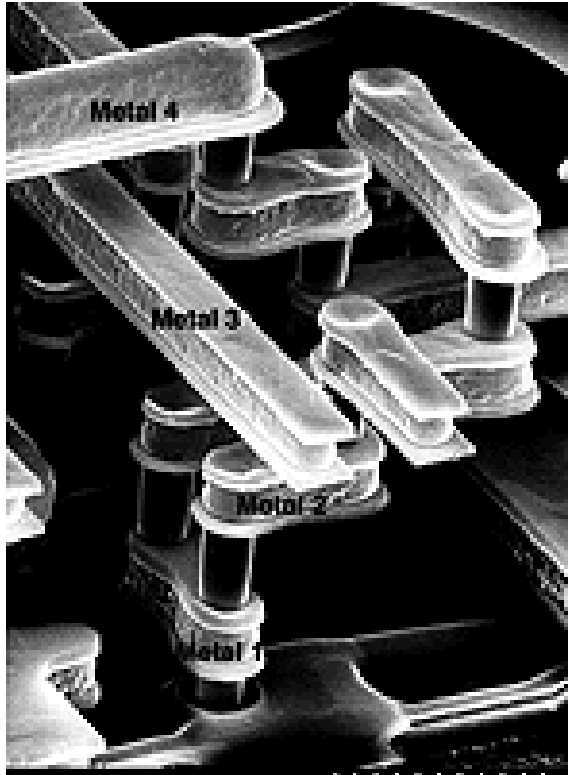


Digitális integrált áramkör tervezés



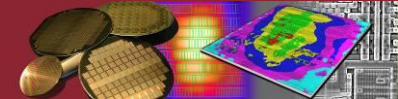


Vezetékezés kapacitásai, paraméter extrakció



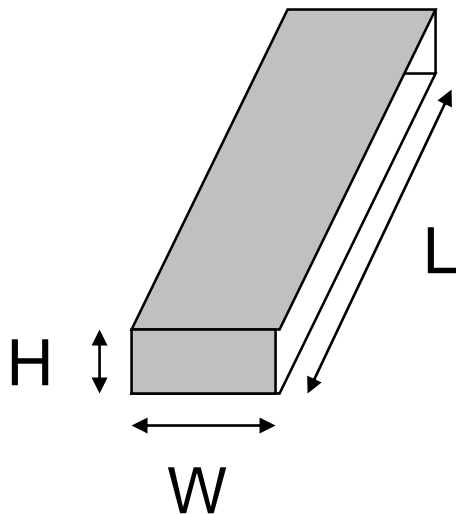
dielektromos
állandó
($\text{SiO}_2 \Rightarrow 3.9$)

$$C_{pp} \Rightarrow (\epsilon_{di}/t_{di}) WL$$



Vezetékek ellenállása, paraméter extrakció

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{\rho L}{HW}$$


 $R_{1\Box}$

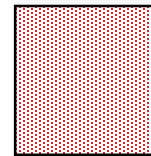
=

 $R_{2\Box}$

négyzetes ellenállás



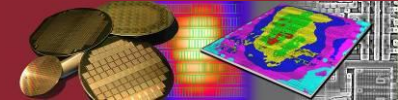
=



**Nagy frekvencián:
skin-effektus!!**

Anyag	$\rho(\Omega\cdot m)$
Réz (Cu)	1.7×10^{-8}
Alumínium (Al)	2.7×10^{-8}

Anyag	Négyzetes ellenállás (Ω/\Box)
n, p zseb	1000 to 1500
n+, p+ diffúzió	50 to 150
n+, p+ diffúzió és szilicid	3 to 5
Poliszilícium	150 to 200
Poliszilícium és szilicid	4 to 5
Alumínium	0.05 to 0.1



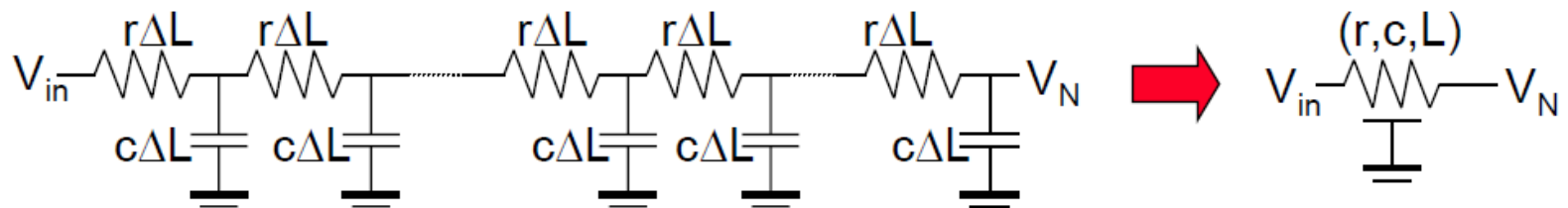
Időzítési adatok kinyerése

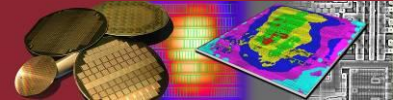
► Koncentrált paraméteres megközelítésben

- A vezeték ellenállása egy R , a vezeték kapacitása egy C
- $t_{\text{propagation}(10\%-90\%)} = 2,2 \cdot R \cdot C$
- Csak rövid vezeték esetén
- Túlbecsli a valós késleltetésnek

► Elosztott paraméteres megközelítésben

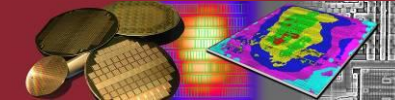
- $t_{\text{propagation}(10\%-90\%)} = 0,9rcL^2$



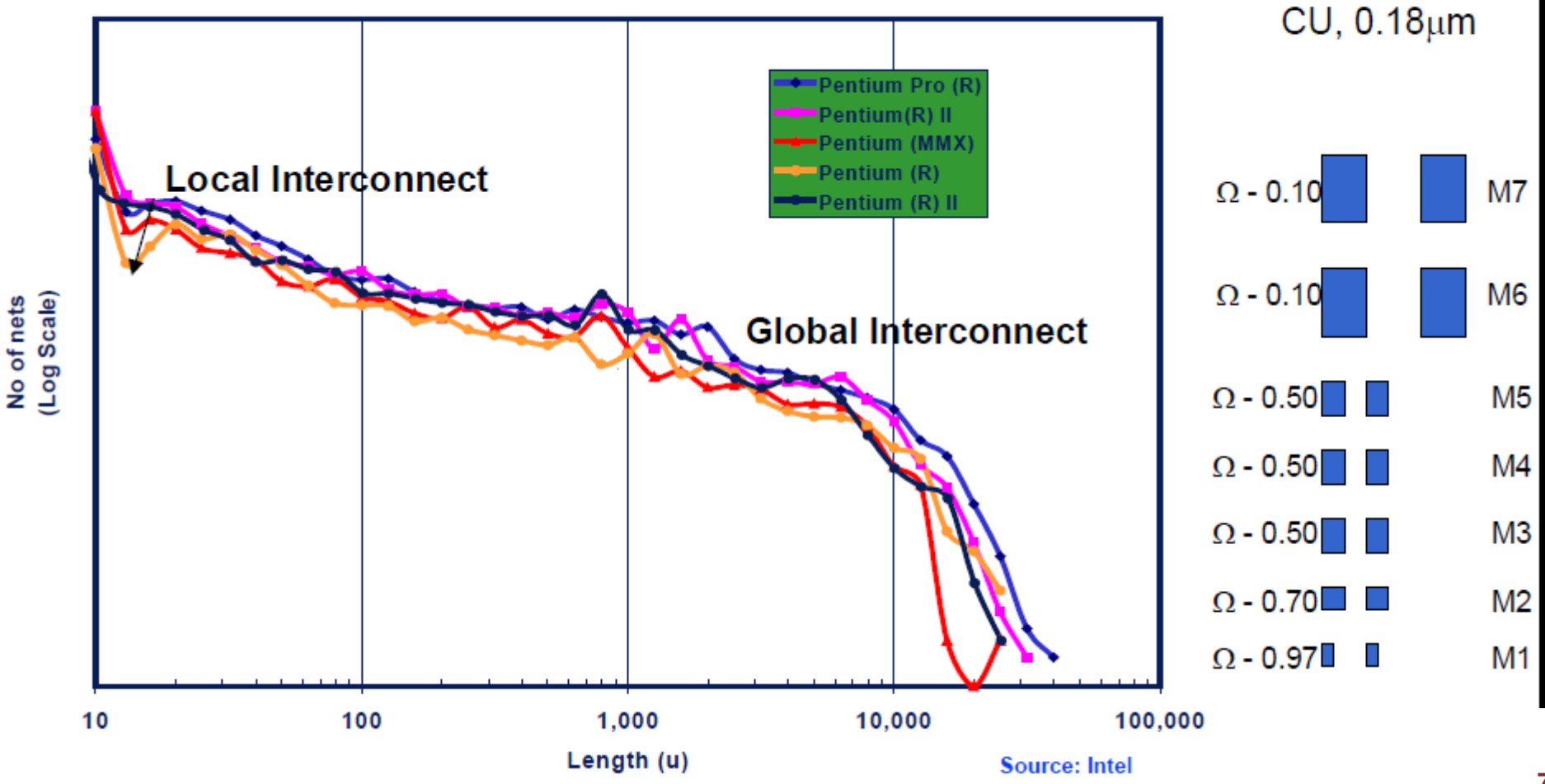


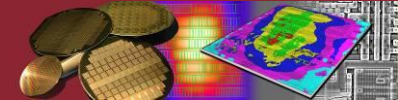
Példa – egy 1cm hosszú, 1 μ m széles vezeték késleltetése

- ▶ Poly: $t = 0,9 \cdot (150 \text{ } \Omega/\mu\text{m}) \cdot (196 \text{ aF}/\mu\text{m}) \cdot (10^4 \text{ } \mu\text{m})^2 = 2,6 \text{ } \mu\text{s}$
- ▶ Al: $t = 0,9 \cdot (0,0375 \text{ } \Omega/\mu\text{m}) \cdot (29,2 \text{ aF}/\mu\text{m}) \cdot (10^4 \text{ } \mu\text{m})^2 = 0,1 \text{ ns}$

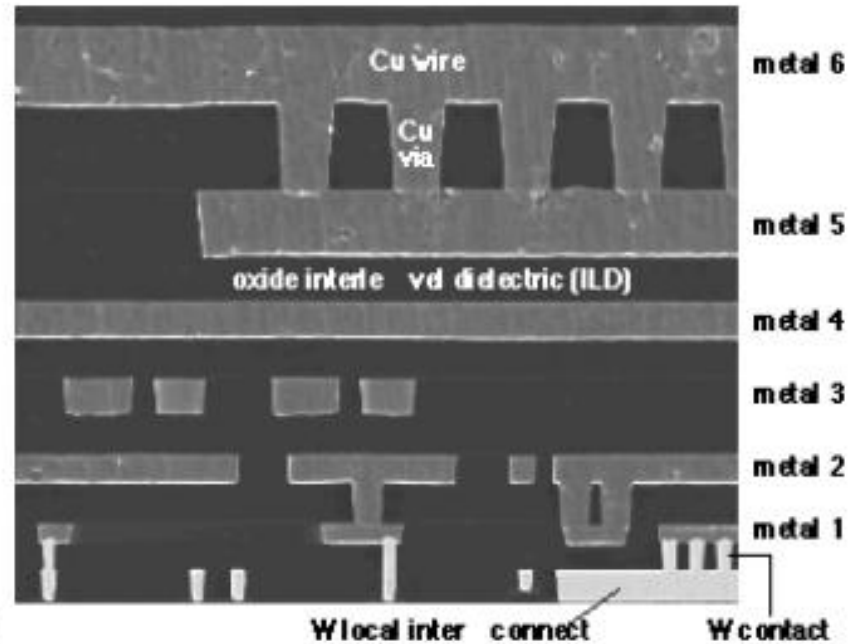
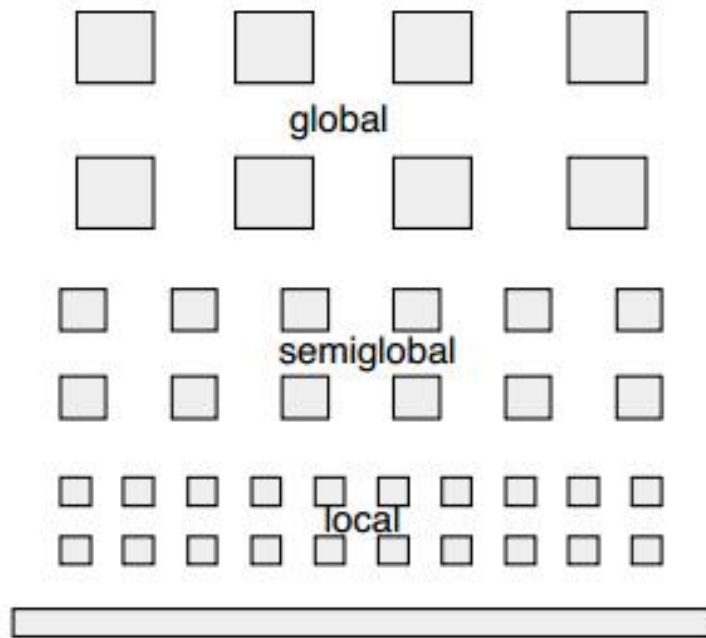


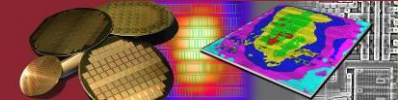
Vezetékek hosszúság szerinti eloszlása ill. az egyes fémrétegek relatív mérete



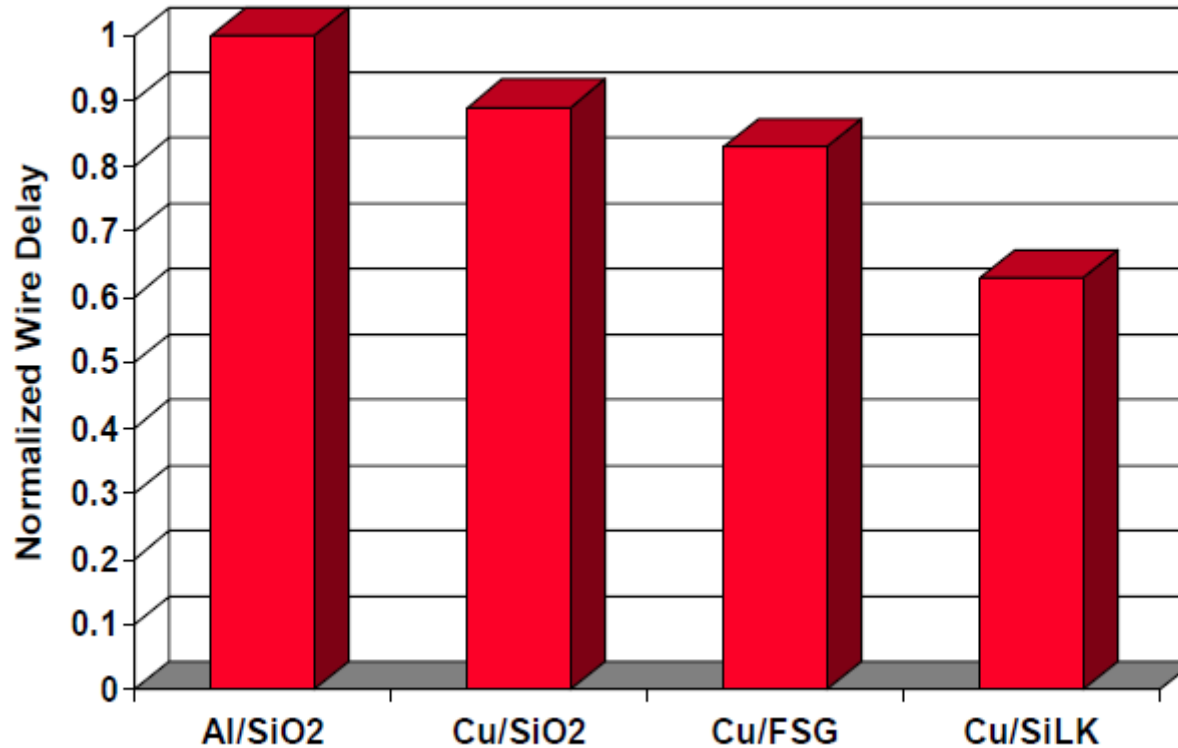


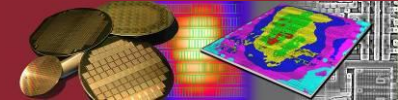
Hatrétégű huzalozás keresztmetszete





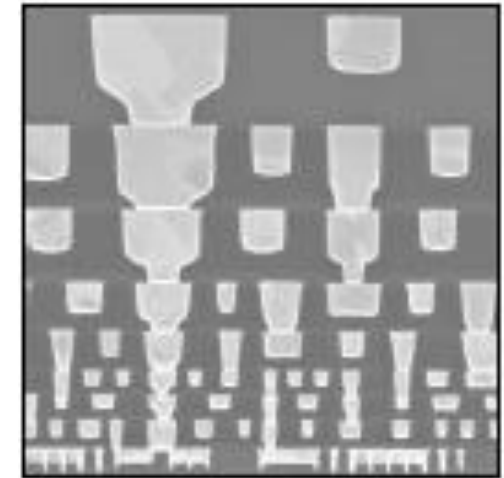
Késleltetés különféle anyagkombinációknál



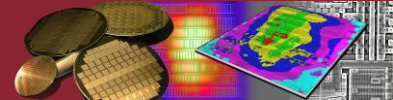


Low-K anyagok

Anyag	ϵ_r
SiO ₂	3,9
FDO – fluórral adalékolt oxid	3,5
CDO – szénnel adalékolt oxid	3,0
Pórusos SiO ₂ (mechanikailag instabil)	2,0
Pórusos CDO	2,7
polimerek	2,2

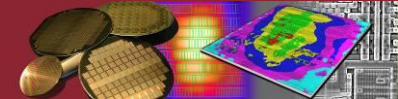


- Tehát pl. a SiO₂-t CDO-ra cserélve 25%-al lehetett csökkenteni a késleltetést.



