

INTELIGENTNÉ ORGANICKÉ MOLEKULY - BUDÚCNOSŤ ELEKTRONIKY A OPTOELEKTRONIKY



doc. RNDr. Martin Putala, PhD.

Katedra organickej chémie

Univerzita Komenského v Bratislave

Prírodovedecká fakulta

putala@fns.uniba.sk, www.fns.uniba.sk

INTELIGENTNÉ ORGANICKÉ MOLEKULY - BUDÚCNOSŤ ELEKTRONIKY A OPTOELEKTRONIKY

1. Úvod
2. Organické zlúčeniny pre elektroniku (vodiče, diódy, tranzistory)
3. Organické zlúčeniny v zobrazovacích technológiách (LCD, OLED)
4. Organické zlúčeniny pre molekulové počítače (logické obvody a pamäťové médiá)
5. Organické zlúčeniny pre optoelektroniku (solárne elektrické a palivové články, laserové technológie)

1. ÚVOD

ORGANICKÁ CHÉMIA POSKYTUJE:

Liečivá, prostriedky na ochranu rastlín

Materiály: plasty, tkanivá, farbivá, palivá

Molekulové materiály pre elektroniku a optoelektroniku

1. ÚVOD

KLASICKÉ POUŽITIE ORGANICKÝCH MATERIÁLOV:

plasty a plastové ochranné a izolačné vrstvy, umelé tkanivá, farbivá a iné využitie makroskopických vlastností súboru ich veľkých molekúl ako celku (pružnosť alebo naopak tvrdosť, odolnosť, priehľadnosť, nízka hustota, ...)

„MODERNÉ“ ORGANICKÉ MATERIÁLY/TECHNOLÓGIE:

využitie individuálnych vlastností organických molekúl (schopnosť vhodne interagovať so svetlom (elektromagnetickým žiarením), elektromagnetickým poľom alebo elektrickým prúdom)

1. ÚVOD

NANOTECHOLÓGIE:

využitie individuálnych vlastností organických molekúl umožňuje miniaturizáciu súčastok až do úrovne niekoľkých molekúl, resp. monomolekulových vrstiev

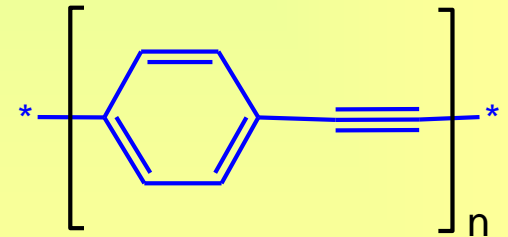
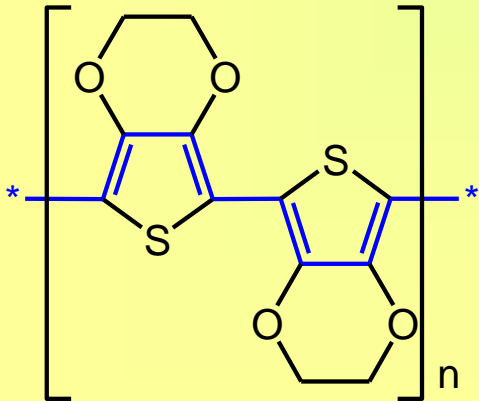
| Objekt | Veľkosť v nm |
|----------------------------|----------------|
| mravec | 5 000 000 |
| ľudský vlas (priemer) | 80 000 |
| typická baktéria (priemer) | 1 000 – 10 000 |
| viditeľné svetlo | 400 – 700 |
| bunková membrána | 10 |
| DNA (priemer) | 2,5 |
| atóm vodíka (priemer) | 0,1 |

2. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE ELEKTRONIKU

VODIČE

Málo polárne organické zlúčeniny → **nevodiče** (opláštenie vodičov, nevodivý materiál medzi platňami kondenzátorov).

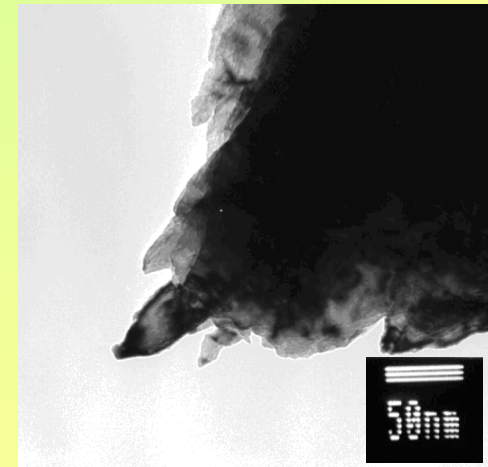
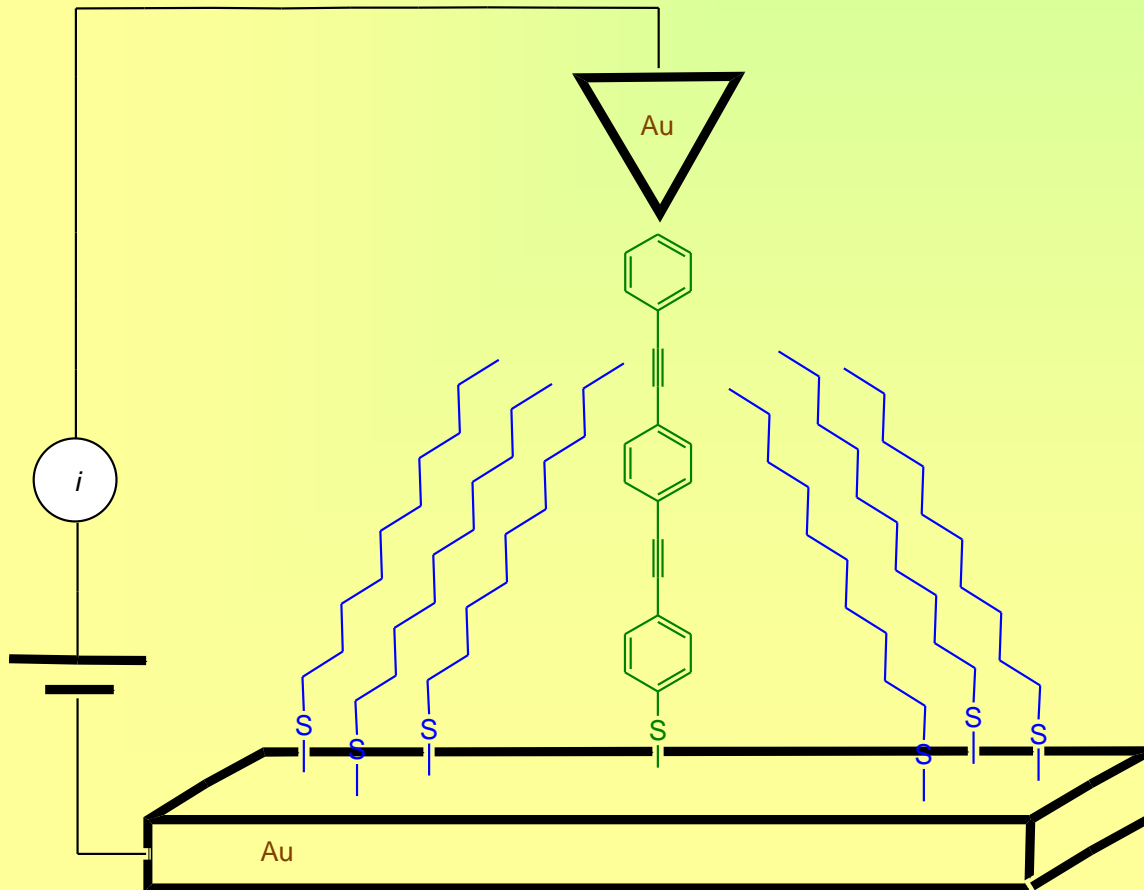
Lineárne, veľmi dobre konjugované reťazce, napr. poly(tiofenylény) alebo poly(fenylénetinylény), vykazujú v smere reťazca **vodivosť porovnateľnú s kovovými vodičmi**. Za tento objav a rozvoj konjugovaných polymérov („organických kovov“) bola udelená Nobelova cena za chémiu v r. 2000.



2. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE ELEKTRONIKU

VODIČE

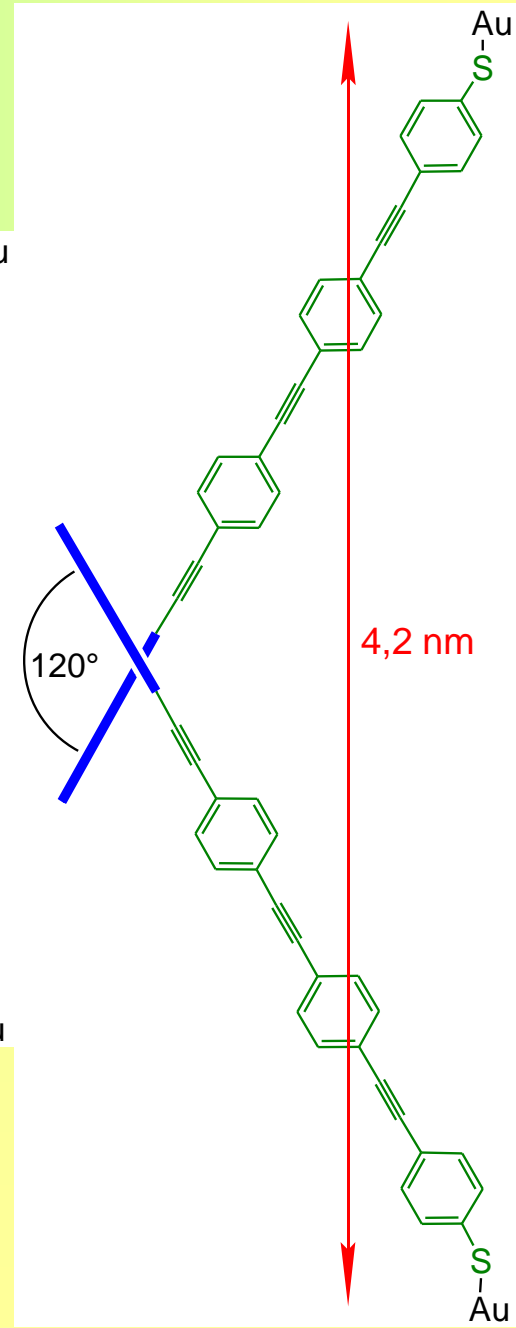
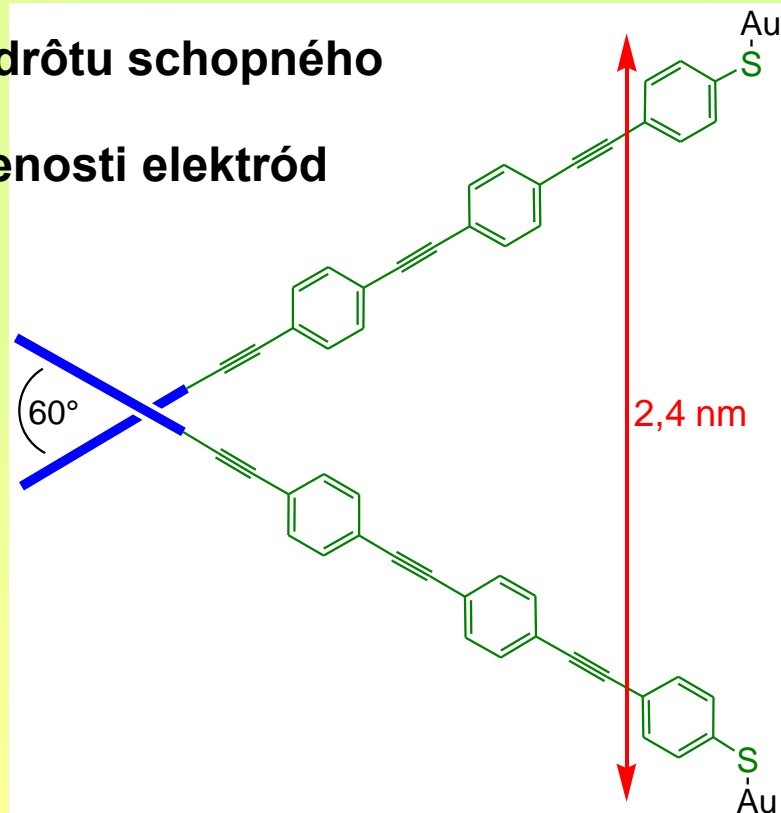
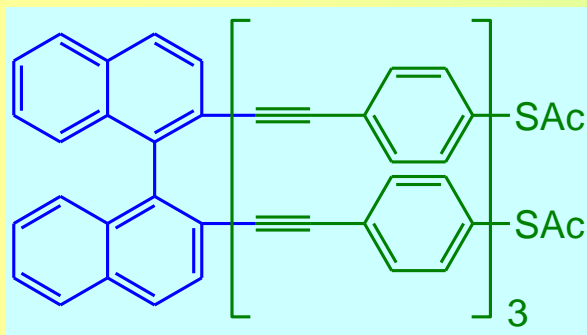
Meranie vodivosti individuálnych molekúl napr. pomocou skenovacej tunelovacej mikroskopie (STM)



2. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE ELEKTRONIKU

VODIČE

Príprava molekulového drôtu schopného
prispôbiť sa vzdialenosti elektród

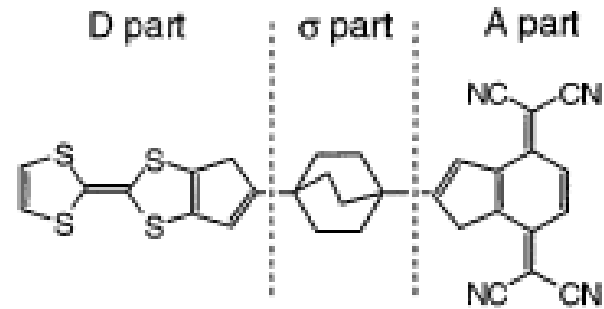


2. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE ELEKTRONIKU

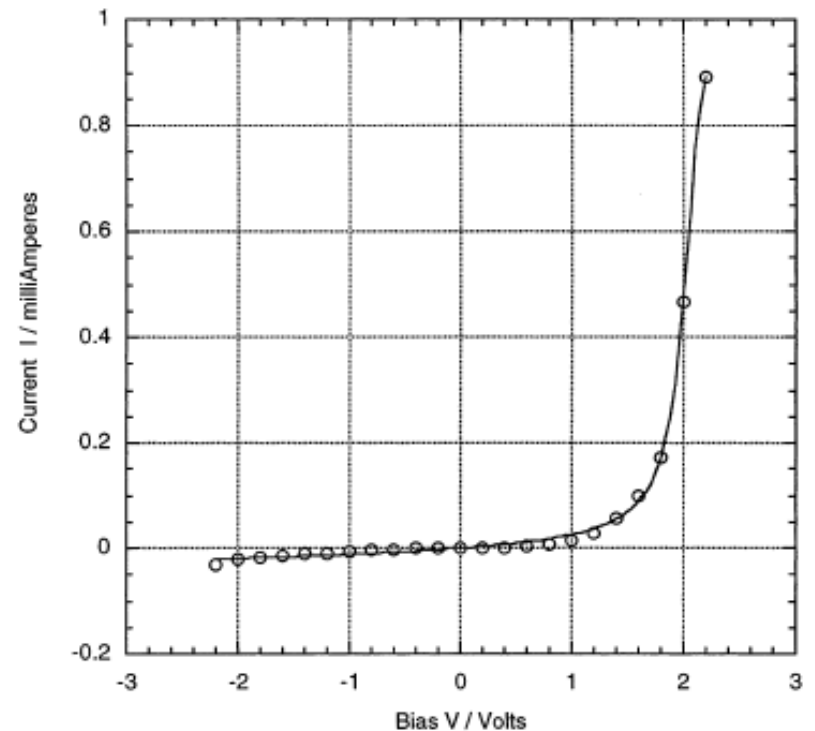
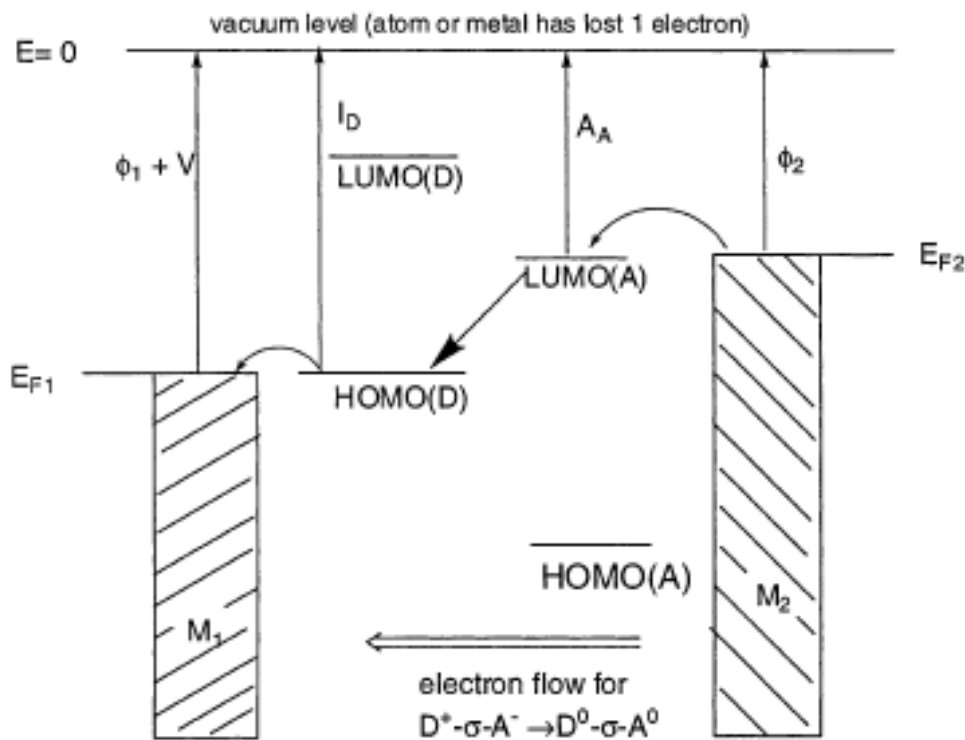
POLOVODIČOVÉ DIÓDY (USMERŇOVAČE PRÚDU)

