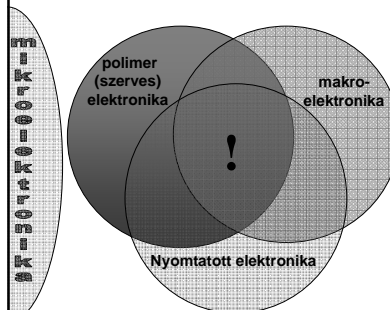


# Polimer elektronika

Gröller György BMF Kandó MTI

## Mi a polimer elektronika?



- A közös terület a fontos
  - Olcsó alapanyag
  - Egyszerű, nagy teljesítményű technológia
  - Nagy méretű eszközök
- Közös név nincs  
*Makroelektronika, nyomtatott elektronika, organonic*

## Tartalom

- Mi a polimer elektronika?
- Vezető szerves molekulák, polimerek; a vezetés mechanizmusa
- Anyagválaszték: vezetők, félvezetők, szigetelők, hordozók
- Technológiák
- Eszközök

## Makroelektronika

Igény ~

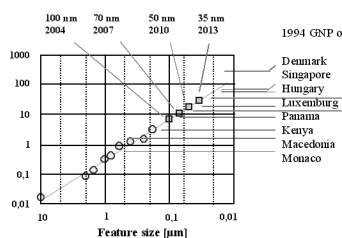
- nagy méretű elektronikus eszközökre: lapos képernyők, napelemek
- (vágy) hajlékony, papírszerű hordozójú kijelzők
- nagy sorozatú, rövid életciklusú eszközökre (eldobható elektronika?!?): RFID, akku

- Szerves vezető anyagok kutatása ~ 50 éve
- Nobel díj: 2000
- Első piaci termékek 2003



## Mikroelektronika

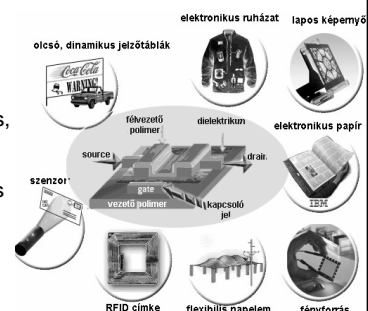
- Csökkenő méret
- Növekvő működési sebesség
- Drága alapanyag: egykristályos Si, GaAs, vegyület-félvezetők
- Nagyon drága technológia
- Tartós, hosszú életű eszközök (?)




A Moore törvény másképpen: Az új technológiai szint bevezetésének ára néhány ország nemzeti jövedelmében számolva

## Mai állapot

- Gazdag, piacképes, de még fejleszhető anyagválaszték
- Többféle alkalmas rétegtechnológia eljárás, elsősorban nyomda-technikai módszerek
- Még nem versenyképes ár
- Kérdéses stabilitás, élettartam
- Sok alkalmazási ötlet



**A „helyzet”**  
2007. nov 22-én





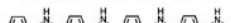



Sony has started to sell the XEL-1, the world's first OLED TV. The 11" 960x540 pixels TV costs 1,800\$. Originally they planned to start selling them in December, but they were able to release it sooner by a few days.

Sony will only make 2,000 units a month, and has no plans to up the production at this stage.

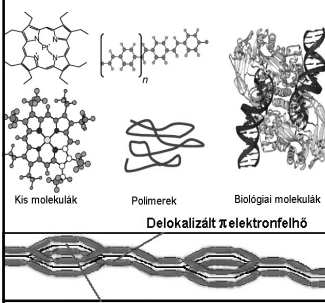
[http://techon.nikkeibp.co.jp/english/NEWS\\_EN/20071127/143111/?SS=imgview\\_e&FD=2138350503](http://techon.nikkeibp.co.jp/english/NEWS_EN/20071127/143111/?SS=imgview_e&FD=2138350503)

## Vezető szerves molekulák, polimerek

Konjugált kettőskötéseket tartalmazó vezető polimerek

	poliacetilén	➔	PA
	polifenilén	➔	
	polipirrol	➔	PPi
	politiofén	➔	
	polianilin	➔	PANi
	poli(fenil-vinilén)	➔	PPV