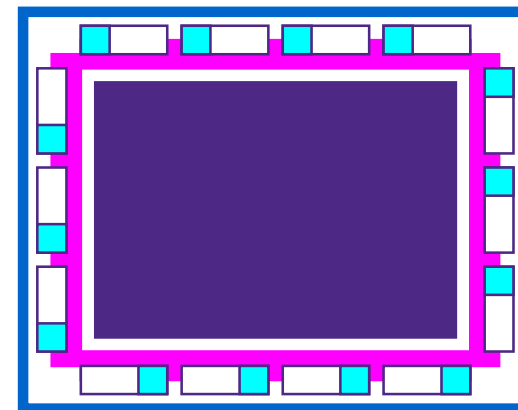
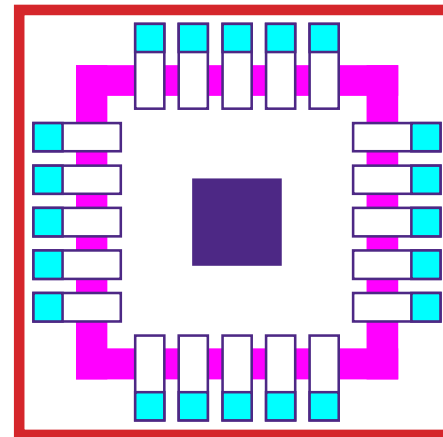
Layout előállítás

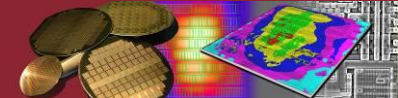
- ▶ Kifejtett áramkörleírás \Rightarrow
- ▶ Floorplan
 - core kialakítása
 - tappancsgyűrű kialakítása (pad limited, core limited)
 - cellák elhelyezése
- ▶ Globális huzalozás
 - huzalozási csatornák kialakítása
 - föld és táp ellátás (*supply tree*)
- ▶ Részletes huzalozás
- ▶ DRC



Layout előállítás

- ▶ Kifejtett áramkörleírás
- ▶ Floorplan
 - core kialakítása
 - tappancsgyűrű kialakítása (**pad limited**, **core limited**)
 - cellák elhelyezése
- ▶ Globális huzalozás
 - huzalozási csatornák kialakítása
 - föld és táp ellátás (*supply tree*)
- ▶ Részletes huzalozás
- ▶ DRC

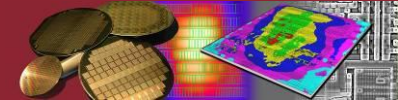




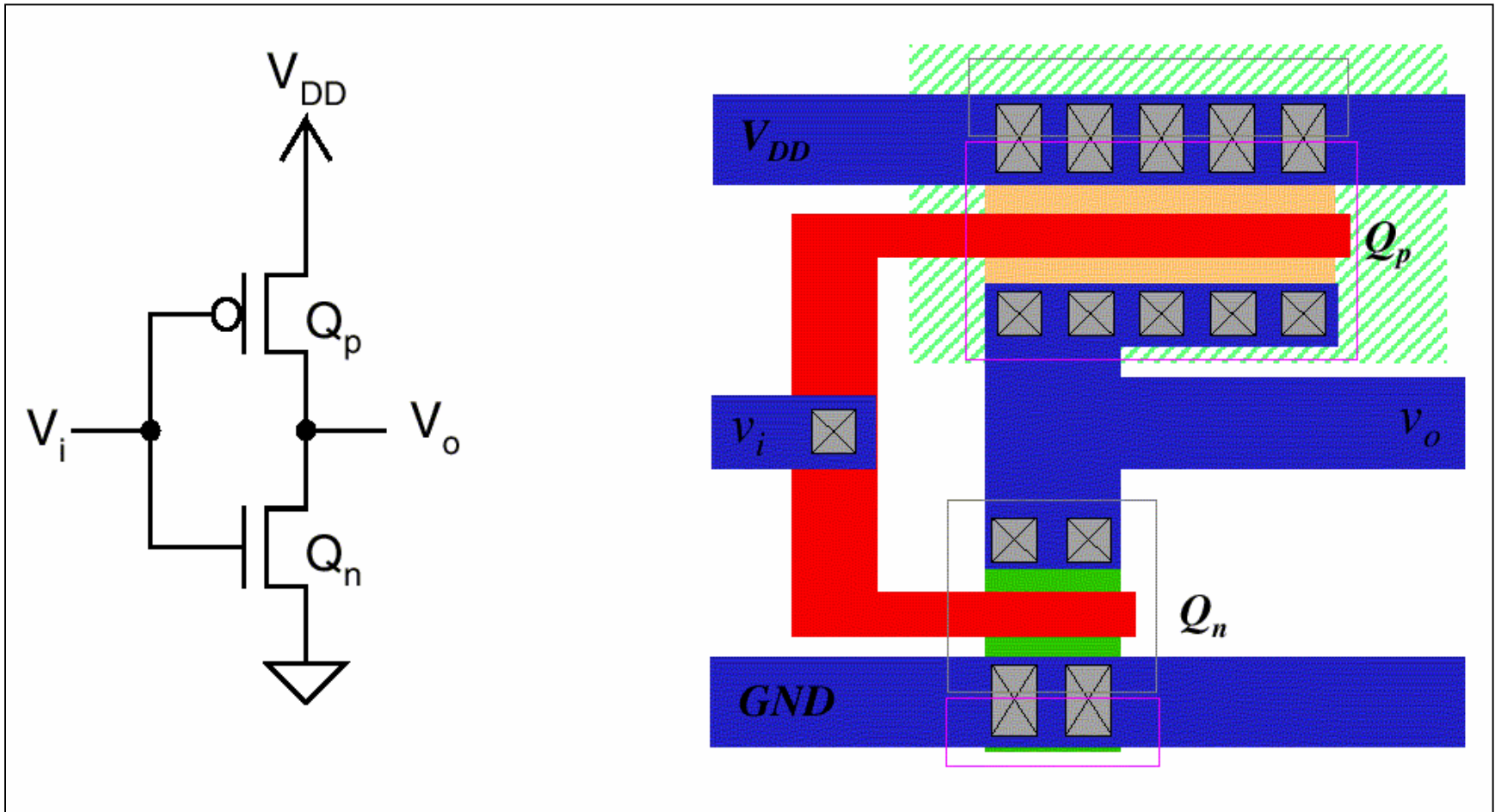
Ami eljut az IC gyárba ...

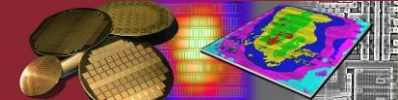
- ▶ ... az a *layout*
- ▶ “Szabványos” reprezentációk
 - ***CIF, GAELIC***
 - ***GDS2,***
 - ***OASIS***

Ezek ún. *de facto* ipari szabványok



CMOS alapkapuk - Inverter

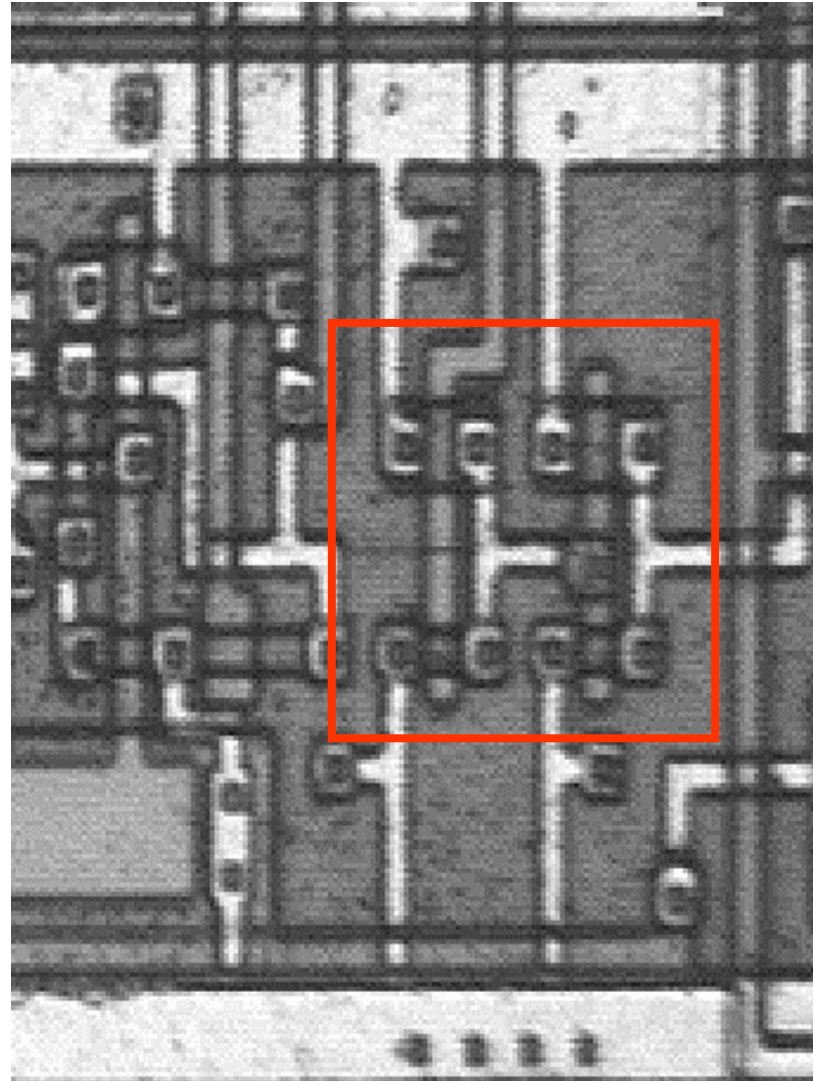




CMOS alapkapuk – Inverter a valóságban

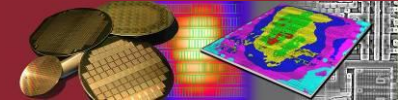
Be

VDD →



Ki

GND →



Layout = maszkok geom. leírása

▶ Leírásmódok:

▪ alfanumerikus:

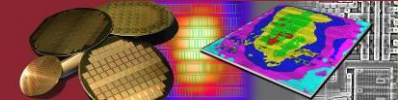
- “emberi fogyasztásra” is alkalmas
- akár kézzel is írhatóak, editálhatóak (milliméter papír, kézi adatbevitel)
- cél: egyszerű átvitel különböző programok, rendszerek között.
Pl.: layout editor \Rightarrow pattern generátor
- **CIF** - Caltech Intermediate Format

▪ bináris:

- belső ábrázolás mindig bináris
- tömör
- csak géppel olvasható
- **GDS2**, **OASIS** file formátum

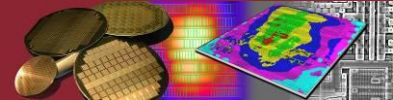
▶ Fordítás a leírásmódok között

pl.: **GDS2** \Leftrightarrow **CIF**



Layout = maszkok geom. leírása

- ▶ Másik osztályozás:
 - struktúrált (makro-hierarchia)
 - áttekinthetőbb
 - reguláris layoutok előállítását nagyban segíti
 - tömörebb
 - többszörös makro-hívási mélység
 - egyes műveletek a struktúrált layoutleírásokon gyorsabban elvégezhetők
 - kifejtett (flat)
 - tipikusan maszkgeneráláshoz használják
 - Kifejtő program: struktúrált \Rightarrow flat
- ▶ Mind az alfanumerikus, mind a bináris reprezentáció lehet struktúrált, illetve kifejtett



Layout = maszkok geom. leírása

► Layout:

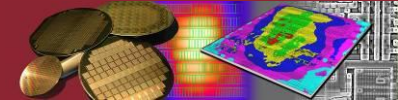
- 2D alakzatok halmaza
- több ún. rajz síkon megadva

► Rajz sík vagy *réteg* (layer):

- logikai reprezentáció ⇒
 - adott szín a layout rajzon (képernyő, papírnymomat)
- ⇒ egy technológiai lépés (foto)maszkja
- ⇒ vagy egy pszeudó layer (nincs hozzá maszk)

► Layout makro:

- egy vagy több rajzsíkon létrehozott
- alakzatok
- körvonalrajzzal körülvett csoportja



Layout primitívek: egyszerű alakzatok



Aktív zóna (ablaknyitó maszk a vékony oxidnak)



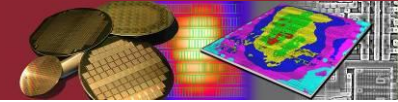
Gate (poli-Si mintázat maszkja)



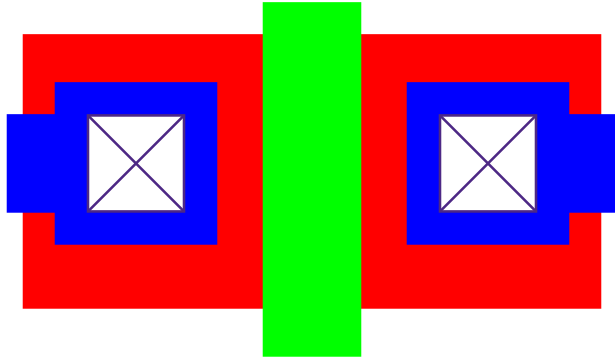
Kontaktusok (ablaknyitó maszk az oxidon)



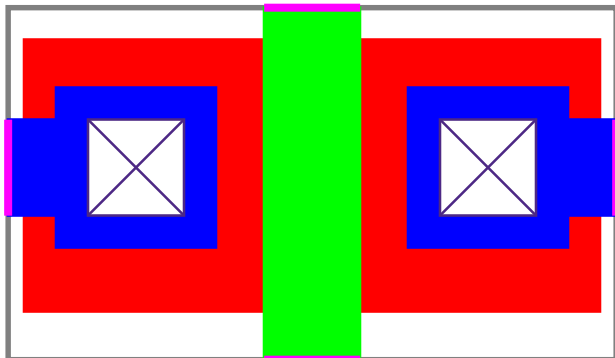
S/D kivezetések (fémezés mintázat maszkja)