Klasické polovodičové diódy (*n*- a *p*-typu) vedú elektrický prúd len jedným smerom.

Takto sa správajú aj organické zlúčeniny, pozostávajúce z donornej (D, bohatej elektrónmi) a akceptornej (A, elektrónovo chudobnej) časti (len od akceptornej časti so σ -väzbami).



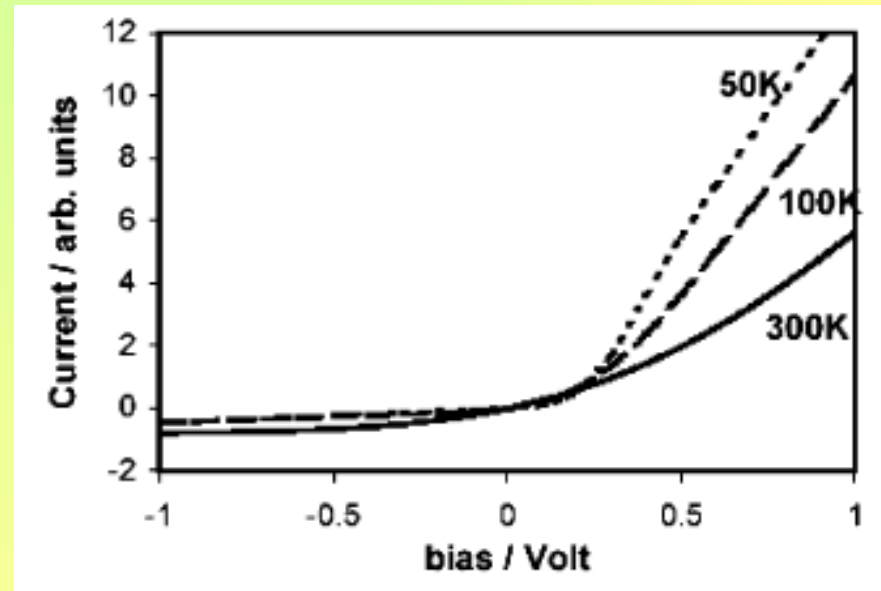
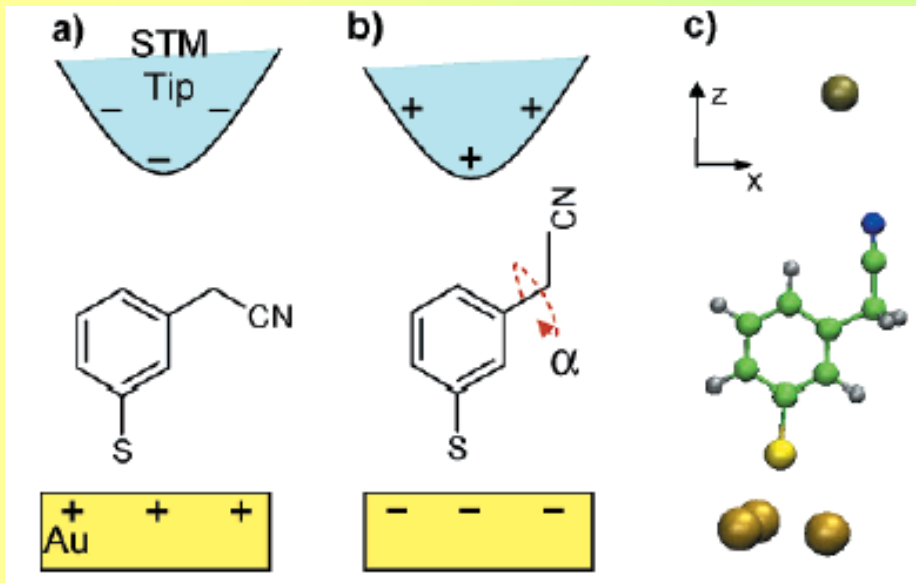
bohatej elektrónmi (len od akceptornej časti so σ -väzbami).



2. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE ELEKTRONIKU

POLOVODIČOVÉ DIÓDY (USMERŇOVAČE PRÚDU)

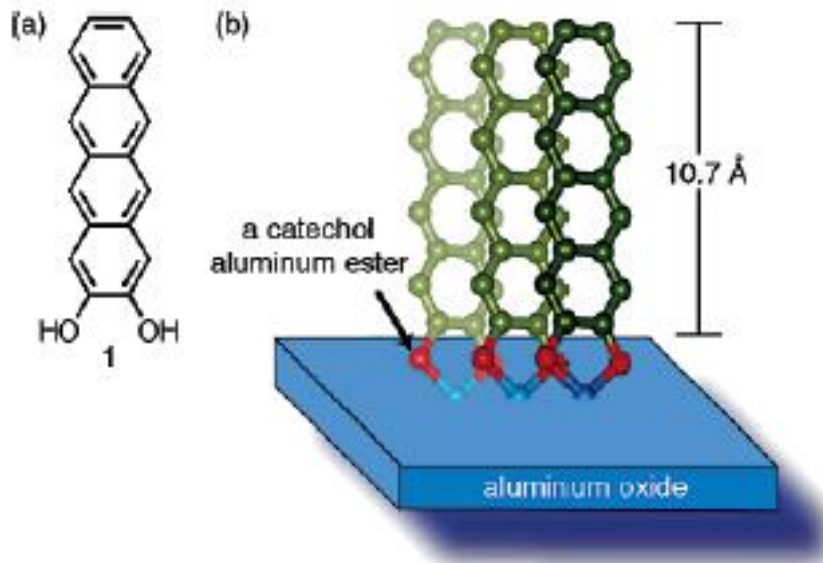
Neklasické diódy: zmeny vodivosti na základe konformačných zmien.