## Vezető szerves molekulák, polimerek



- Molekulán belül konjugált kettőskötés rendszer.
- Delokalizált elektronok
- Kötő pálya: **HOMO** (legfelső betöltött molekulapálya)
- Nemkötő pálya: **LUMO** (legalsó betöltetlen molekulapálya)

(Megfelel a vegyérték és vezetési sávnak)

## Vezető szerves molekulák, polimerek

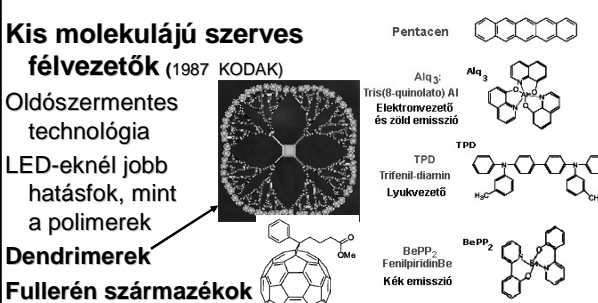
Kis molekulájú szerves félvezetők (1987 KODAK)

Oldószermentes technológia

LED-eknél jobb hatásfok, mint a polimerek

Dendrimerek

Fullerén származékok

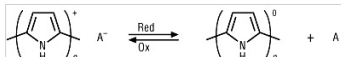


## Adalékolás

részleges oxidálás (elektronleadás) ➔ „p adalék”  
(p-típusú polimerek esetén fémes vezetés; halogének, jód)

részleges redukálás (elektronfelvétel) ➔ „n adalék”  
(n-típusú polimerek esetén félvezető, szigetelő; alkáli fémek, Li, Na)

Polipirrol példáján: pl. részleges oxidáció hatására p-típusú lesz



## Anyagválaszték, vezetők

### Alkalmazás elektródként

Követelmények:

- Kis ellenállás
- Sima, egyenletes felület
- Kémiai stabilitás
- Megfelelő (alacsony) kilépési munka

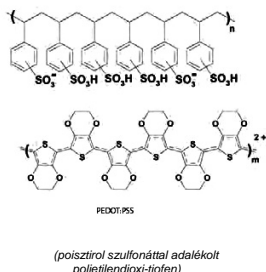
- Fémek;** nyomtatható tinta, fém (nano)részecskékkel
- Fémoxidok;** ITO (indium-ón-oxid)
- Szén nanocsövek**

## Anyagválaszték, vezetők

### Polimerek

Fémeknél kb 1000 x nagyobb ellenállás  
PEDOT:PSS

- $\sigma \sim 400 \text{ 1}/\Omega\text{cm}$
- Fényáteresztő
- Nyomtatható
- Hőállóság:  $>100^\circ\text{C}$ , 1000 óra



## Anyagok: fénykibocsátó anyag

### Elektrolumineszcens anyagok

Fluoreszcens, foszforeszcens

- Kis molekulák,
- Szerves fém-komplexek
- Dendrimerek
- Polimerek

### Kutatói irányok:

- Hasonló hatásfokú, élettartamú fehér komponensek
- Nagyobb hatásfok, élettartam



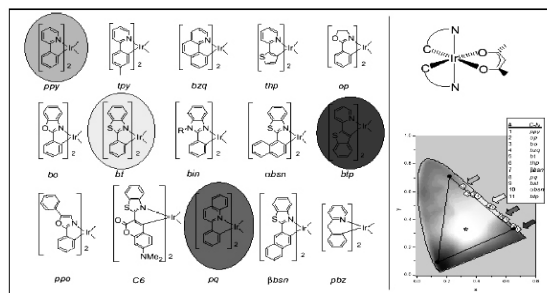
## Anyagválaszték, félvezetők

### Követelmények:

- Nagy elektron / lyuk mozgékonyság
- Sáv szerkezet illeszkedjen az elektród kilépési energiájához  $\Rightarrow$  kis ellenállású, ohmos kontaktus
- Nagyon tiszta anyag
- Oldható és oldatból réteg készíthető
- Stabil, környezetálló