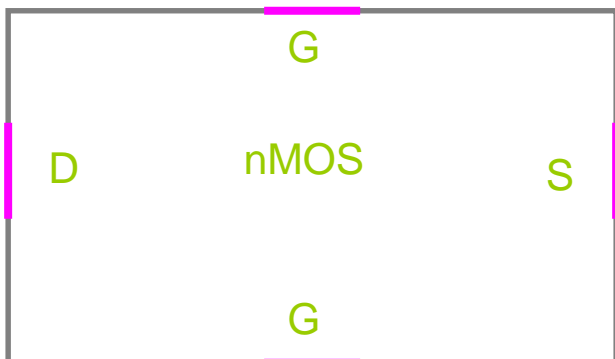
Layout makrok - primitívekből



nMOS tranzisztor layout rajza: *layout primitívek*
 tényleges maszkoknak megfelelő rétegeken

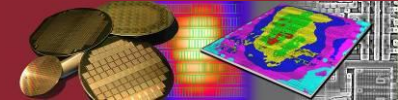


nMOS tranzisztor layout rajza + körvonalrajz + pinek

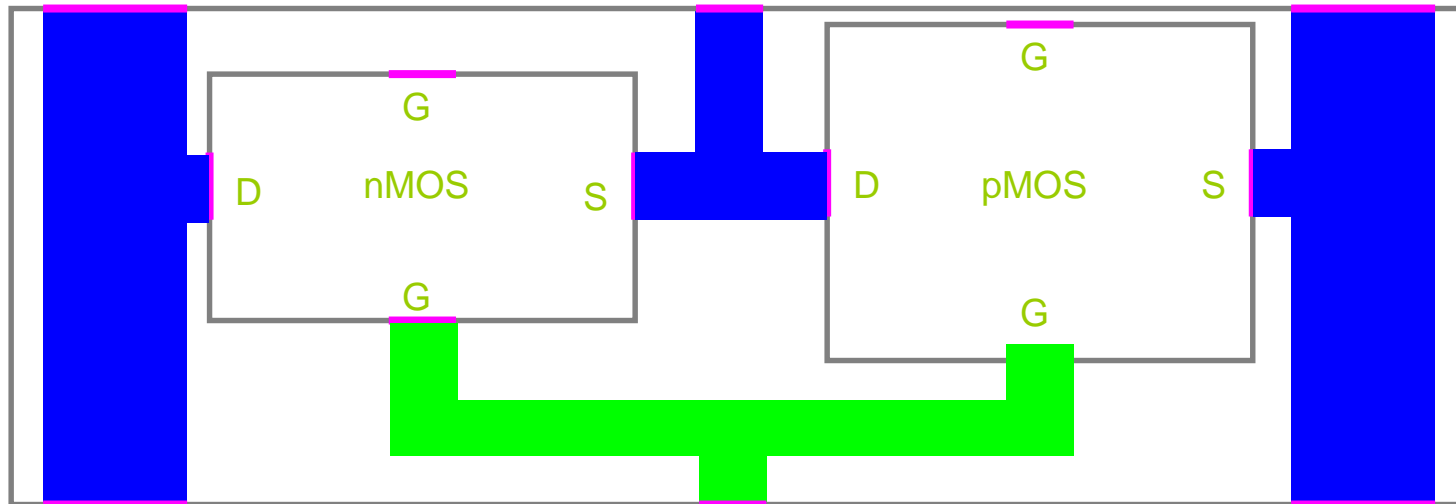


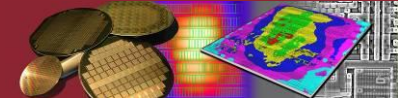
nMOS tranzisztor makro:

körvonalrajz, *pin*ek rajza, feliratok: *pszeudo*
rétegeken

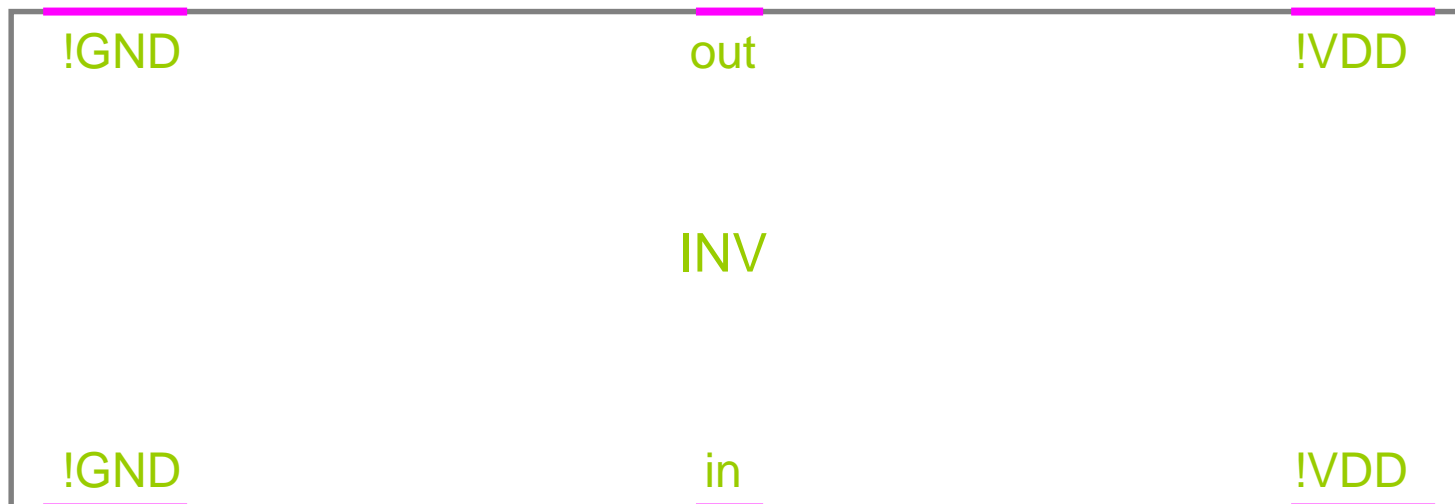


Layout makrok - makrokból és primitívekből

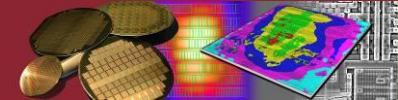




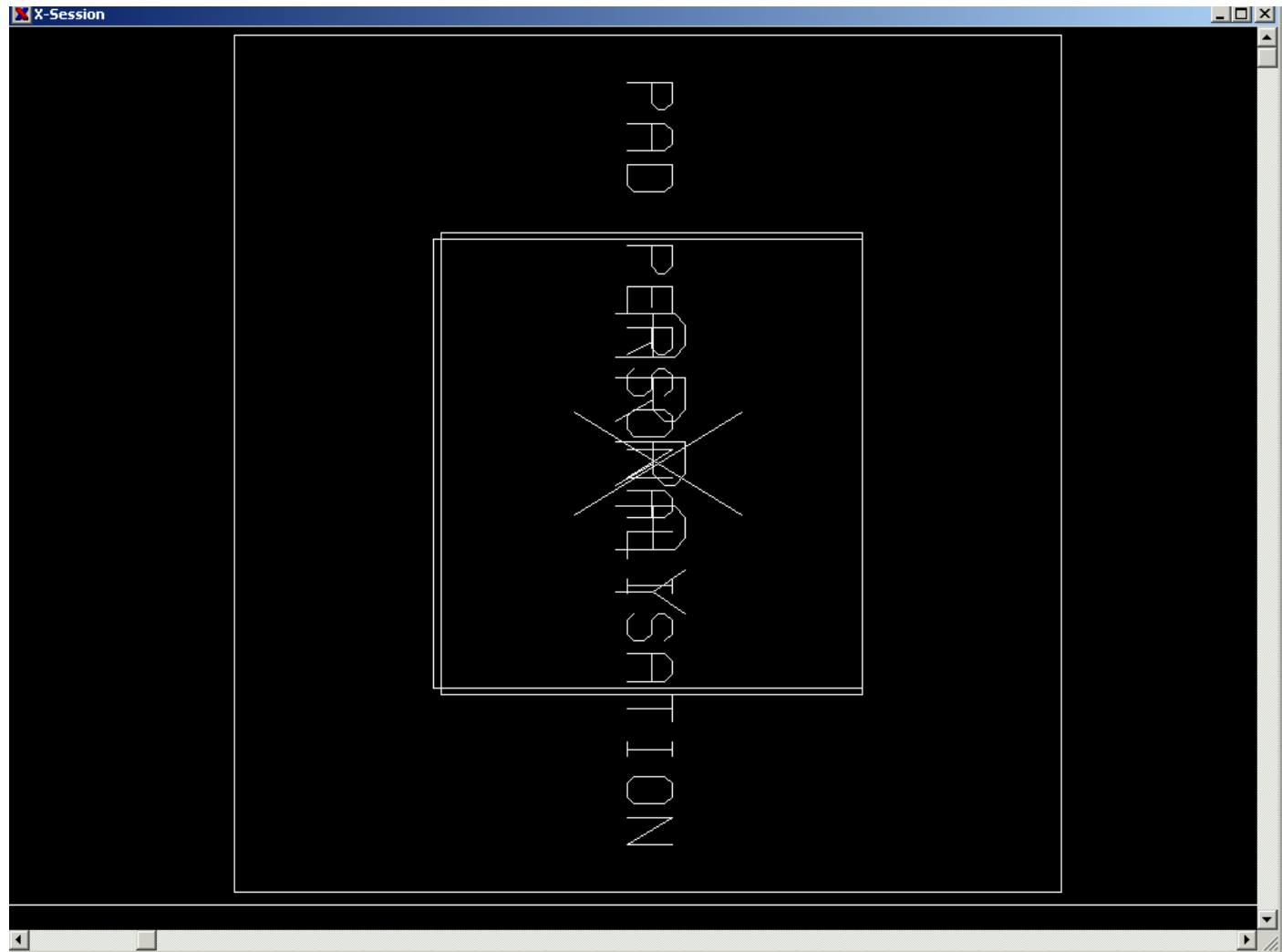
Layout makrok - makrokból és primitívekből



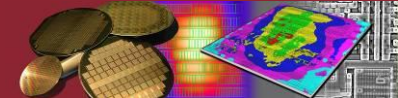
- ▶ Ez is tehát egy hierarchikus leírás. A kifejtés eredménye a hivatkozott makrok és primitívek behelyettesítésével előálló, csak layout primitíveket tartalmazó leírás.
- ▶ A pszeudó rétegeken lévő információt a végén elhagyjuk belőle.



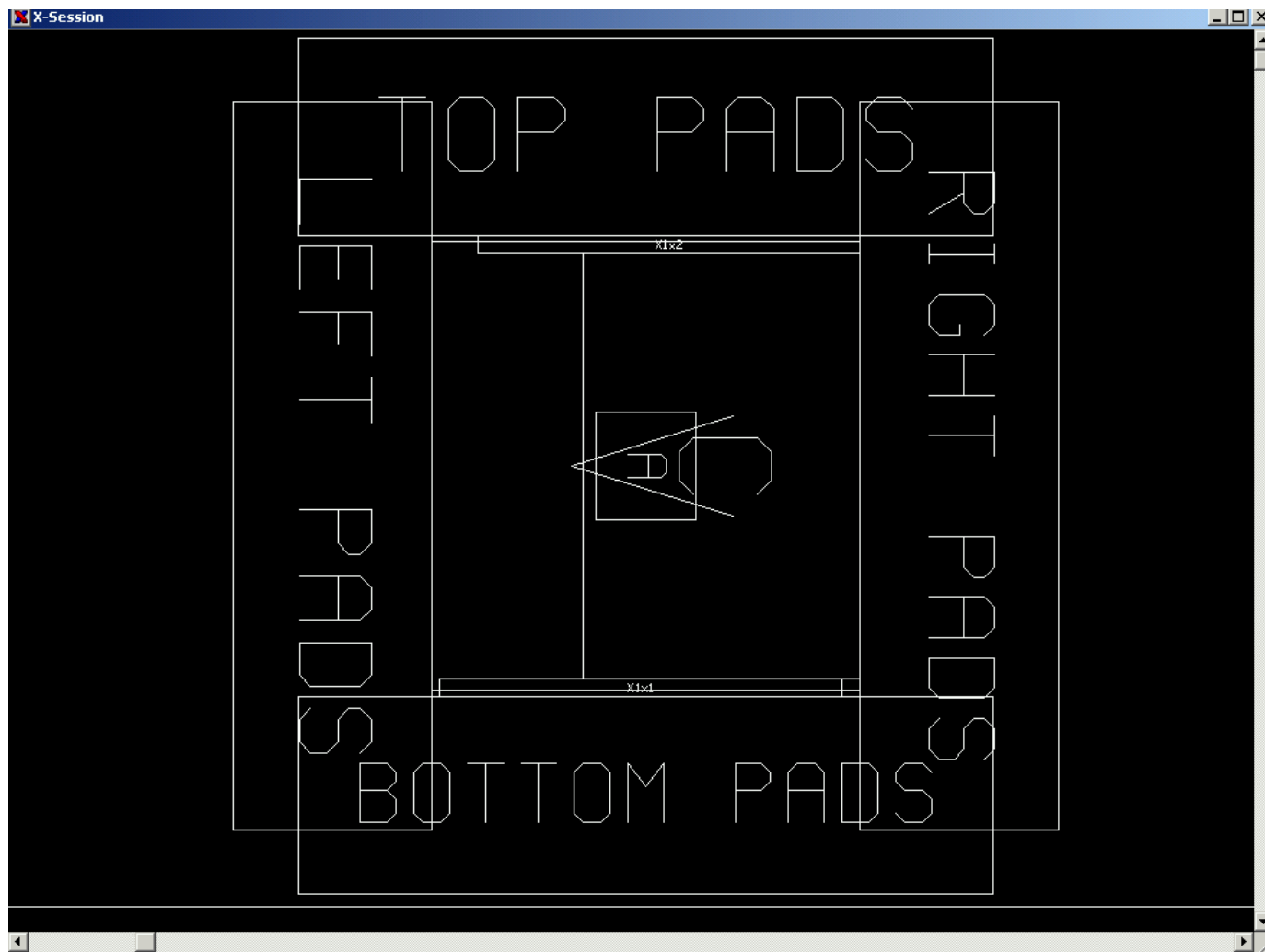
Layout makrok - egyre jobban kifejtve...