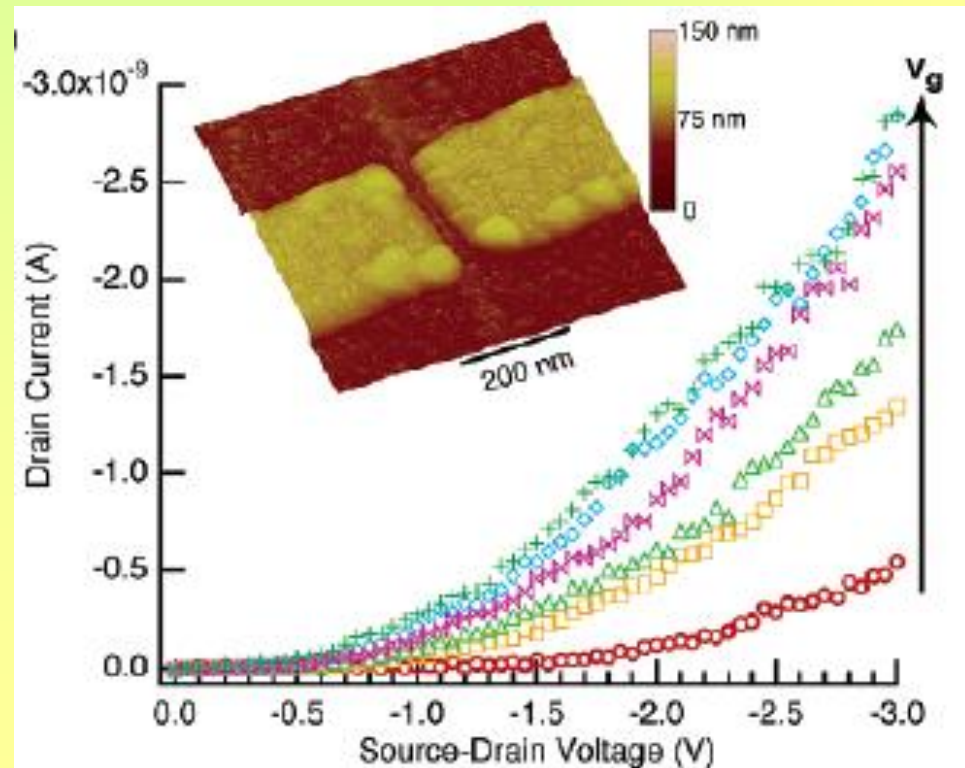
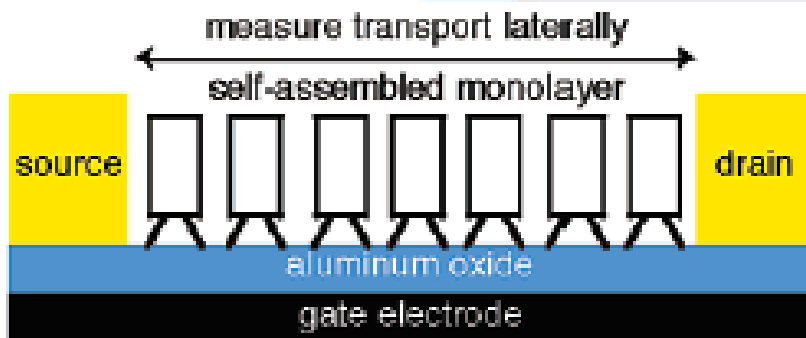
2. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE ELEKTRONIKU

POLOVODIČOVÉ TRANZISTORY (ZOSILŇOVAČE NAPÄTIA)

OFET (*organic field effect transistor*) na báze tetracénového diolu ako polovodiča typu *n*



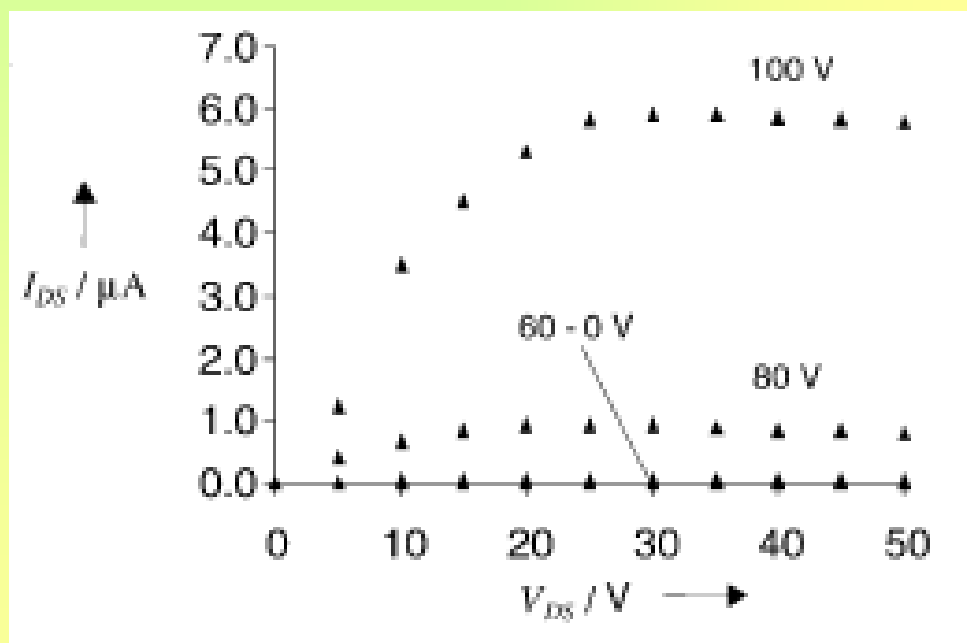
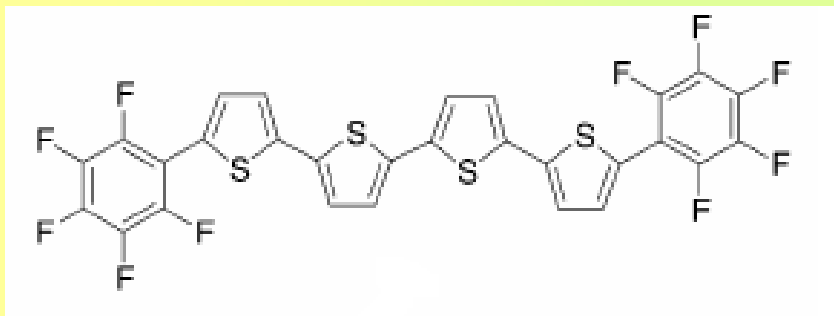
30-100 nm



2. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE ELEKTRONIKU

POLOVODIČOVÉ TRANZISTORY (ZOSILŇOVAČE NAPÄTIA)

OFET (*organic field effect transistor*) na báze oligotiofenylénu s elektrónoakceptornými substituentami ako polovodiča typu *p*



2. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE ELEKTRONIKU POLOVODIČOVÉ TRANZISTORY (ZOSILŇOVAČE NAPÄTIA)

Porovnanie s klasickými polovodičovými tranzistormi na báze kremíka

| | OFET | Si |
|--------------------------------------|---|--|
| pohyblivosť náboja | až do $35 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ | $1 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ |
| pomer on/off | až do 10^7 | 10^5 |
| spracovateľnosť | v roztoku a termicky | mechanicky |
| rozmery | menšie | väčšie |
| dosiahnutie žiadaných charakteristík | možnosť štruktúrnych modifikácií | |
| stabilita | nižšia | vyššia |
| cena | vyššia | nižšia |

Použitie: napr. TFT technológie pre LCD displeje

3. ORGANICKÉ ZLÚČENINY V ZOBRAZOVACÍCH TECHNOLOGIÁCH

OBRAZOVKY NA TRHU



CRT



LCD



OLED



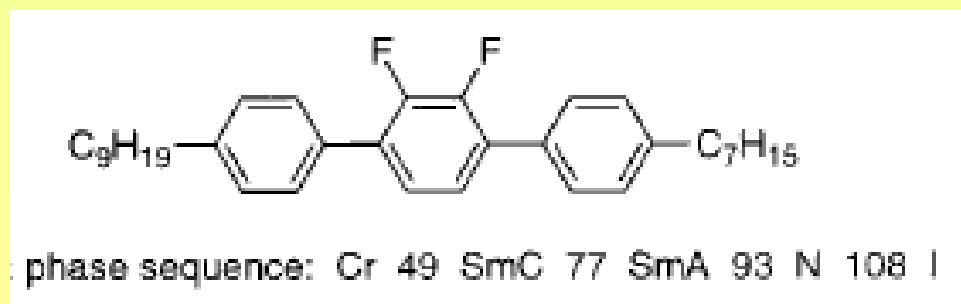
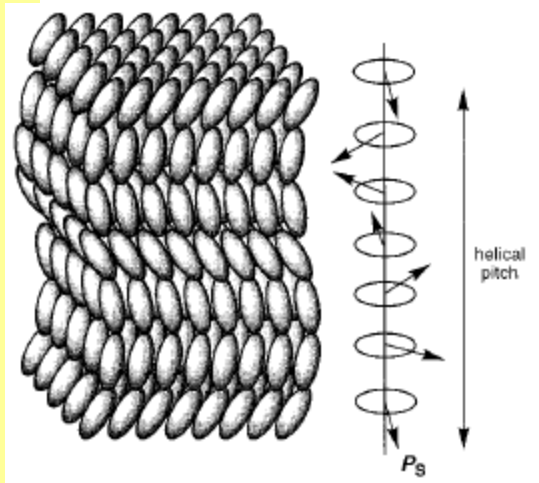
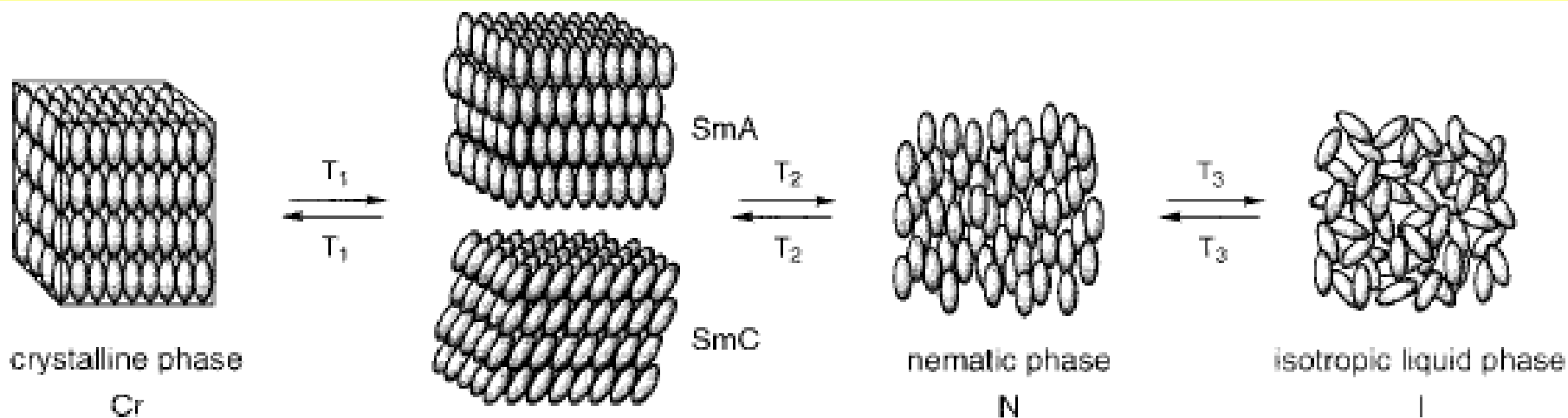
plazma