Anyag	Mozgékony-ság [ $\text{cm}^2/\text{Vs}$ ]
Egykristályos Si	300 - 900
Poli Si	50 - 100
Amorf Si	$\sim 1$
Pentacen	$\sim 1$
Vezető polimerek	$\sim 0,1$

## Foszforeszcens OLED adalékai



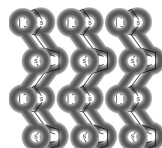
Néhány Ir komplex, és a velük megvalósítható foszforeszcencia színei

## Félvezetők

- **Mozgékony-ság** függ a réteggéztés módjától:
  - Oldószer
  - Koncentráció
  - Leválasztás módja, hőmérséklete,
  - Hordozó felülete
- Molekulák rendezettsége

### Anyagok:

- Kis molekulák, pl. pentacen
- Polimerek, pl. politiofen
- Nanoméretű szerves félvezetők beágyazva szervesbe



Nagy előny a szerves molekulák gazdag alakíthatósága  
„testre szabott” tulajdonságok

## Dielektrikumok

### Speciális követelmények:

- Hibátlan réteg,  $n \times 10\text{nm}$
- Hibátlan határfelület a félvezető felé
- Nyomtathatóság

### Általános szigetelő követelmények:

- Nagy  $U_{\text{át}}$ ,  $\epsilon_{\text{rel}}$ , kis tg $\delta$

### Használt anyagok:

- Klasszikus polimer szigetelők: PP, PVA, PMMA, PET, stb
- Szerves dielektrikumok:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , de ezek nem nyomtathatók

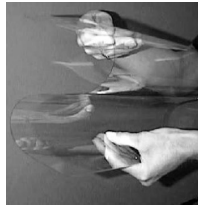
## Hordozók

### Követelmények

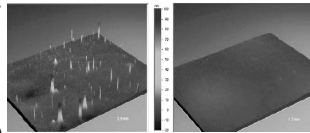
- Hajlékonyság
- Sima felület
- Kémiai ellenálló-képesség az aktív réteg oldószereivel szemben

### Anyagok:

- Üveg
- PET, PC, PI, PEN (polietilén-naftalát)
- Papír felületkezelés után



Hajlékony üveg hordozó



AFM felületi profil  
Ipari minőségű PEN, Megfelelő simaságú hordozó

## Nyomtatás

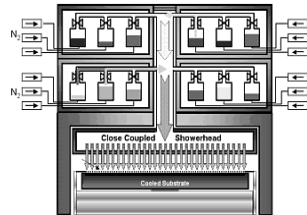
	Si szelet	Szita	Mélynyomás	Flexo	Offset	Tinta sugaras
Felbontás (µm)	0,05	>100	>15	> 40	> 15	> 50
Átl. Rétegvastagság (µm)	0,05 – 2	3 – 15	0,8 – 8	0,8 – 2,5	0,5 – 2	0,3 – 20
Tinta viszkozitása (Pas)	-	0,5 -50	0,05 – 0,2	0,05 – 0,5	30 – 100	0,001 – 0,04

Fontosabb nyomtatási módok és néhány jellemző paraméterük

## Technológia, rétegfelvitel

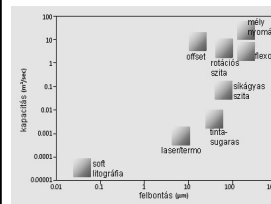
### Követelmény:

- Rétegvastagság: nm → µm
- Egyenletes vastagság
- Több réteg egymáson
- Nagy felületen nagy sebességgel
- Olcsó



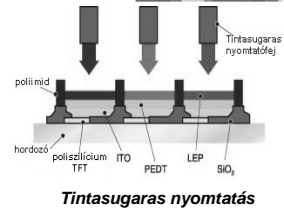
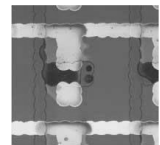
Kis méretek: OVPD, vákuumgőzölés