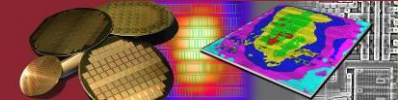
Level 1: két makrohívás (áramkörü mag, tappancsgyűrű)



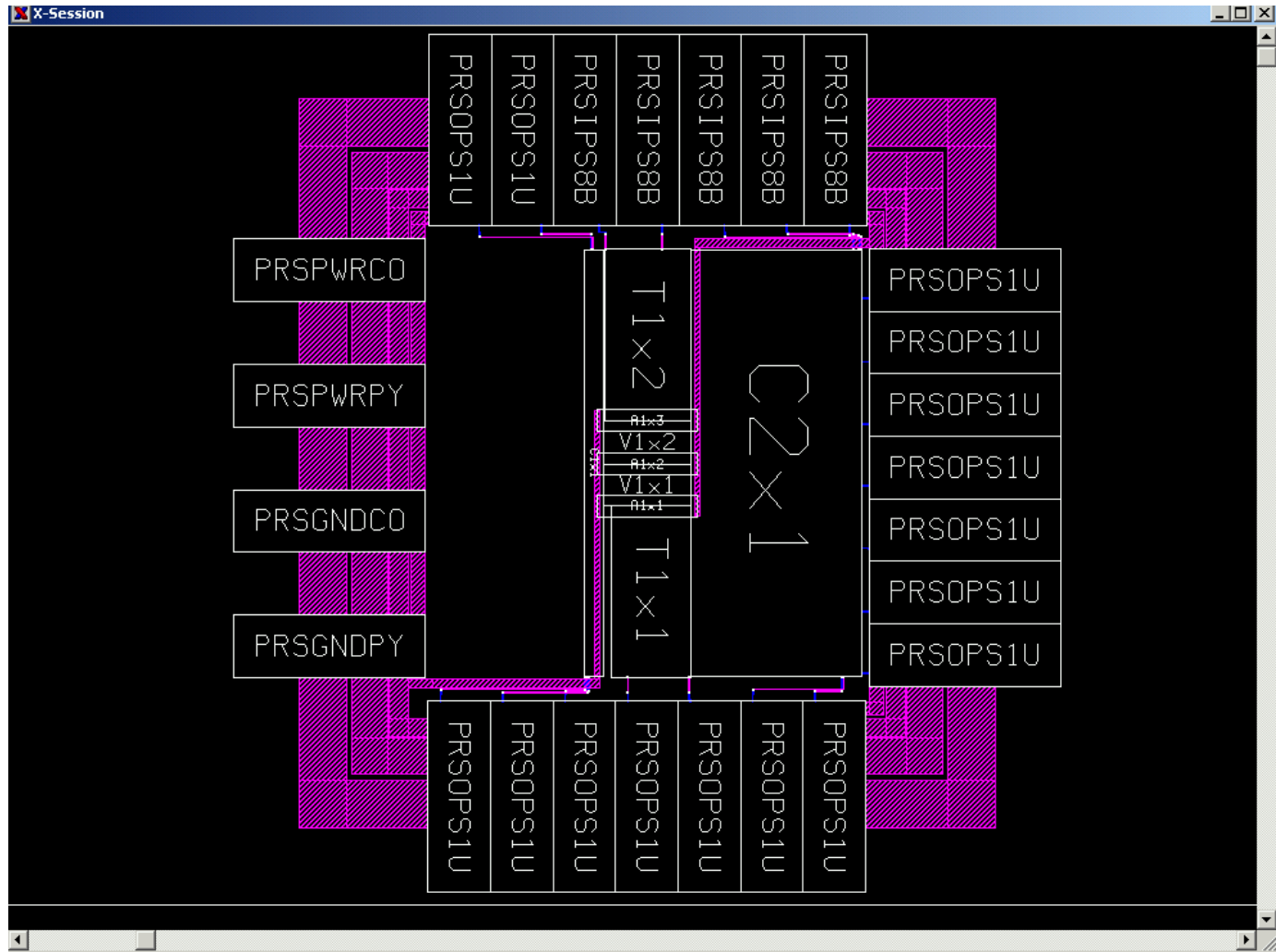
Layout makrok - egyre jobban kifejtve...



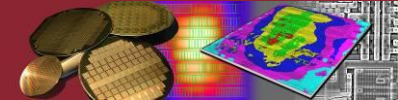
Level 2: tappancsgyűrű részekre osztva



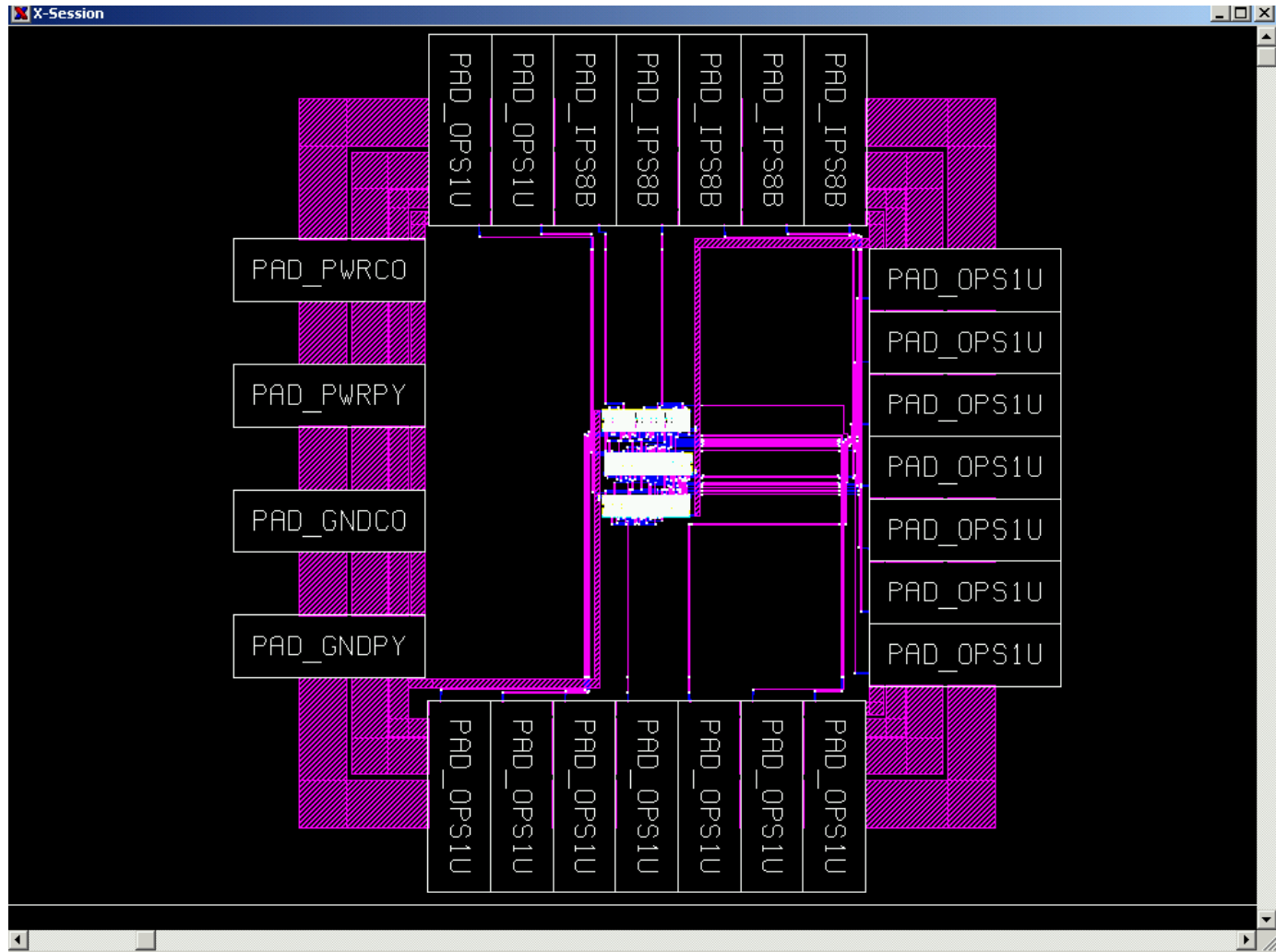
Layout makrok - egyre jobban kifejtve...



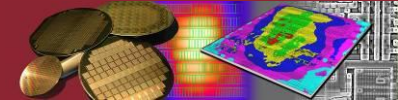
Level 3: tappancsgyűrű tovább osztva, huzalozási csatornák, cellasorok



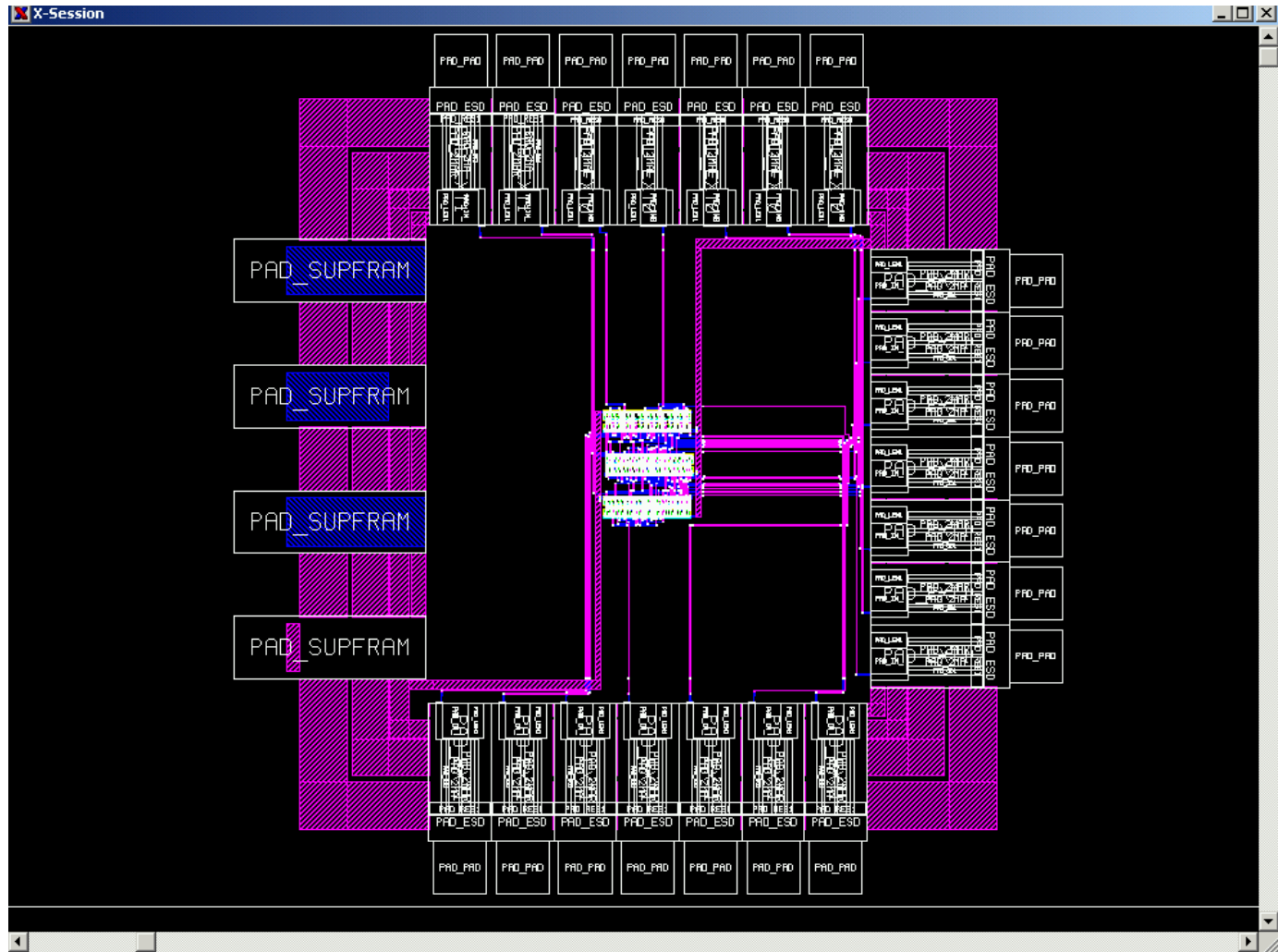
Layout makrok - egyre jobban kifejtve...

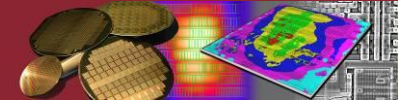


Level 4: tapapancs cellák és standard cellák makrohívásai

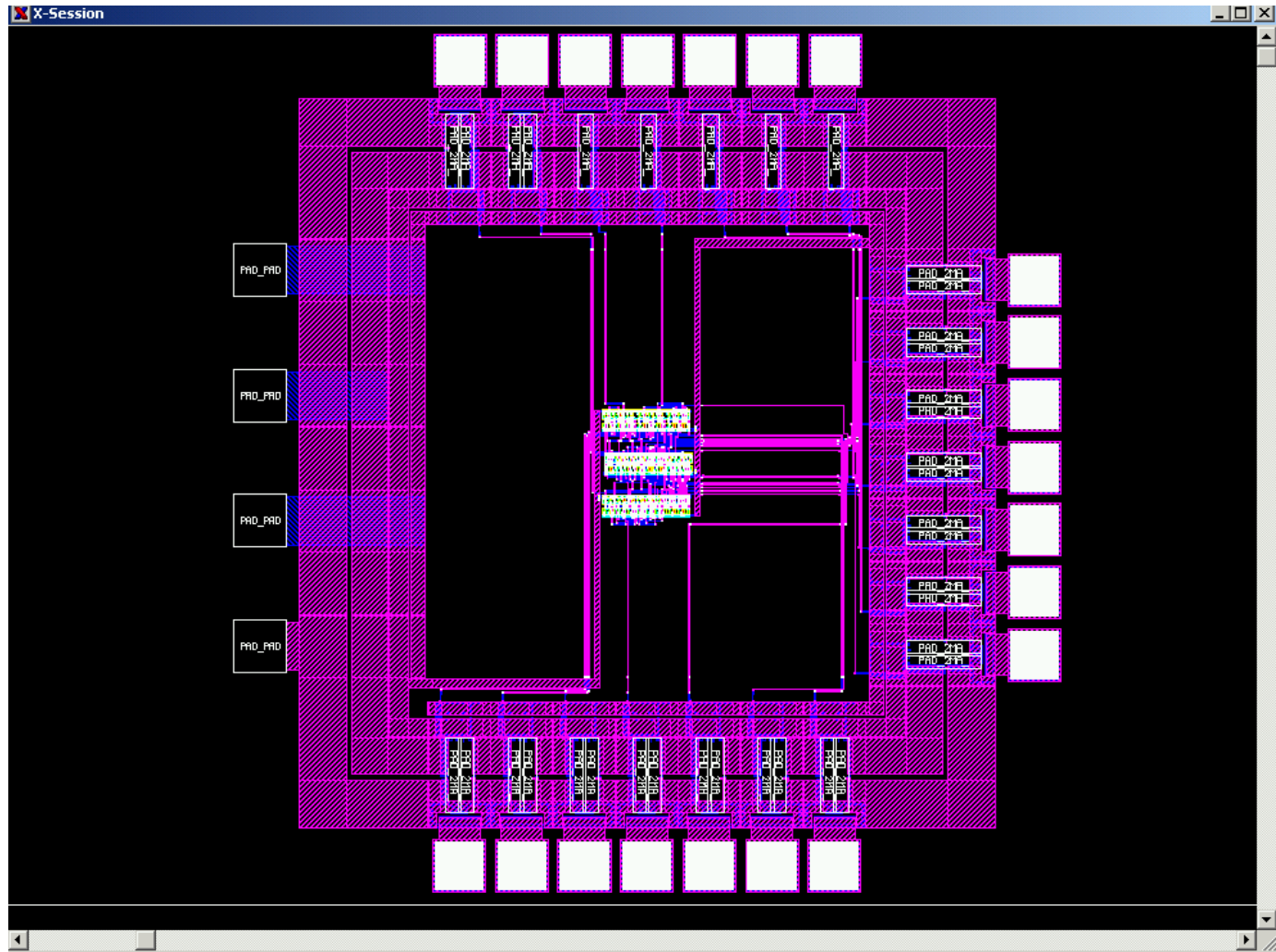


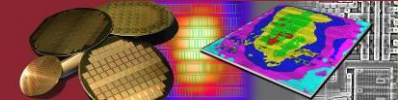
Layout makrok - egyre jobban kifejtve...