| | CRT | LCD | OLED | plazma |
|-----------------|---------------------------------|---|--|--|
| princíp | elektróny interagujú s povrchom | napätím sa riadi transparentnosť vrstvy LC pre svetlo | organické zlúčeniny vyžarujú svetlo pri prechode elektr. prúdu | plyn v stave plazmy (vysoké napätie) interaguje s povrchom (ako CRT) |
| hrúbka | 40-60 cm | 1-3 cm | 3 mm | 1 cm |
| spotreba | 180 W | 50 W | 10 W | 300-500 W |
| +/- | -: žiarenie, oscilácia obrazu | -: zložitá technológia, pamäťový efekt | +: kvalitné farby, rýchla odozva, vysoký kontrast | +: kvalitné farby; -: horšie sivé farby, pomalá odozva |
| nízka | nízka | stredná | zatiaľ vysoká 2,000 \$ (28') | vyššia |

3. ORGANICKÉ ZLÚČENINY V ZOBRAZOVACÍCH TECHNOLOGIÁCH

KVAPALNÉ KRYŠTÁLY (LC)

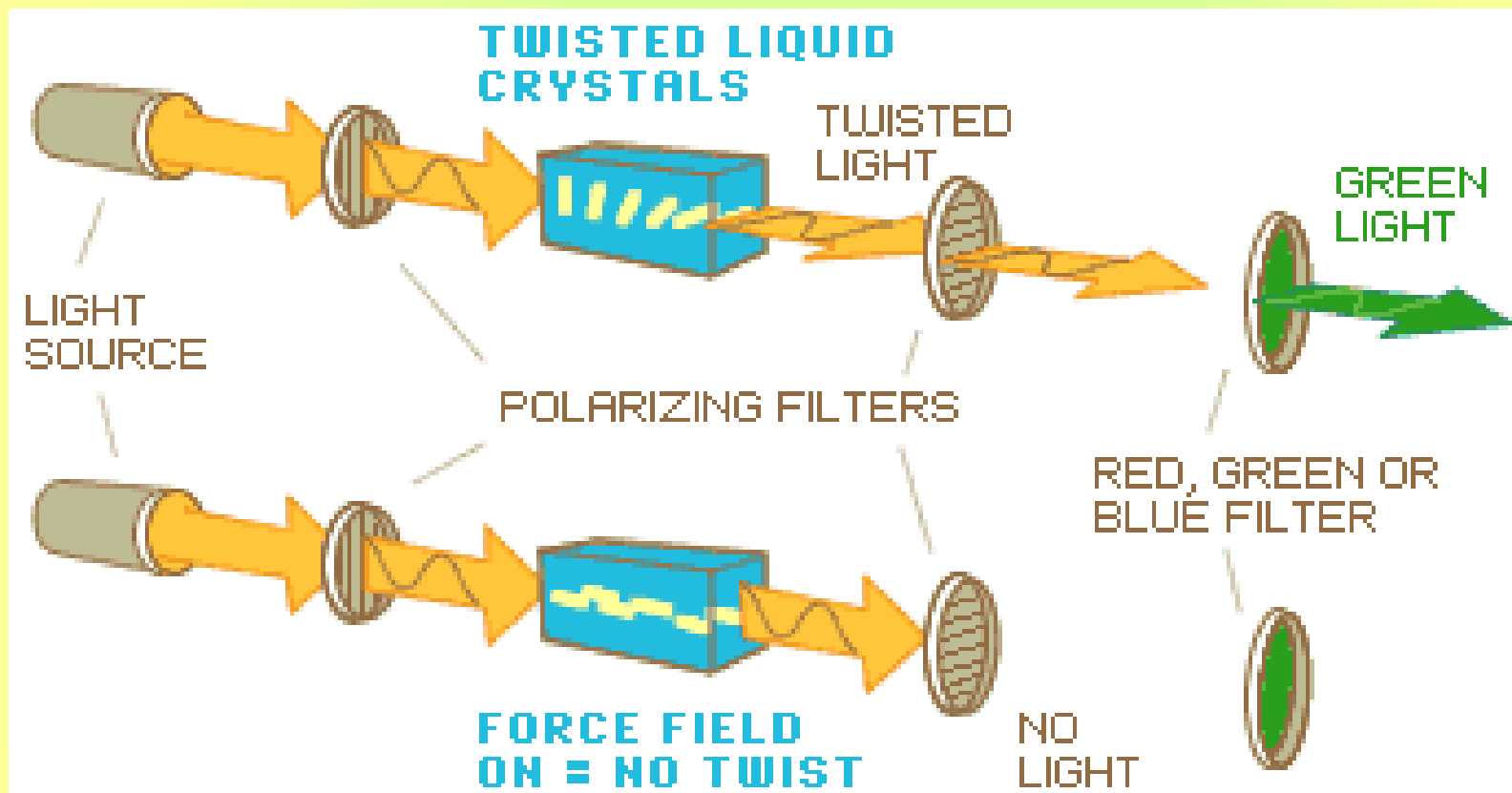
Fázové premeny kryštálu tvoreného molekulami tyčinkovitej geometrie



3. ORGANICKÉ ZLÚČENINY V ZOBRAZOVACÍCH TECHNOLOGIÁCH

KVAPALNÉ KRYŠTÁLY (LC)