## Nyomtatás



A kapacitás és a felbontás kapcsolata

### Tintasugaras nyomtatással készített tranzisztor



Tintasugaras nyomtatás

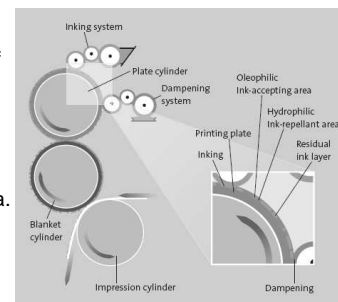
## Nyomtatás

- Minden hagyományos és új nyomtatási technológia használható
- „Roll to roll” technológia: egy soron egymás után az összes technológiai lépés
- Főképp polimerek oldataiból készíthető nyomtatható tinta
- Hagományos chip beütetése beilleszthető a sorba



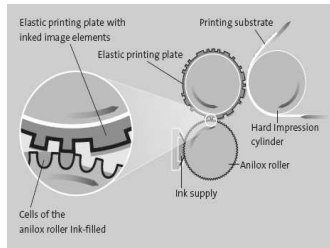
## Nyomtatás: Offset

A mintahengeren a rajzolat felülete oleofil (= olajjal nedvesíthető), a többi hidrofíli. A tinta anyaga oleofil, csak a rajzolatnak megfelelő részen tapad, innen nyomódik át a hordozóra.



## Nyomtatás: Flexografikus

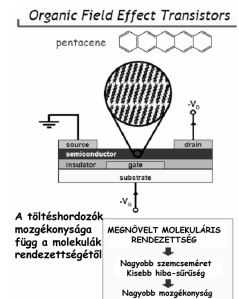
A mintát a nyomóhenger felületén rugalmas anyagban mélységben alakítják ki. A festék az alsó (anilox) hengerről kenődik a felület kiemelkedő részeire. Legnagyobb termelékenység, mérsékelt felbontás, pontatlan kontúr



## Tranzisztor

Alkalmazás:

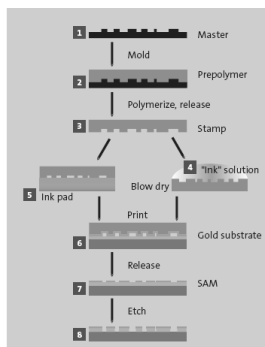
- TFT kijelzők, hajlékony eszközök
- Makroelektronikai eszközökben ált. áramköri elem
- „Kis bonyolultságú” integrált áramkörök
- Cél a méretcsökkentés, működési sebesség növelés



## Soft litográfia

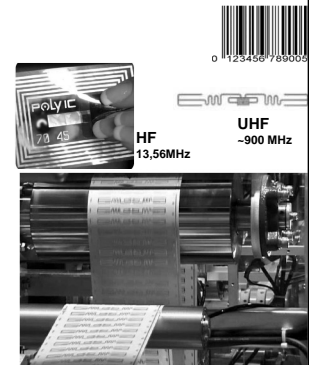
- A „master” forma kialakítása hagyományos fotolitográfiai módszerrel
- Erről negatív lenyomat készül lágy polimer anyagból
- Ez bélyegző-szerűen használható a tinta (funkcionális anyag) átvitelére
- Nagyon jó felbontás, fejlesztési cél a mikroelektronikai alkalmazás

*Dip-pen litográfia: AFM mikroszkóp elv megfordítása*



## Eszközök: RFID Rádiófrekvenciás azonosító címke

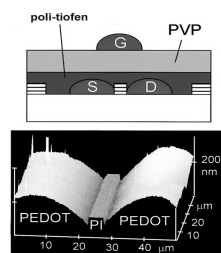
- Passzív/aktív: külső/saját energia
- Mikroelektronikai elemekből drága
- Nagymértékű elterjedés, ha az ár < 5 – 10 cent
- Teljes nyomtatott kivitelben 16 bites HF címke ~ 10 cm-ig olvasható