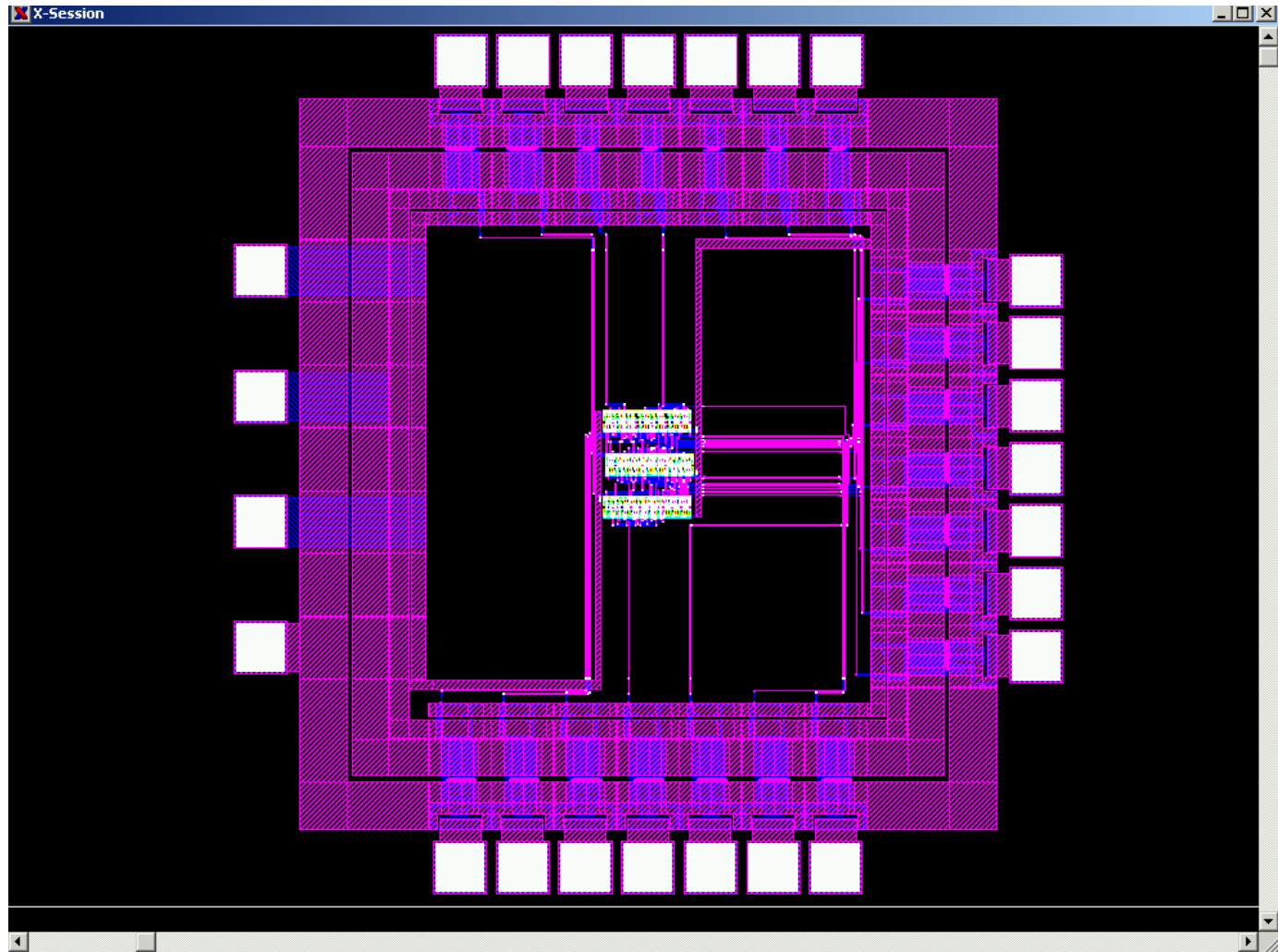


Layout makrok - egyre jobban kifejtve...

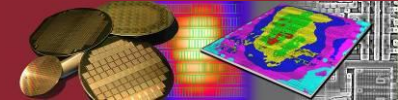




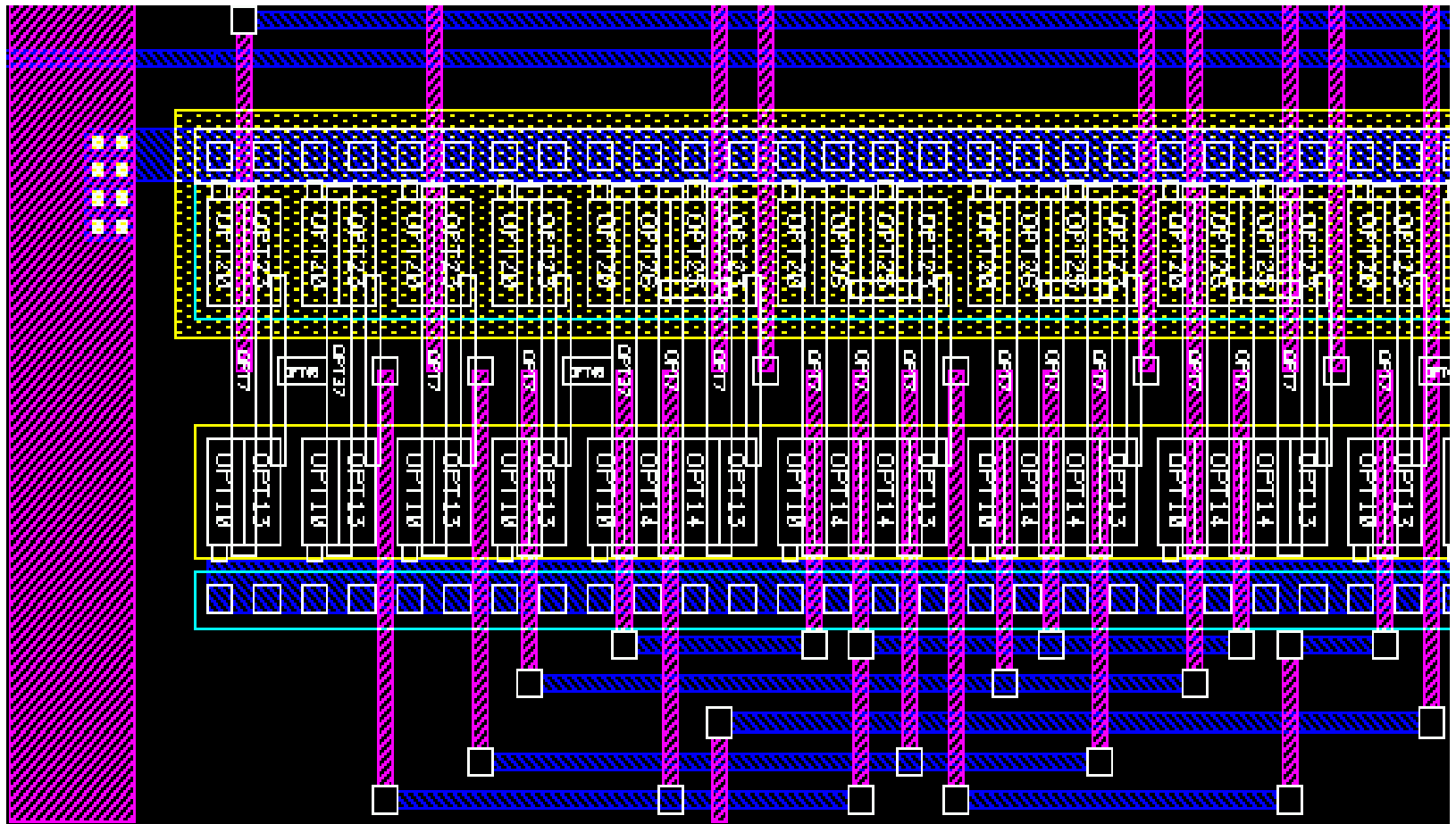
Layout makrok - egyre jobban kifejtve...



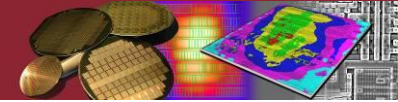
Level 7: teljesen kifejtett makrok



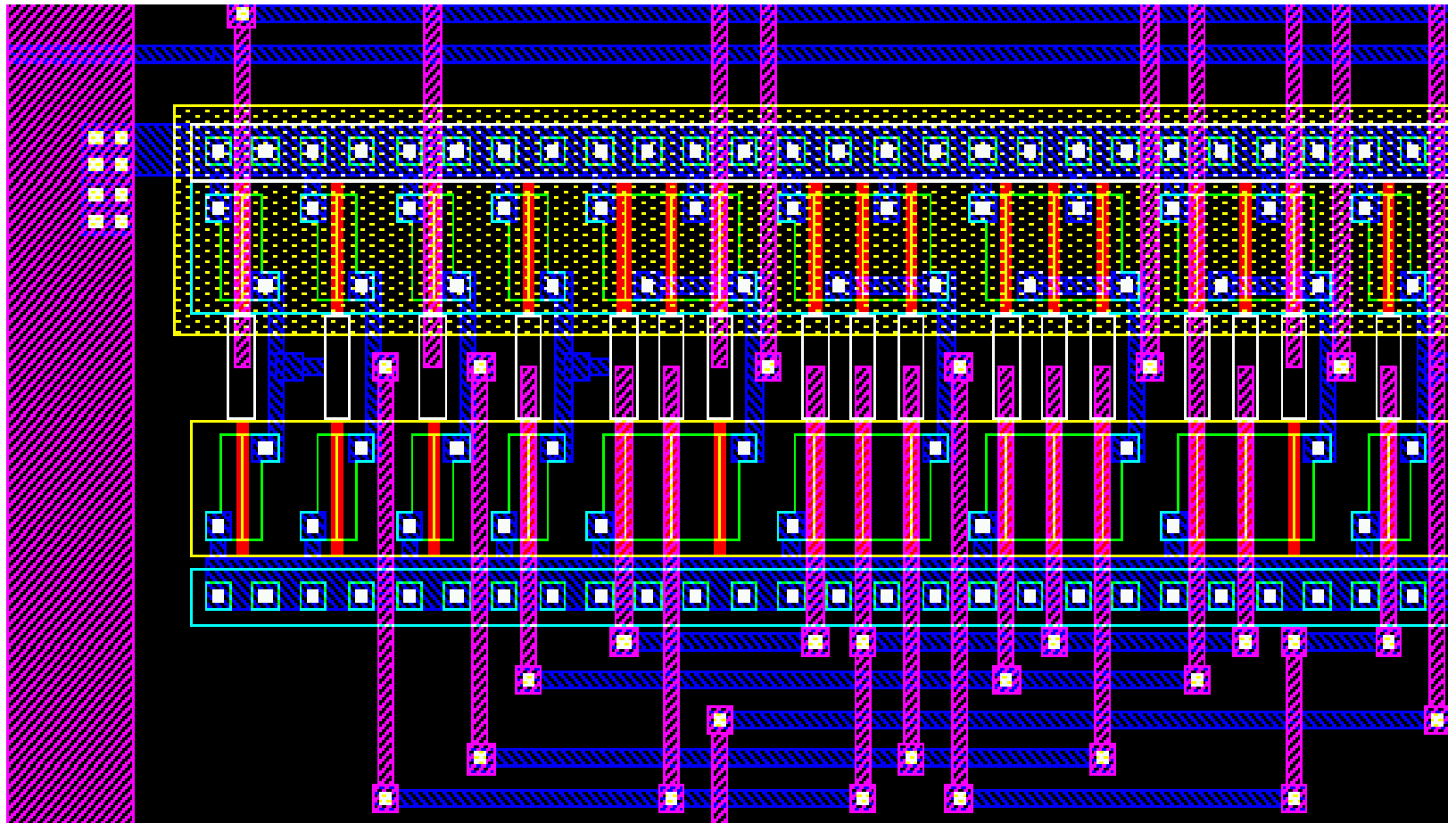
Layout makrok - egyre jobban kifejtve...



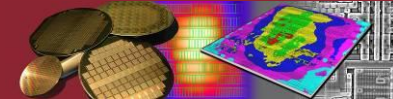
Level 4: tranzisztorok, kontaktusok még makrohívással



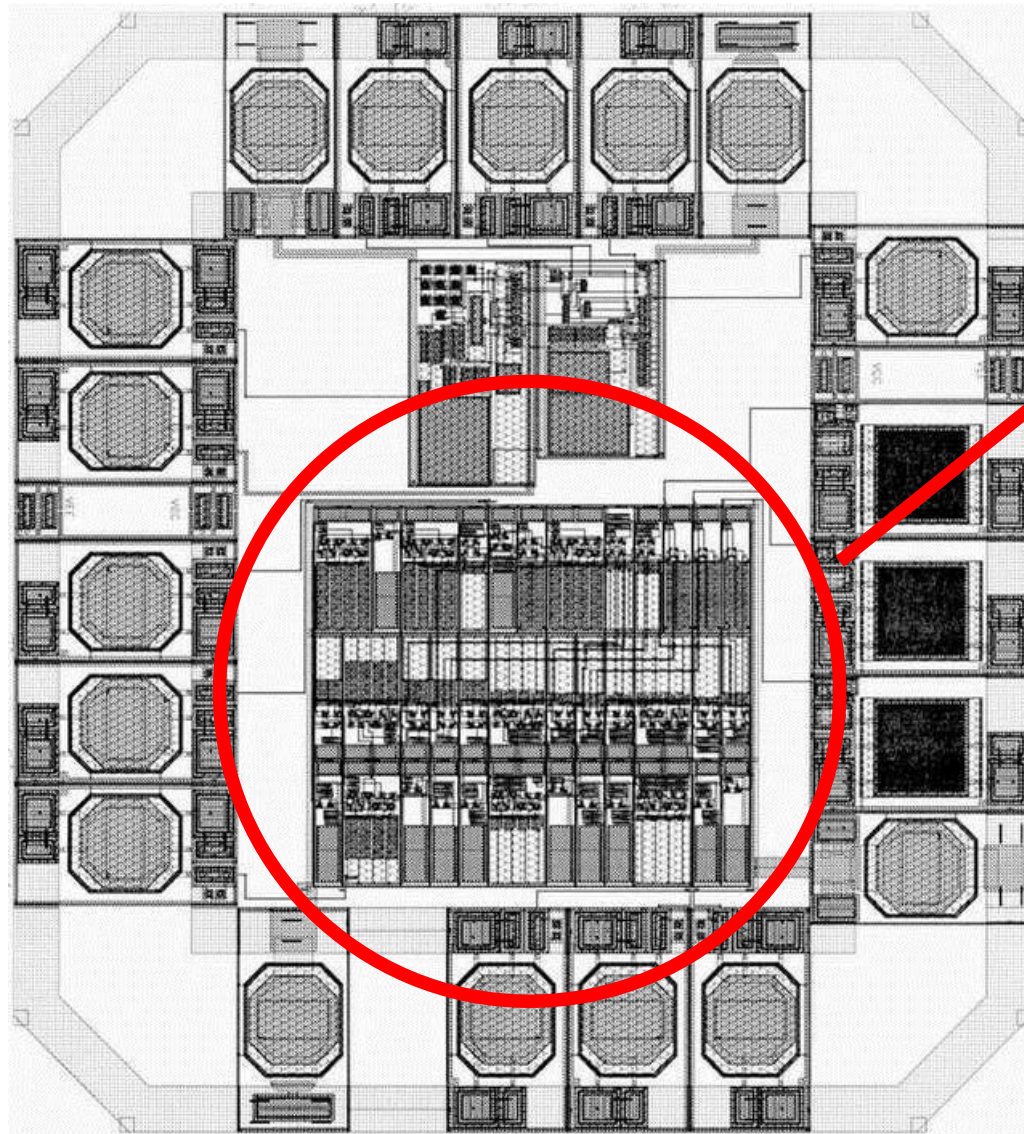
Layout makrok - egyre jobban kifejtve...