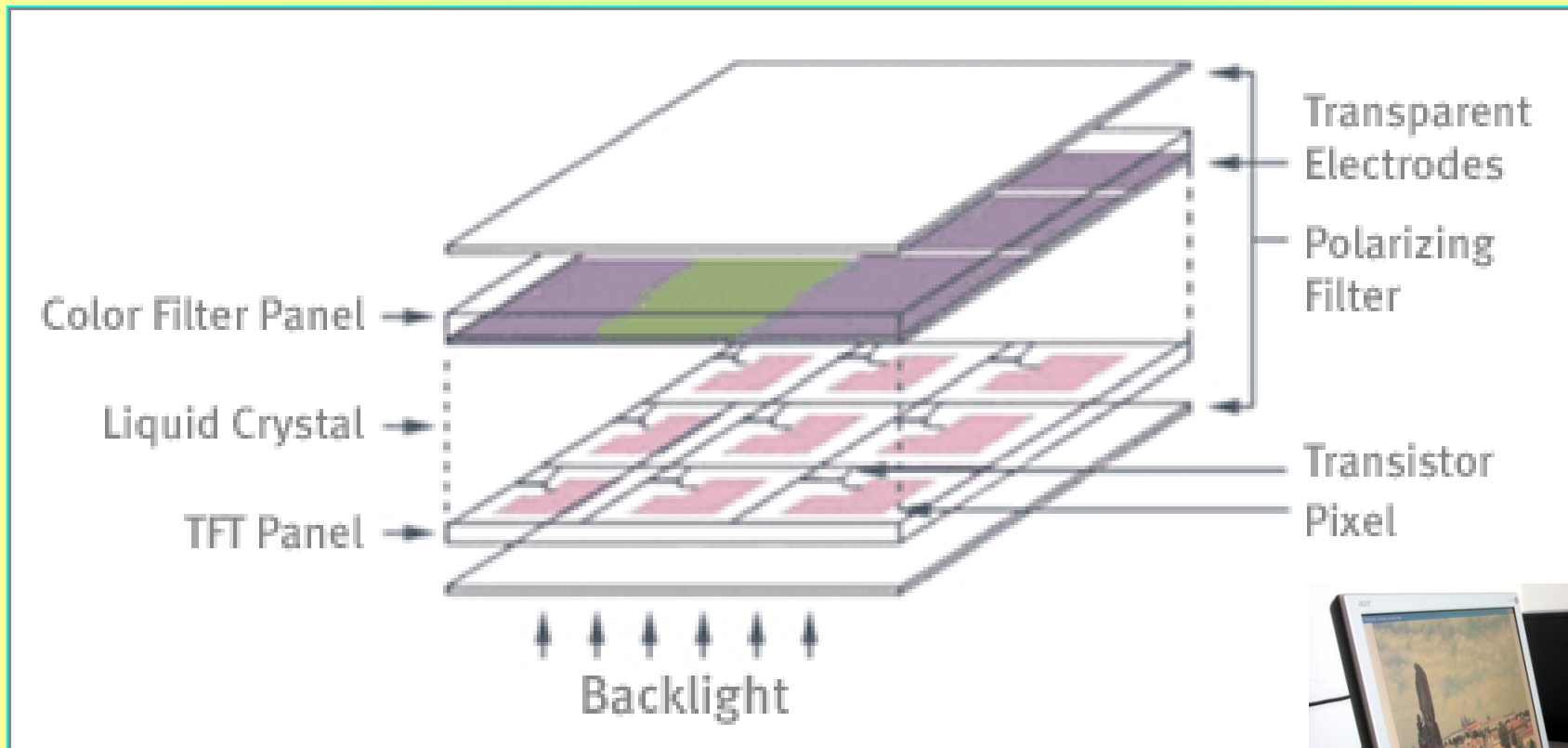
Princíp ovládania svetelného signálu v LCD



3. ORGANICKÉ ZLÚČENINY V ZOBRAZOVACÍCH TECHNOLOGIÁCH

KVAPALNÉ KRYŠTÁLY (LC)

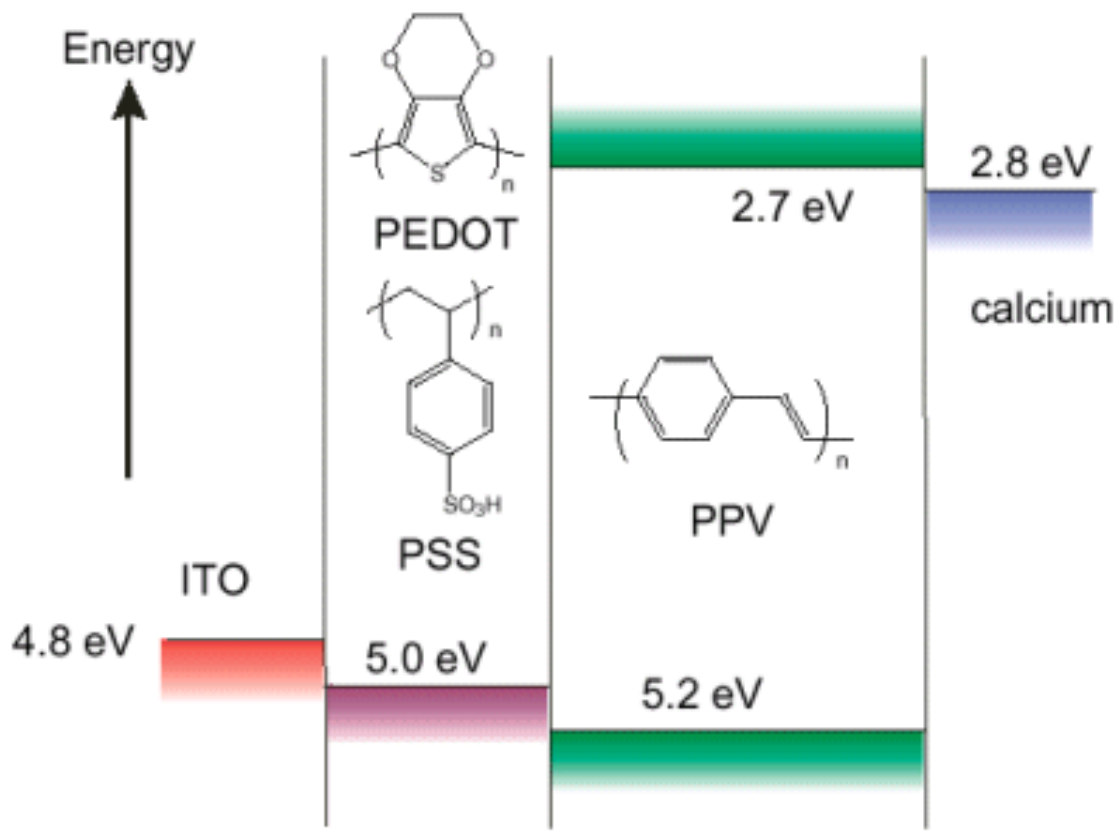
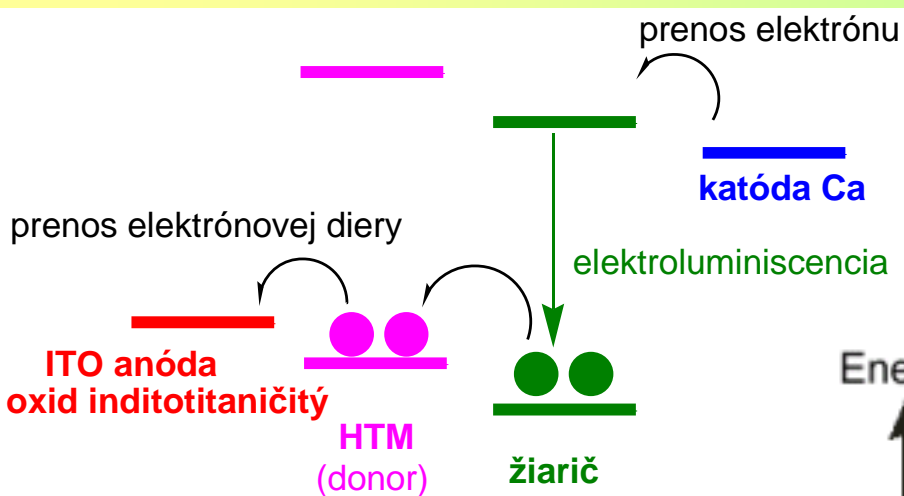
Schéma TFT-LCD obrazovky



3. ORGANICKÉ ZLÚČENINY V ZOBRAZOVACÍCH TECHNOLOGIÁCH

ORGANICKÉ SVETLOVYŽARUJÚCE DIÓDY (OLED)

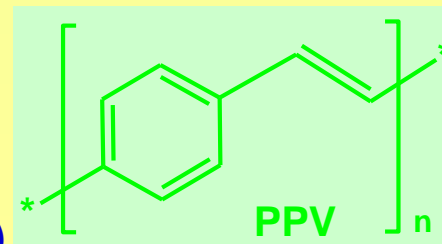
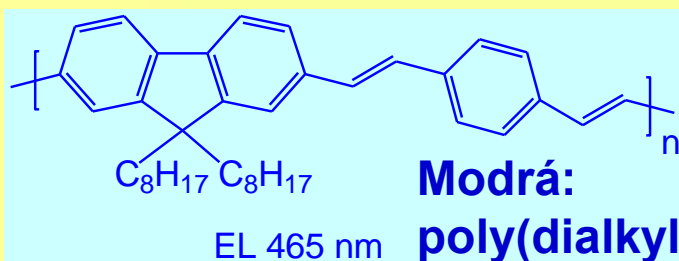
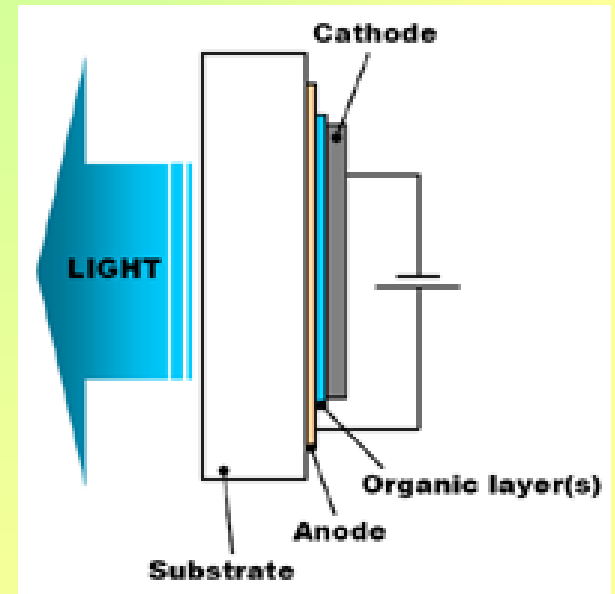
Princíp elektroluminiscencie
a konštrukcia obrazovky