## Eszközök; Tranzisztor

Vékonyréteg tranzisztor

- Amorf Si (poli Si) AMLCD (TFT) kijelzőkben
- OFET jellemzők:
  - Méret: 10 -50  $\mu\text{m}$
  - dielektrikum vastagság:  $n \times 100 \text{ nm}$
  - Minimális csatorna hossz
  - A dielektrikum/félvezető határ sima és hibamentes
  - Közéltőleg omhos kontaktus a félvezető és az S, D elektródok között



Fent: OFET keresztmetszeti rajza, Lent: Tintasugaras nyomtatással készített tranzisztor AFM felvétele

## Eszközök: OLED

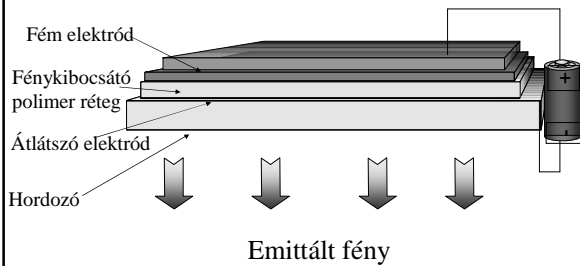
Világítástechnika

- Lehetőség egészen új típusú világításra
  - Nagy sík felület
  - Kis feszültség
  - Versenyképes hatásfok
  - Változtatható színek
- Problémák
  - Élettartam, stabilitás
  - Színvisszaadás (fehér)

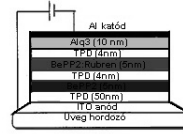
Kijelzők

- Lehetőség
  - Aktív fényű kijelző
  - ~ 180° látószög
  - Nagyon vékony (mm)
  - Hajlékony,
  - Átlátszó,
  - Papír(szerű) hordozón
- Problémák
  - Élettartam, ár

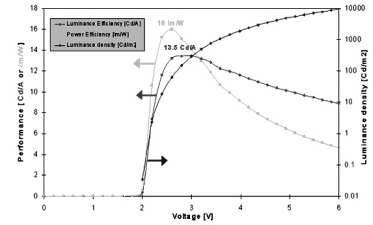
## A fénykibocsátó polimer eszköz működése



## Fehér OLED

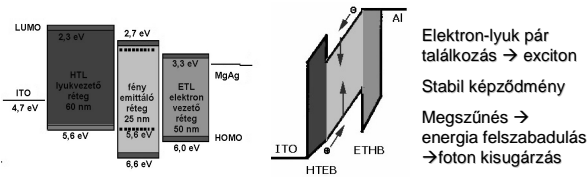


- **Zöld:** Alq<sub>3</sub>, tris(8-quinolato)Al
- **Narancs:** pl. BePP<sub>2</sub>:rubrene
- **Kék:** pl. BePP<sub>2</sub>, fenilpiridinBe
- **TPD:** trifenil-diamin



A fényhasznosítás és a fényűréség változása a LED-re kapcsolt feszültség függvényében

## Az OLED fénykibocsátása

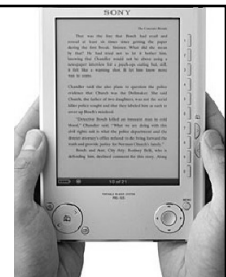


Foszforszcens OLED sávdigramja feszültségmentes és bekapcsolt állapotban

## Eszközök: Kijelzők

### Tulajdonságok:

- Aktív fényforrás, nem kell háttérvilágítás, polárszűrő
- ~ 180°-os látószög
- Kis fogyasztás (hordozható eszközökben)
- Gyors működés, kapcsolási idő < 1ms
- Nagyon vékony,  $d < 1\mu\text{m}$  (+ hordozó)



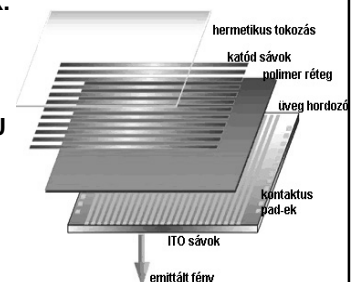
## Fényhasznosítás: $\frac{\text{emittált fényáram (lumen)}}{\text{felvett vill. teljesítmény (W)}}$