Level 6: standard cellák, kontaktusok teljesen kifejtve



Egy frekvenciaosztó integrált áramkör layout terve

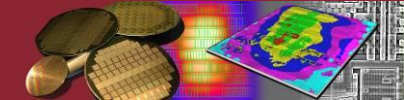


**Frekvenciaosztó
áramkör**

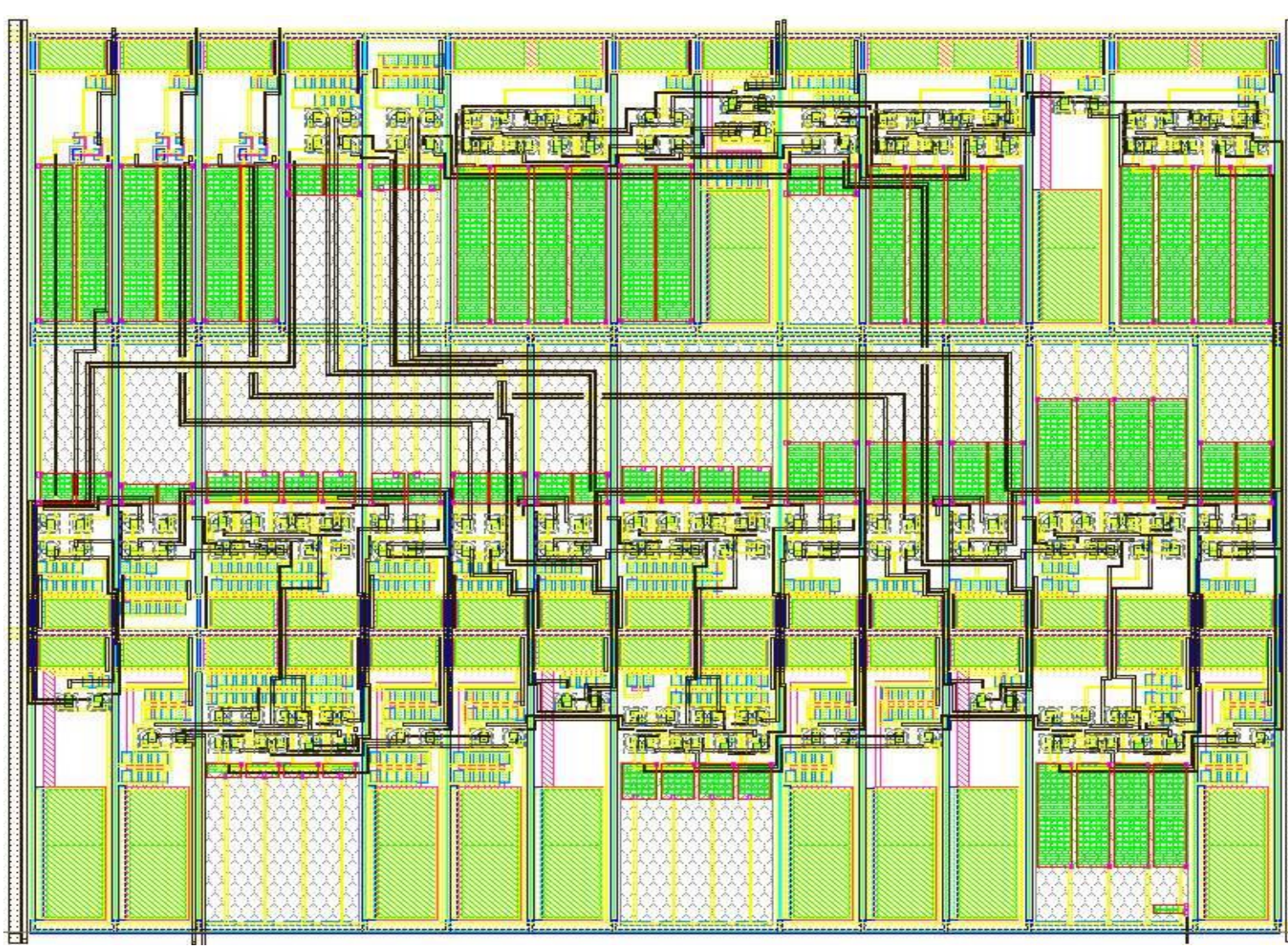
$1175\mu\text{m}$

$1080\mu\text{m}$

$1080\mu\text{m}$

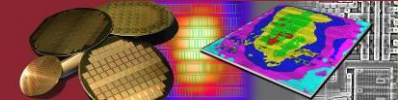


A core layout terv

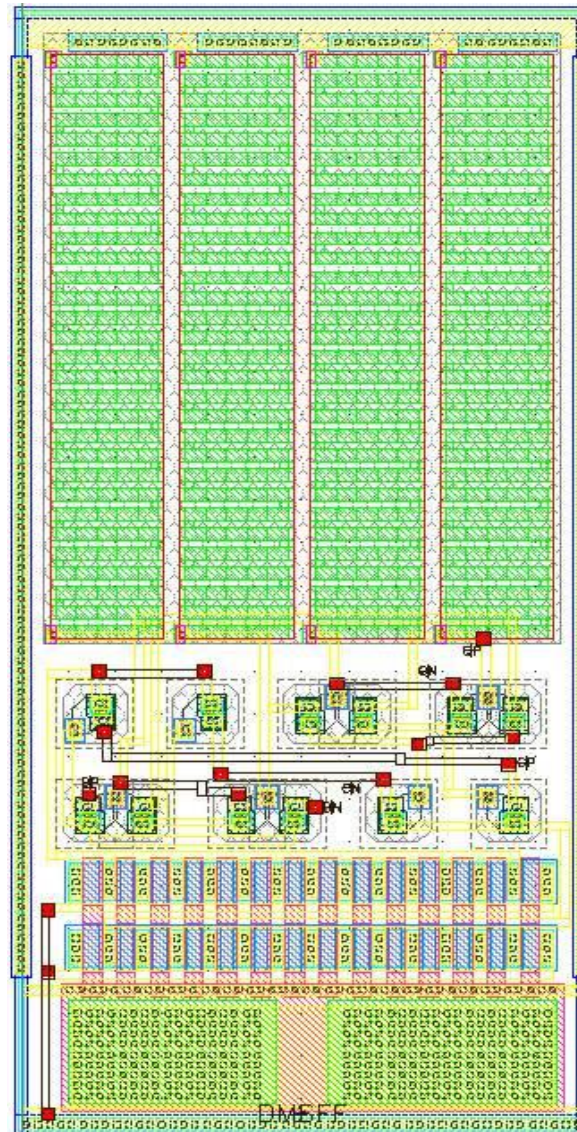


392 μm

450 μm



A standard cella felépítése és layout terve



Ellenállások



**Bipoláris
tranzisztorok**

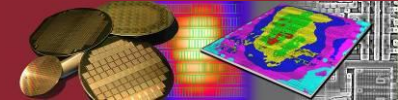


Áramgenerátorok



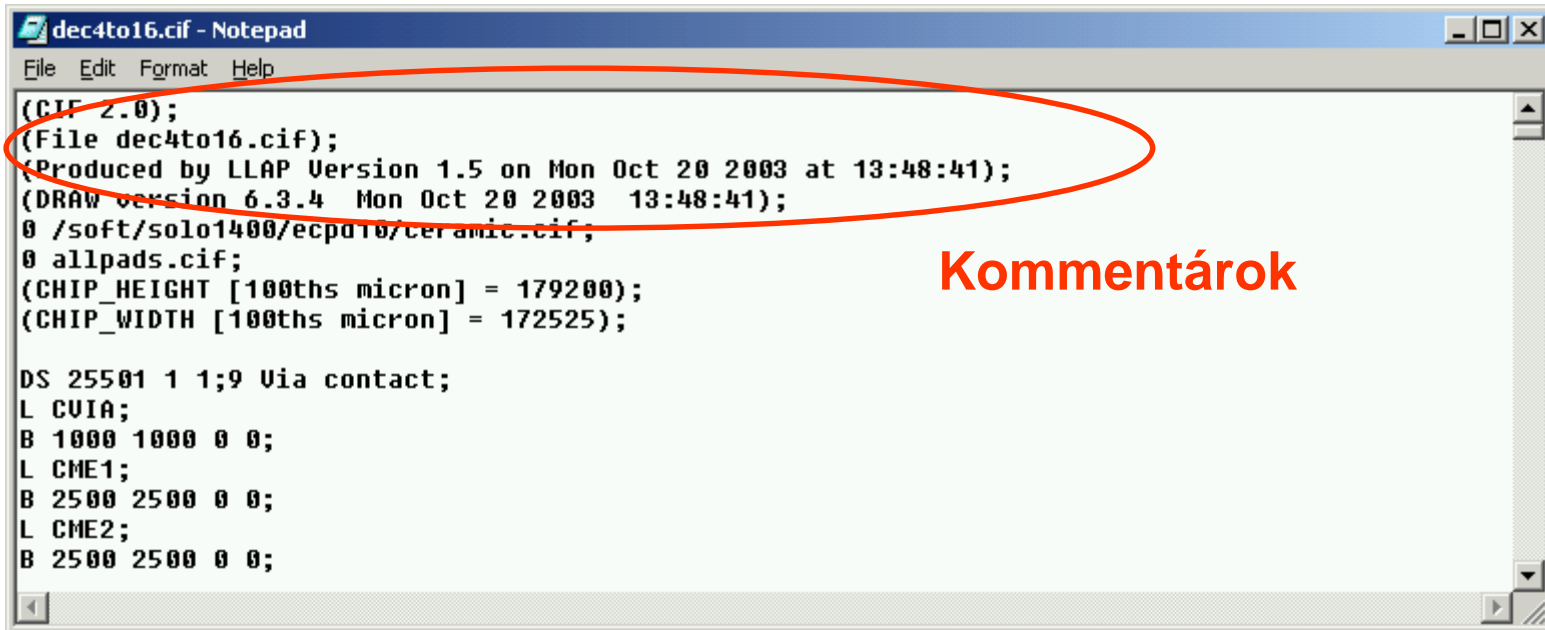
Kondenzátorok





Egy layout leíró file

► CIF példa



```

dec4to16.cif - Notepad
File Edit Format Help
(CIF 2.0);
(File dec4to16.cif);
(Produced by LLAP Version 1.5 on Mon Oct 20 2003 at 13:48:41);
(DRAW version 6.3.4 Mon Oct 20 2003 13:48:41);
0 /soft/solo1400/ecpd10/ceramic.cif;
0 allpads.cif;
(CHIP_HEIGHT [100ths micron] = 179200);
(CHIP_WIDTH [100ths micron] = 172525);

DS 25501 1 1;9 Via contact;
L CVIA;
B 1000 1000 0 0;
L CME1;
B 2500 2500 0 0;
L CME2;
B 2500 2500 0 0;
    
```

Kommentárok



Egy layout leíró file

► CIF példa

```

dec4to16.cif - Notepad
File Edit Format Help
(CIF 2.0);
(File dec4to16.cif);
(Produced by LLAP Version 1.5 on Mon Oct 20 2003 at 13:48:41);
(DRAW version 6.3.4 Mon Oct 20 2003 13:48:41);
0 /soft/solo1400/ecpd10/ceramic.cif;
0 allpads.cif;
(CHIP_HEIGHT [100ths micron] = 179200);
(CHIP_WIDTH [100ths micron] = 172525);

DS 25501 1 1;9 Via contact;
L CVIA;
B 1000 1000 0 0;
L CME1;
B 2500 2500 0 0;
L CME2;
B 2500 2500 0 0;
  
```

Include állományok



Egy layout leíró file

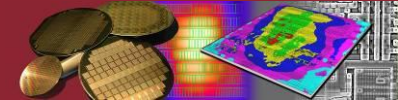
► CIF példa

```

dec4to16.cif - Notepad
File Edit Format Help
(CIF 2.0);
(File dec4to16.cif);
(Produced by LLAP Version 1.5 on Mon Oct 20 2003 at 13:48:41);
(DRAW version 6.3.4 Mon Oct 20 2003 13:48:41);
0 /soft/solo1400/ecpd10/ceramic.cif;
0 allpads.cif;
(CHIP_HEIGHT [100ths micron] = 179200);
(CHIP_WIDTH [100ths micron] = 172525);

DS 25501 1 1;9 01a contact;
L CVIA;
B 1000 1000 0 0;
L CME1;
B 2500 2500 0 0;
L CME2;
B 2500 2500 0 0;
    
```

Egység: 0.01 micron



Egy layout leíró file

► CIF példa

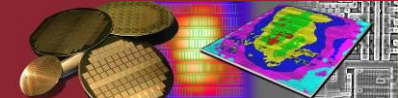
```

dec4to16.cif - Notepad
File Edit Format Help
(CIF 2.0);
(File dec4to16.cif);
(Produced by LLAP Version 1.5 on Mon Oct 20 2003 at 13:48:41);
(DRAW version 6.3.4 Mon Oct 20 2003 13:48:41);
0 /soft/solo1400/ecpd10/ceramic.cif;
0 allpads.cif;
(CHIP_HEIGHT [100ths micron] = 179200);
(CHIP_WIDTH [100ths micron] = 172525);

DS 25501 1 1,9 Via contact;
L CUIA;
B 1000 1000 0 0;
L CME1;
B 2500 2500 0 0;
L CME2;
B 2500 2500 0 0;
    
```

Alakzat megadása:

L - layer



Egy layout leíró file

► CIF példa

```

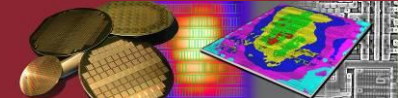
dec4to16.cif - Notepad
File Edit Format Help
L CME2;
P -168500 92000 -10500 92000 -10500 92000 -9000 92000 -9000 168500
-87000 168500 -87000 168500 -168500 168500 -168500 92000;
L CME2;
P -279000 180000 -10500 180000 -10500 180000 -9000 180000 -9000 279000
-109500 279000 -109500 279000 -279000 279000 -279000 180000;
L CME2;
P 904500 45000 904500 16500 906000 16500 906000 16500 942250 16500
942250 45000 934500 45000 934500 45000 904500 45000;
L CME2;
P 904500 89000 904500 51000 906000 51000 906000 51000 986250 51000
986250 89000 944000 89000 944000 89000 904500 89000;
L CME2;
P 904500 168500 904500 92000 906000 92000 906000 92000 1065750 92000
1065750 168500 982500 168500 982500 168500 904500 168500;
L CME2;

```

Alakzat megadása:

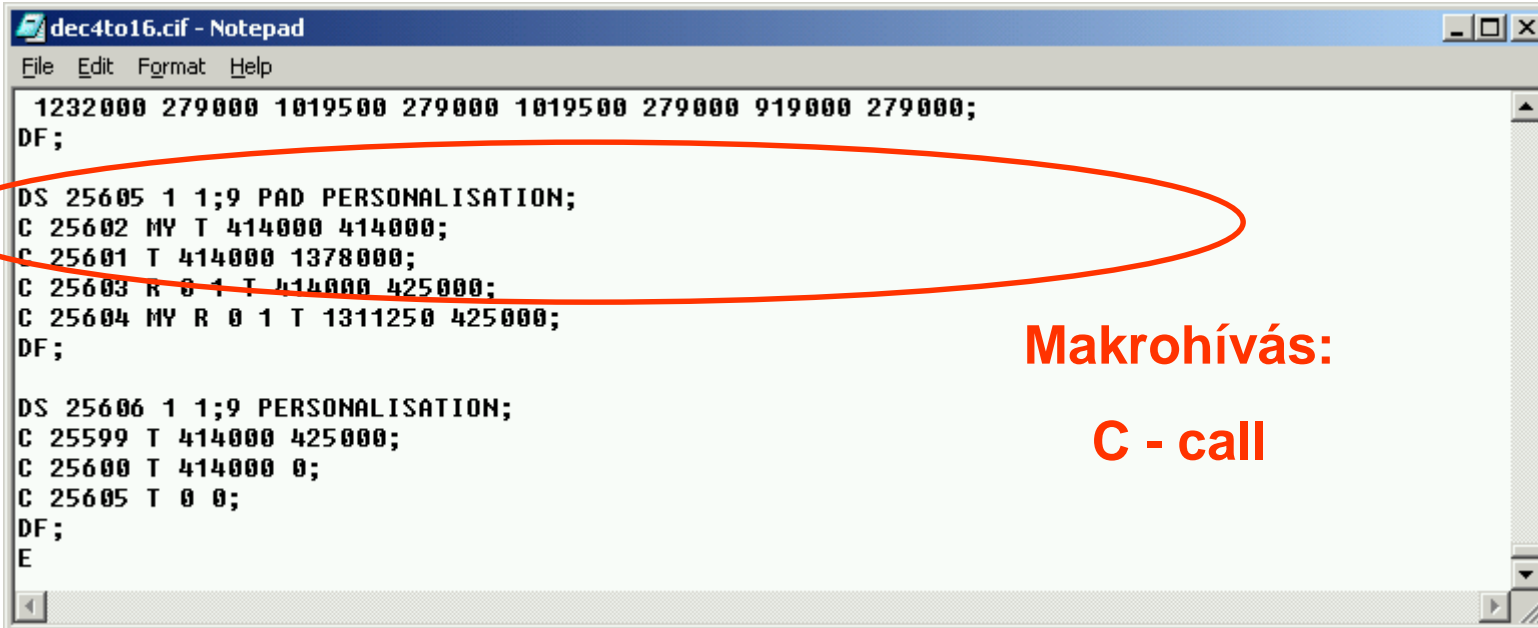
L - layer

P - poligon



Egy layout leíró file

► CIF példa



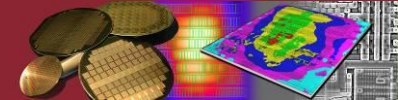
```

dec4to16.cif - Notepad
File Edit Format Help
1232000 279000 1019500 279000 1019500 279000 919000 279000;
DF;
DS 25605 1 1;9 PAD PERSONALISATION;
C 25602 MY T 414000 414000;
C 25601 T 414000 1378000;
C 25603 R 0 1 T 414000 425000;
C 25604 MY R 0 1 T 1311250 425000;
DF;
DS 25606 1 1;9 PERSONALISATION;
C 25599 T 414000 425000;
C 25600 T 414000 0;
C 25605 T 0 0;
DF;
E
  