3. ORGANICKÉ ZLÚČENINY V ZOBRAZOVACÍCH TECHNOLOGIÁCH

ORGANICKÉ SVETLOVYŽARUJÚCE DIÓDY (OLED)

Obrazovky



Červená: PPV s prímiesou rodamínu

Zelená: PPV

4. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE MOLEKULOVÉ POČÍTAČE

KLASICKÉ POČÍTAČE NA BÁZE KREMÍKOVÝCH PROCESOROV

Údaje sú spracovávané elektronicky systémom mikroprocesorov v dvojkovej sústave (**0 a 1**). V dvojkovej sústave sú aj ukladané do pamäte.

Prahové hodnoty napätie a logická konvencia:

pozitívna logická konvencia – **0** (~ 1 V, pod prahovou hodnotou 2 V)

1 (~ 3 V, nad prahovou hodnotou 2 V)

negatívna logická konvencia – opačné priradenie

Mikroprocesor počítača obsahuje sériu logických obvodov, ktoré spracujú vstupné signály na výstupné.

KONCEPCIA MOLEKULOVÝCH POČÍTAČOV

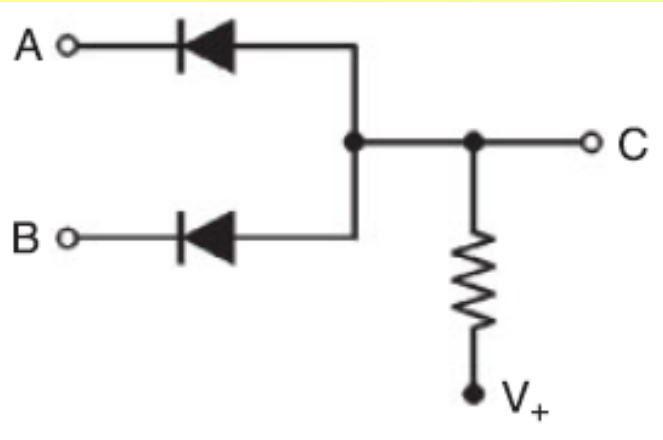
Podobný princíp (spracovanie a ukladanie údajov v dvojkovej sústave), kde by jednotlivé molekuly dokázali spracovávať alebo uchovávať informáciu. Molekuly majú byť prepínateľné medzi dvoma stavmi a je potrebné zvládnuť technológiu čítania ich stavov. Prepínanie: fotochemicky (vstupný signál je svetelný) alebo elektrochemicky (vstupný signál je elektrické napätie)

Čítanie: pomocou optických metód (či absorbujú svetlo alebo po absorpcii svetlo vyžarujú pri danej vlnovej dĺžke). Absorbpcia alebo vyžarovanie svetla pri danej vlnovej dĺžke nad prahovú hodnotu intenzity - informácia vo forme **1**, pod prahovou hodnotou intenzity vo forme **0**.

4. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE MOLEKULOVÉ POČÍTAČE

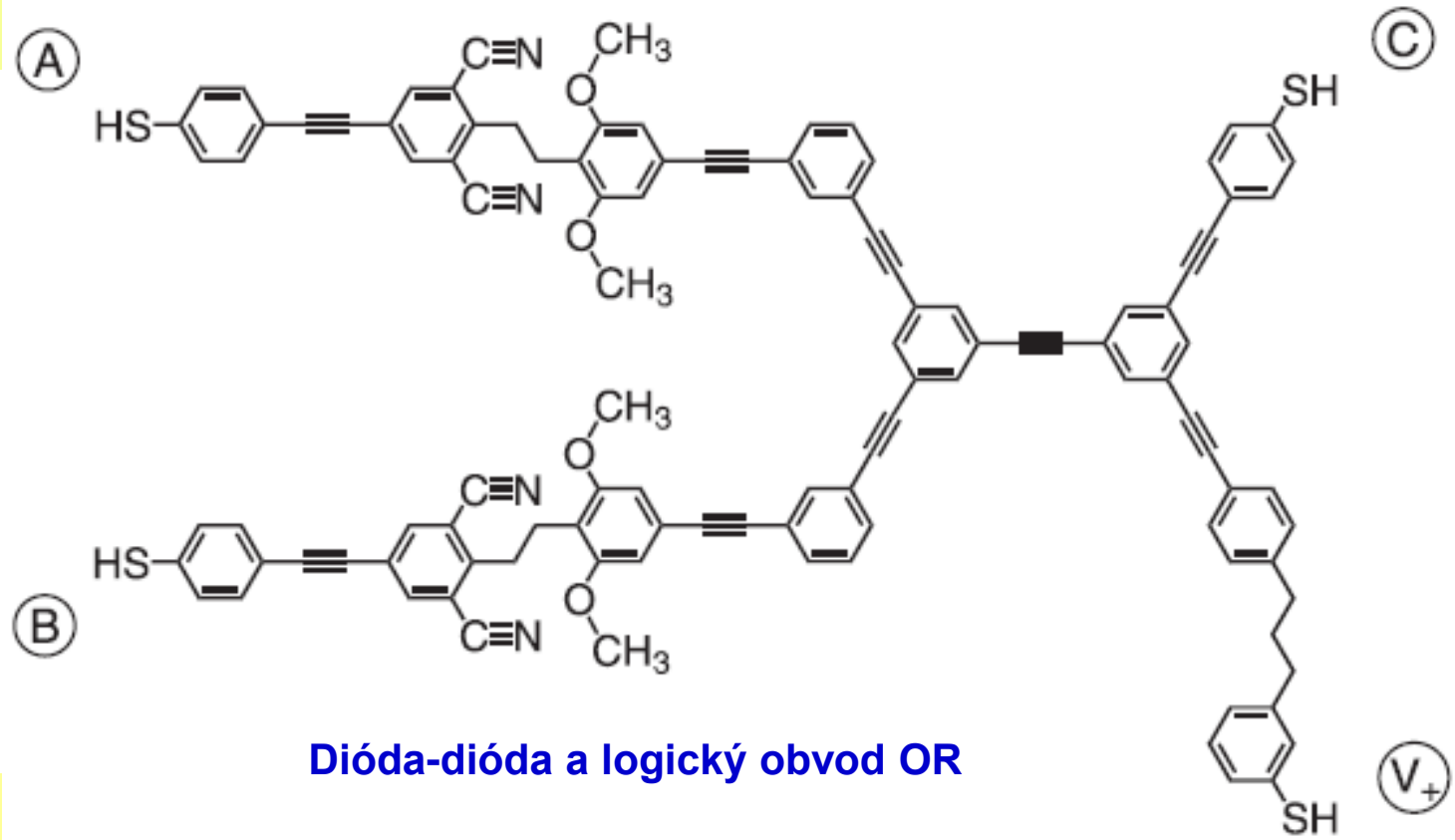
LOGICKÉ OBVODY

3 nm x 4 nm – miliónkrát menší ako polovodičový logický prvok na báze kremíkového polovodiča



AND

| In ₁ | In ₂ | Out |
|-----------------|-----------------|-----|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

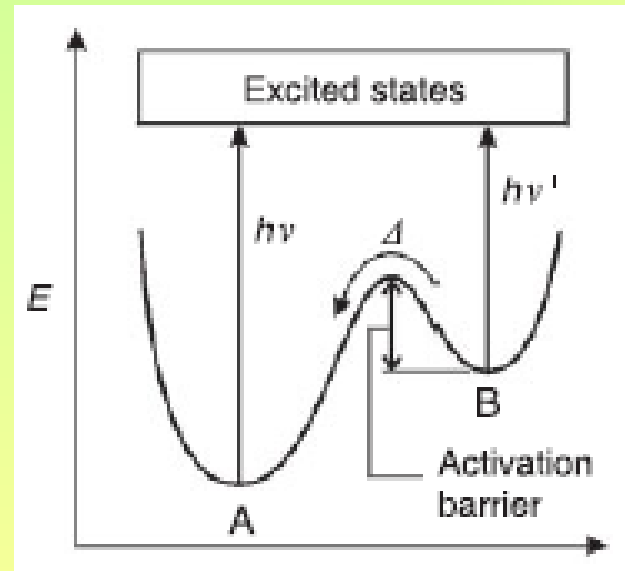
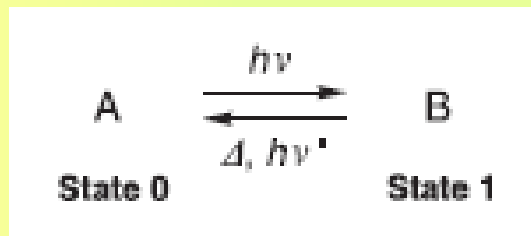