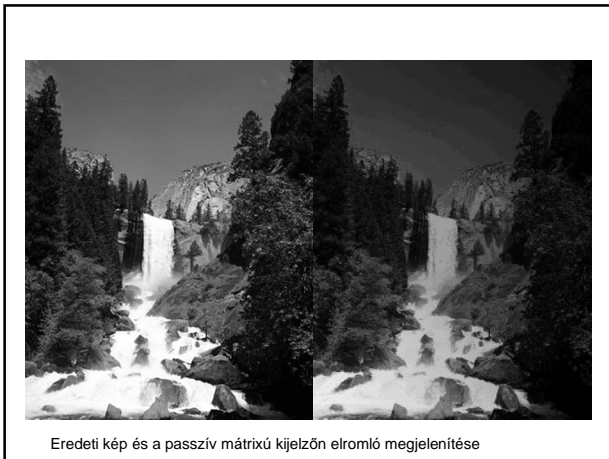
### Javítás:

- IQE, EQE (belső- külső kvantumhatásfok) maximális
  - Villamos veszteségek csökkentése  $\approx R$  csökkentés
  - Töltésinjektálás potenciálgátjának csökkentése
  - Elektrod kilépési munka illesztése vagy köztes réteg
  - Rétegvastagság csökkentés, de! Exciton diffúziós úthossz  $\sim 100\text{nm}$ , kell egy exciton blokkoló réteg
- 2002-es csúcs: 76 lm/watt, zöld PHOLED

## Passzív mátrix display

- Pixel bekapcsolás: X. és Y. sávra  $U_k$
- Kis fényűréség
- ITO ellenállása miatt a sor végén kisebb U
- Kisméretű kijelzők, pl. telefon, kamera





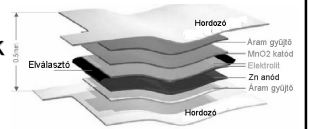
Eredeti kép és a passzív mátrixú kijelzőn elromló megjelenítése

## Áramforrások



- Elektrokémiai :  
elemek, akkumulátorok
- Szuperkapacitások
- Napelemek

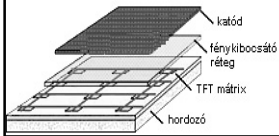
Mind egyik előállítható  
hajlékony hordozóra,  
vékonyréteg  
technológiával



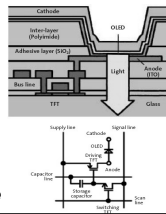
Nyomatott elem rétegszerkezete és fotója

## Aktív mátrix display: AMOLED

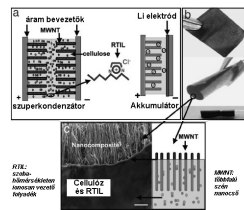
- Pixel címzés vékonyréteg tranzisztorral
- Stabil, ellenőrizhető, módosítható feszültség pixelenként
- Nagy kontraszt, nagy fényerő, gyors működés
- Poli-Si, amorf-Si, polimer TFT



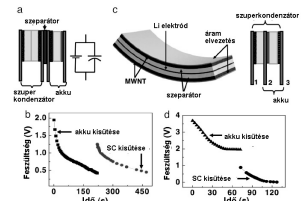
Aktív mátrixú OLED kijelző meghajtó áramköre és keresztmetszete



## Áramforrások



Akku és szuperkondenzátor hasonló szerkezete

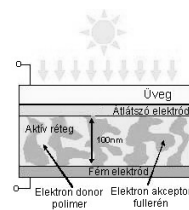


Akku és szuperkondenzátor tandem kapcsolása. Az akku kisülése alatt feltölti a kondenzátort

## Hajlékony display



## Áramforrások



Polimer napelem szerkezete



Alkalmazási példa

## Fejlesztési tervek

- Érzékelők
- Intelligens ruházat
- Intelligens csomagolás



„lab on a chip”

Nyomásérzékelő mesterséges bőr



**Organic LED  
for Lighting  
Application**

- EU 6. keretprogram
- Kezdeményező: Philips
- Partnerek: Siemens – Osram, Aixtron, Covion, NovaLED, TU Dresden