```

Makrohívás:

C - call

► Nehezen áttekinthető. Olvashatóbb nyelvi példa: GAELIC



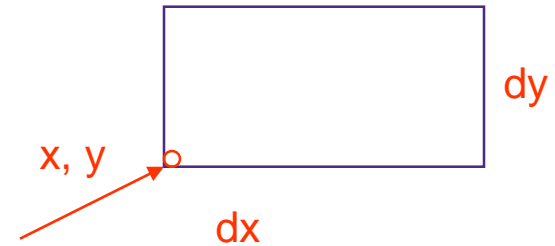
GAELIC layout leírás - primitívek

- ▶ File kezdete: háttérrács megadása

```
UNITS=MICRONS, GRID=1.0;
```

- ▶ RECT - téglalap:

```
RECT(layer_number) x,y:dx,dy;
```



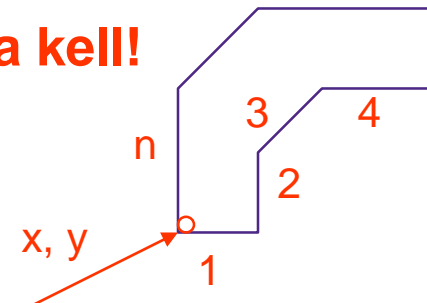
- ▶ POLY - tetszőleges poligon, hosszú (long) forma:

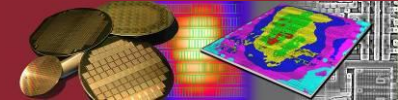
```
POLY(layer_number) L, x,y:dx1,dy1,dx2,dy2,... dxn,dyn;
```

Záródnia kell!

Ha ortogonális a poligon, akkor minden második elem 0:

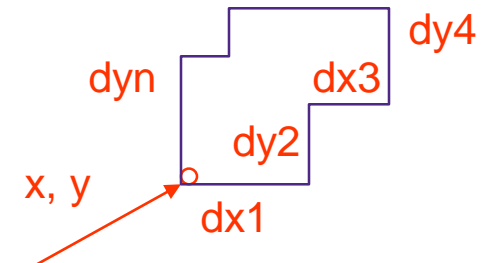
short formátum





GAELIC layout leírás - primitívek

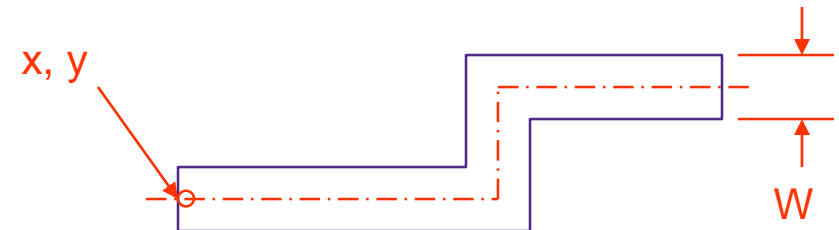
- ▶ POLY - ortogonális poligon, rövid (short) forma:



```
POLY (layer_number) S, x, y: dx1, dy2, dx3, dy4, ..., dyn;
```

- ▶ TRACK - csík (short/long formátum):

W páros kell legyen



```
TRACK (layer_number) W, S, x, y: dx1, dy2, dx3, dy4, ..., dyn;
```



GAELIC layout leírás - makrok

▶ Group definiálás

```
NEWGROUP név;  
...  
ENDGROUP;
```



Primitívek vagy korábbi group-ok hívása



Makrohierarchia

▶ Group “példányosítás” (hívás)

```
GROUP név, x, y, transzformáció;
```

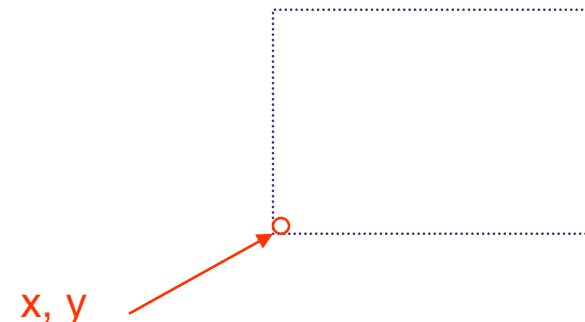
Transzformáció:

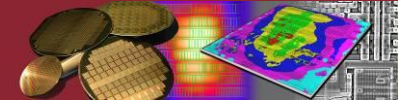
x tengelyre tükrözés: **X**

y tengelyre tükrözés: **Y**

forgatás 90 fokkal balra: **R**

```
GROUP inv 100, 200, XR;
```

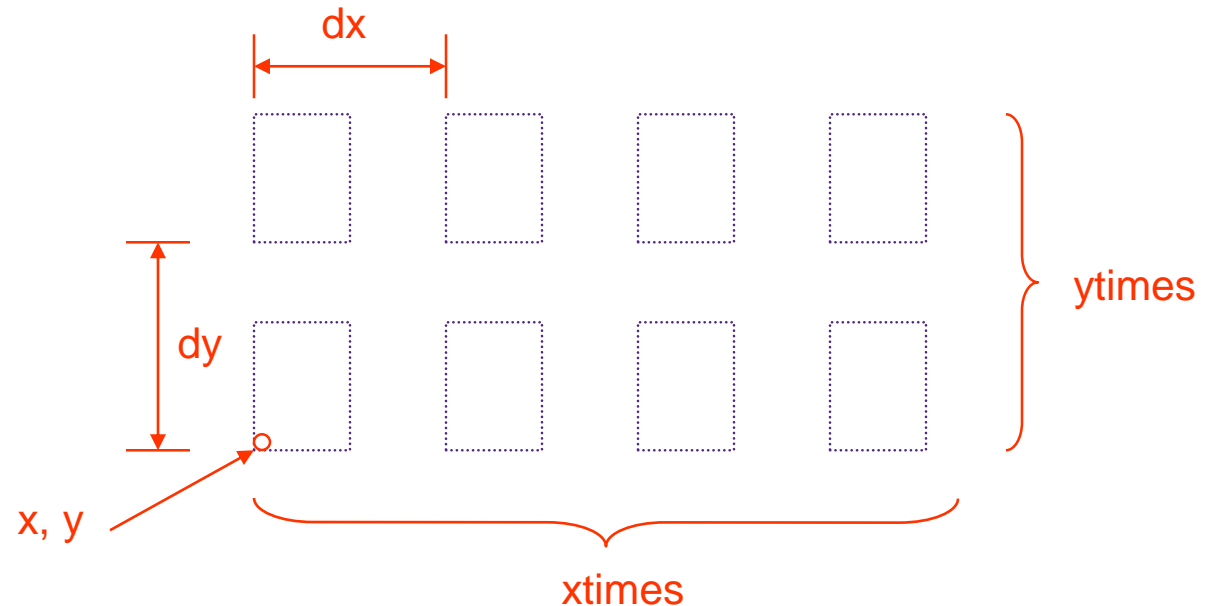




GAELIC layout leírás - makrok

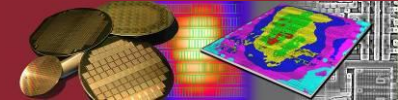
- ▶ Group “példányosítás” (hívás) ismétléssel

```
GROUP név, x, y, transformáció, X, xtimes, dx, Y, ytimes, dy;
```



```
GROUP DFF 100,200,0,X,4,20,Y,2,15;
```

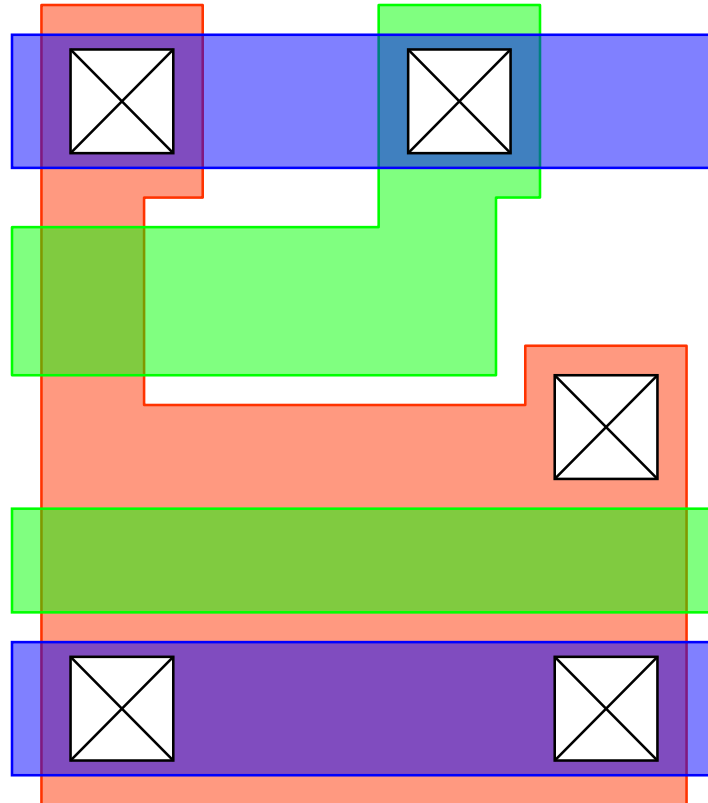
Az ismétlési lehetőség kihasználásával egyszerűen tudunk reguláris layoutot kialakítani.



GAELIC layout leírás

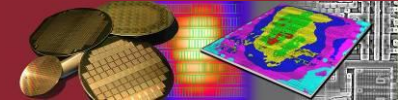
▶ Állomány vége

FINISH;



```

UNITS=MICRONS, GRID=1.0;
NEWGROUP INVER;
POLY(1) S,4,4:48,40,-16,-8,-24,32,8,16,-16,80;
RECT(3) 0,20:56,8;
POLY(3) S,0,40:32,28,8,16,-16,-20,-24,-24;
....
RECT(5) 0,6:56,10;
RECT(5) 0,70:56,10;
ENDGROUP;
....
GROUP INVER,10,10,0;
....
FINISH;
    
```



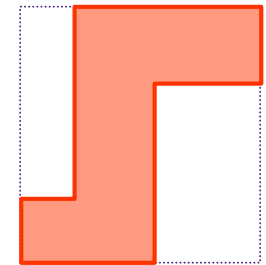
Az alakzatok belső reprezentációja

▶ Csúcspont koordinátás (kontúros) leírás

- Probléma a többszörösen öf. alakzat, mert az több kontúrt jelent. Sokszor felhasítják

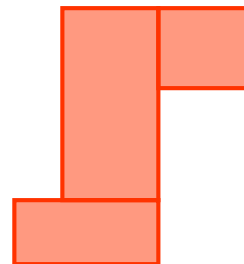


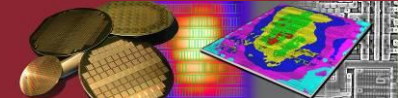
- Érdeemes tárolni a befoglaló téglalapot és a speciális jelleget (pl. ort.poligon)



▶ Lefedő alakzatos tárolás

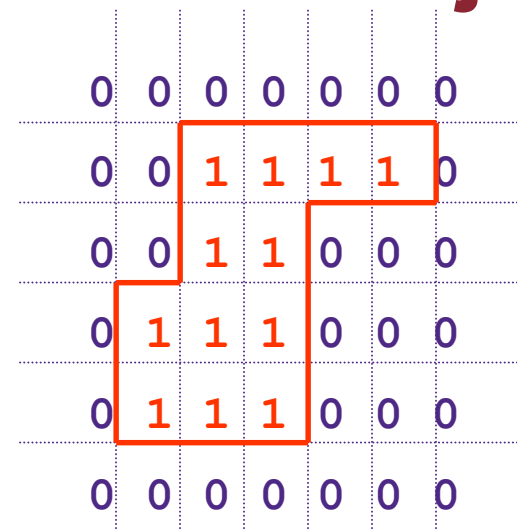
(téglalap, trapéz)



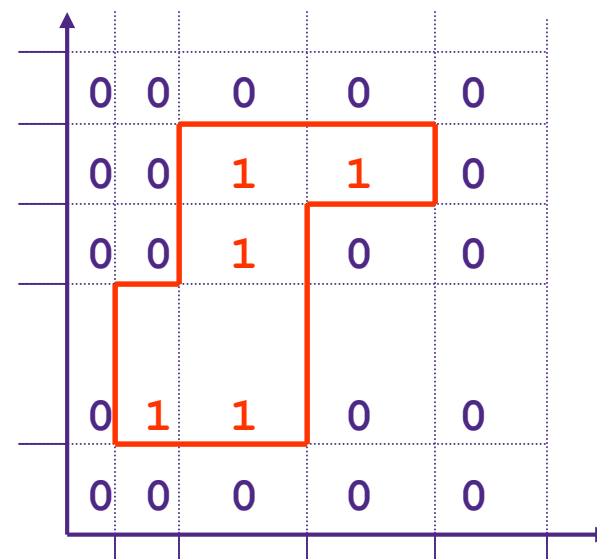


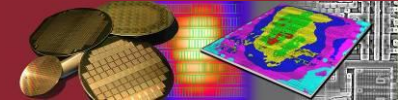
Az alakzatok belső reprezentációja

► Bittérképes leírás (bit-map)



► Lényegi koordinátás bittérkép (variable grid)





Műveletek

► Logikai műveletek

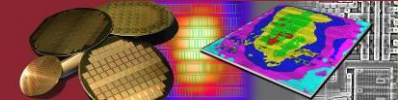
`NEW_LAYER = LAYER1 AND LAYER2`

`NEW_LAYER = LAYER1 OR LAYER2`

stb.

- Bittérképes ábrázolás esetén könnyű megvalósítani.
- Mire jók?
 - Pl. layout-visszafejtésnél ún. felismerő rétegek létrehozása

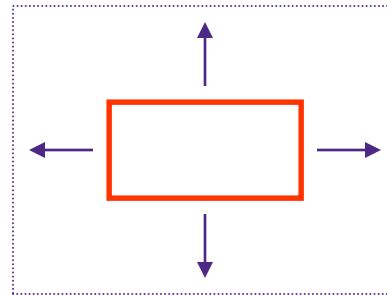
`GATE = ACTIVE AND POLY`



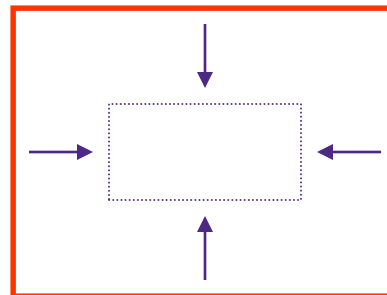
Műveletek

▶ Geometriai műveletek - pl. méretváltoztatás

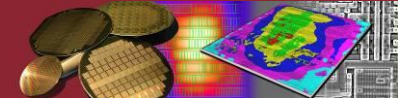
■ Hízlalás



■ Fogyasztás



- Gond a felhasított alakzatoknál
- Egymásnak csak bizonyos korlátokkal az inverzei

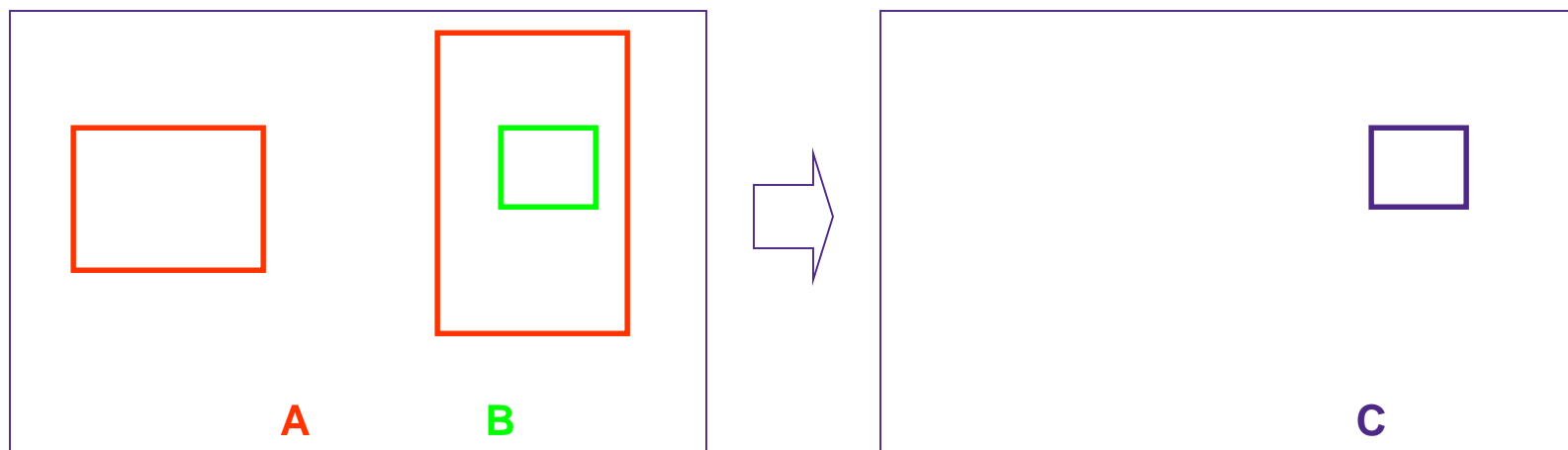


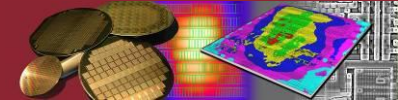
Műveletek

► Topológiai műveletek:

$$C = \text{CONTAIN}(A, B);$$

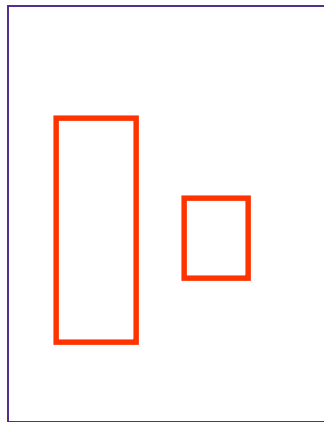
A C rétegre kerülnek a B réteg összes olyan alakzatai, amelyek A alakzataiba beleesnek



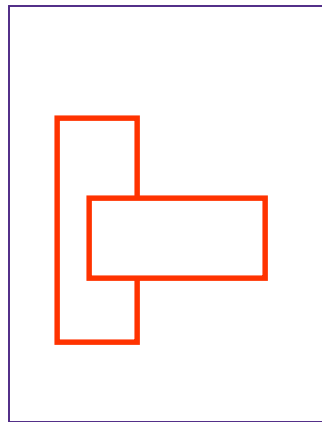


Műveletek

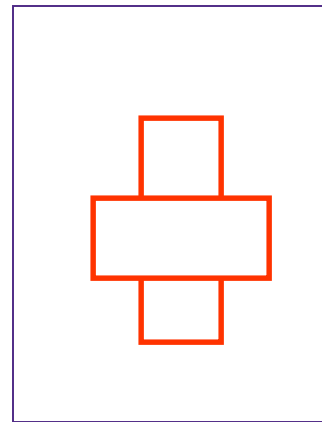
► Topológiai műveletek:



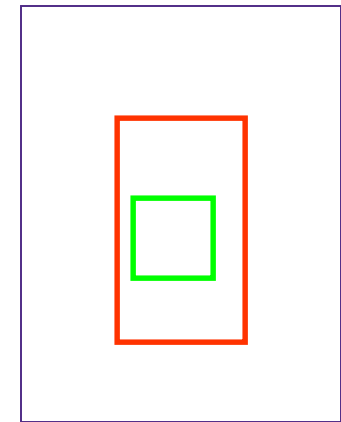
DISJUNCT



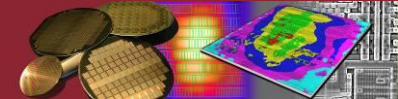
OVERLAP



INTERSECT



CONTAIN

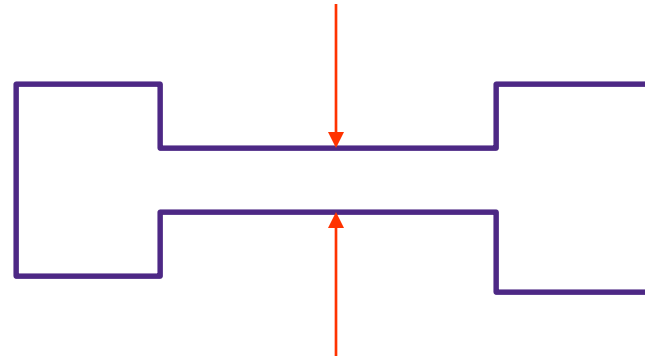


Műveletek

▶ Ellenőrző műveletek:

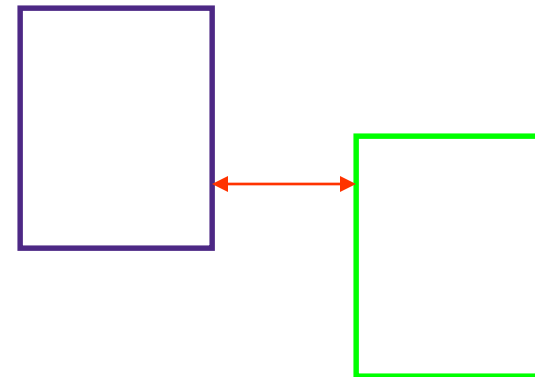
$$\text{WIDTH}(A) < 0.5$$

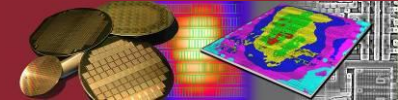
Az A réteg minden olyan alakzatát szolgáltatja, amely keskenyebb 0.5 egységnél



$$\text{SPACING}(A,B) < 0.5$$

Az A réteg minden olyan alakzatát szolgáltatja, amely keskenyebb 0.5 egységnél





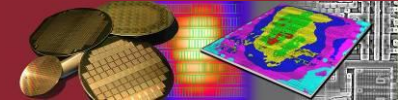
Fizikai ellenőrzés

► Design rule check (DRC)

- design rules
 - A gyártó által adott, technológiára jellemző szabályok
 - tipikusan „error” jellegű
- design for manufacturing (DFM) rules
 - A gyárthatóságra, kihozatalra vonatkozó szabályok, javaslatok, a gyártó adja
 - tipikusan „warning” jellegű

► Layout vs schematic (LVS)

- a layout visszafejtése kapcsolási rajzzá és összevetése az eredeti kapcsolási rajzzal.
- A parazita elemeket is visszafejti (back annotation)

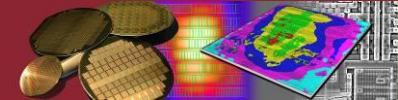


Az ellenőrző eszközök

- ▶ Hasonló feladatokat látnak el: geometriai alakzatok elemzése
- ▶ A bemenet minden esetben a layout geometriai leírása, a kimenet különbözik

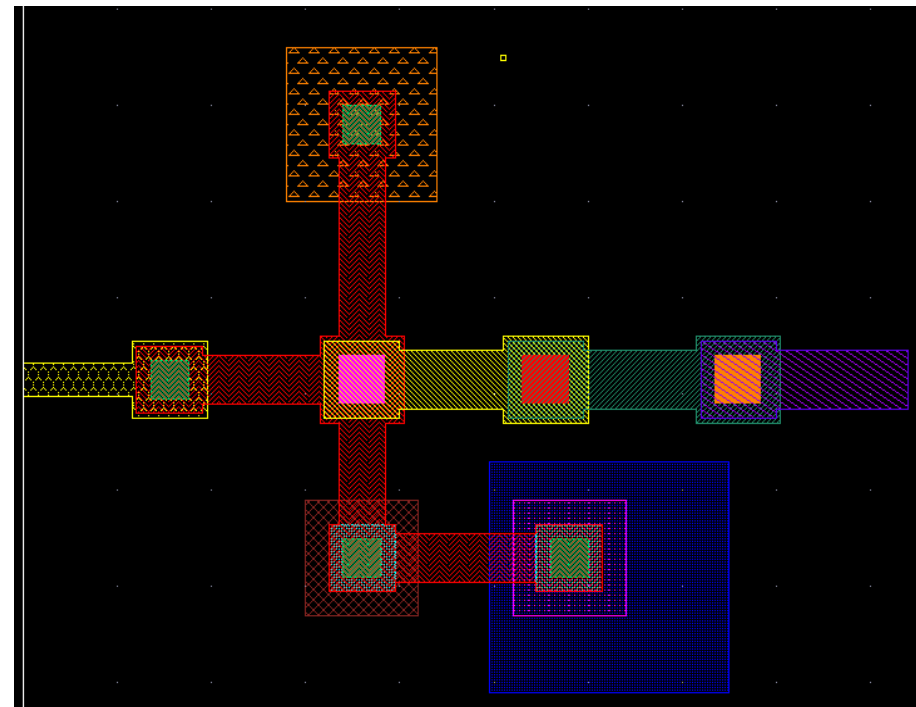
Eszköz	Bemenet	Kimenet
DRC	Layout leírás & DRC rules	Hibalista
LVS	Layout leírás & LVS rules	Hibalista & netlist

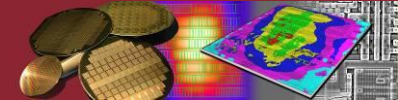
- ▶ erőforrásigényes, de igen jól párhuzamosítható...



A GDS II formátum

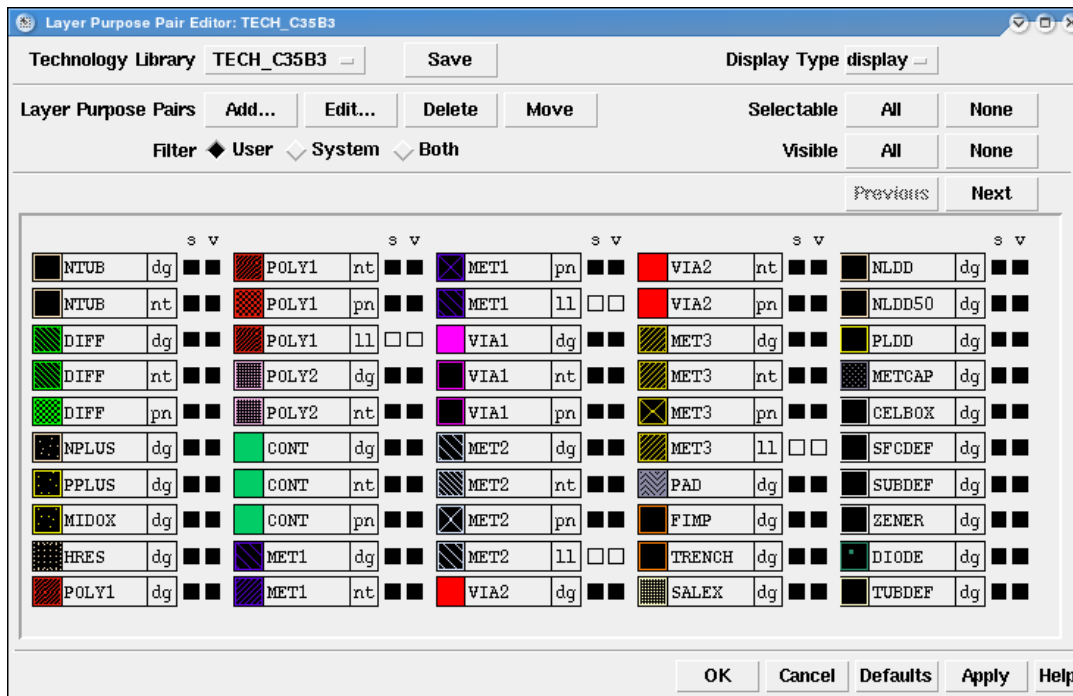
- ▶ **GDS = Graphic Data System**
- ▶ **Síkbeli geometriai alakzatok tárolására** (sokszög, négyzög, szöveg, „összeköttetés” (path), referenciák, stb.)
- ▶ Hierarchikus, bináris formátum
- ▶ A layout készítő szoftverek végső kimenete, mely a félvezető gyárba kerül (**tapeout**)
- ▶ GDSII fájlokat eredetileg mágnes szalagos tárolókon (streamer kazettákon) tárolták, és ezeket küldték el gyártásba. Innét ered a **tapeout** név...

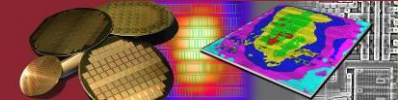




A GDS II formátum 2.

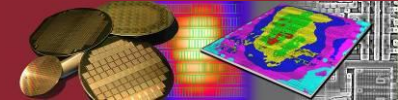
- ▶ A rétegekhez a maszkok geometriai adatait ebben a formátumban tárolják
- ▶ De Facto szabvánnyá vált
- ▶ Minden IC tervező szoftver támogatja
- ▶ A GDSII formátum feldolgozását könnyű implementálni (egyszerű, pl. C programmal)
- ▶ Minden réteg egyedi azonosítóval rendelkezik (*layer number, datatype*)





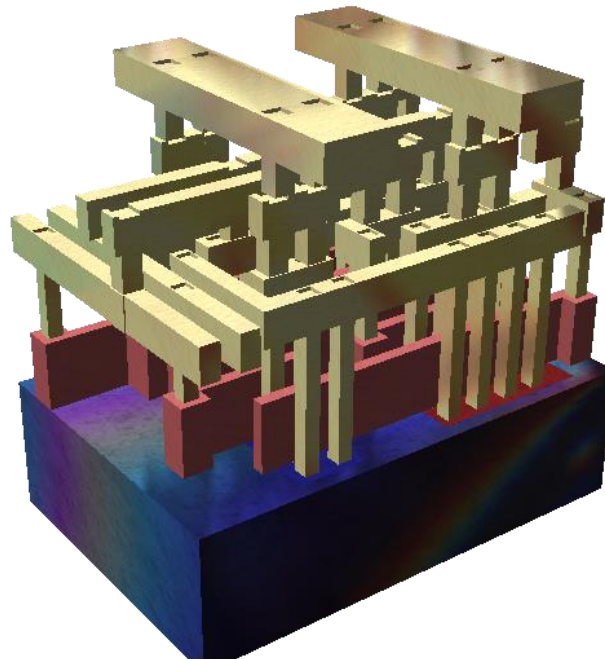
A GDSII hátrányai, OASIS

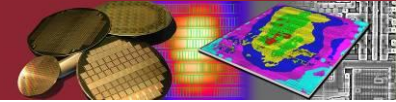
- ▶ Korlátozott képességek, pl. görbék, kör, ellipszis, stb. nem lehetséges
- ▶ Alacsony adatsűrűség, „terjengős” formátum, bonyolult layout-nál túl nagy fájl méret
- ▶ (Lebegőpontos adatábrázolás nem szabványos: *double*)
- ▶ Alternatíva, megoldás: **OASIS formátum**
- ▶ **OASIS: 10x-50x nagyobb adatsűrűség, 2004 óta a legtöbb tervezőszoftver támogatja**



Látványos megjelenítési módszerek (2D & 3D)

- ▶ **KLayout** (2D) – Linux
- ▶ Gds2pov (3D) – **statikus**
- ▶ Streamvista – Windows, nem ingyenes
- ▶ Továbbiak:
<http://layout.sourceforge.net/links/index.html>





3D-s megjelenítési példák