Dióda-dióda a logický obvod OR

4. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PŘE MOLEKULOVÉ POČÍTAČE

PAMÄŤOVÉ MÉDIÁ

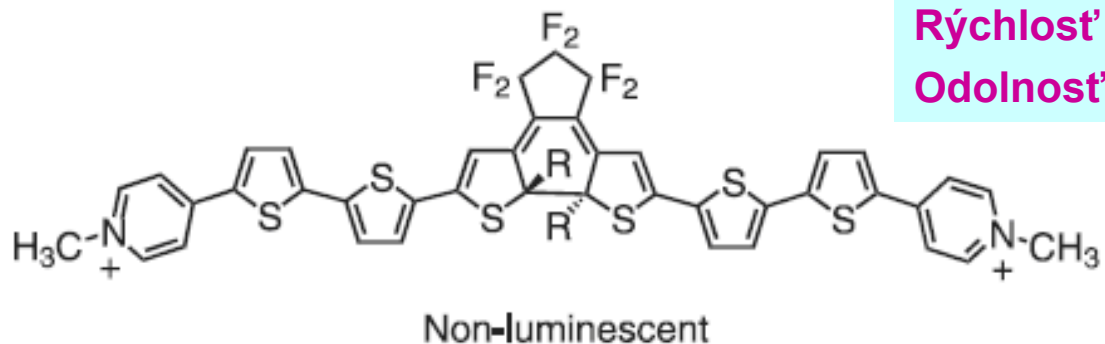
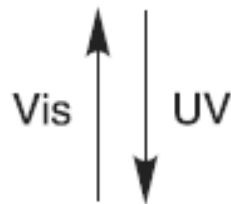
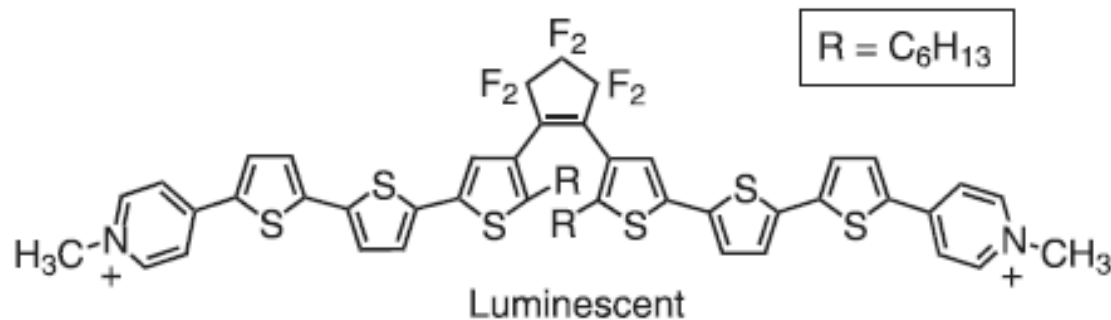
Fotochemická premena zlúčeniny medzi dvoma stavmi (A a B)



4. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE MOLEKULOVÉ POČÍTAČE

PAMÄŤOVÉ MÉDIÁ

Fotochemické prepínanie diaryleténového derivátu



Ukladanie informácie: UV svetlom

Čítanie informácie: fluorescencia
excitáciou pri 400-500 nm

Vymazanie informácie: svetlom pri
vyššej vlnovej dĺžke

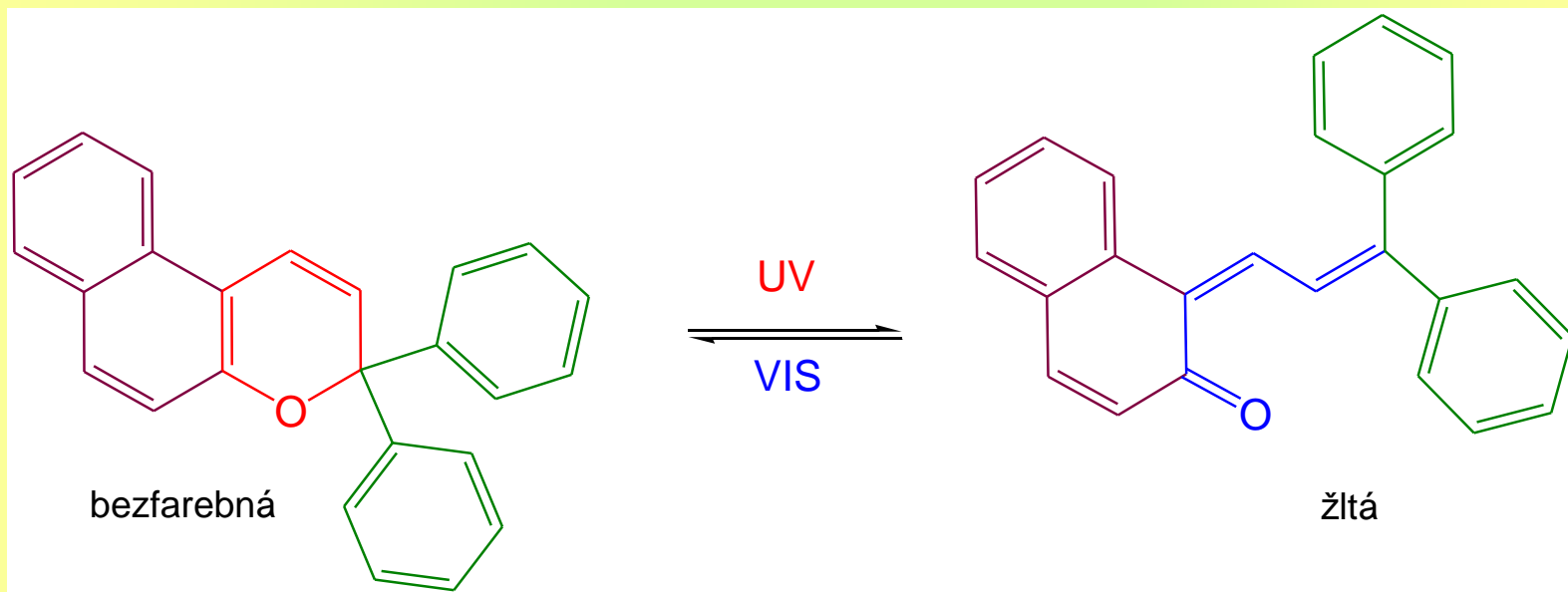
Rýchlosť prepnutia: ps

Odolnosť voči únave: $>10^4$ cyklov

4. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE MOLEKULOVÉ POČÍTAČE

PAMÄŤOVÉ MÉDIÁ

Fotochemické prepínanie naftalénového derivátu



Ukladanie informácie: **UV svetlom**

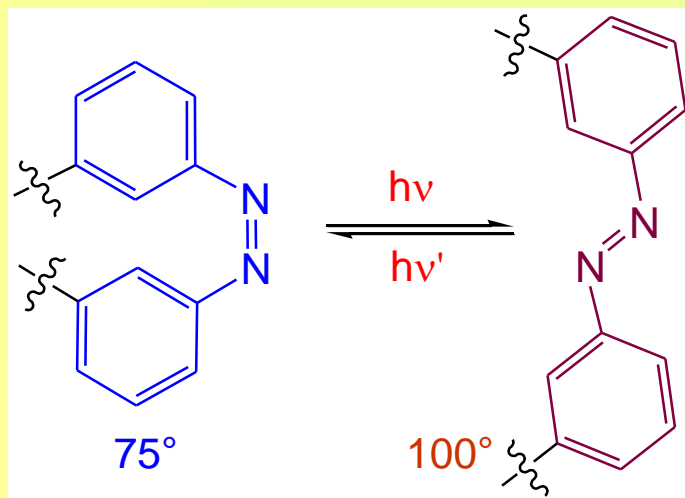
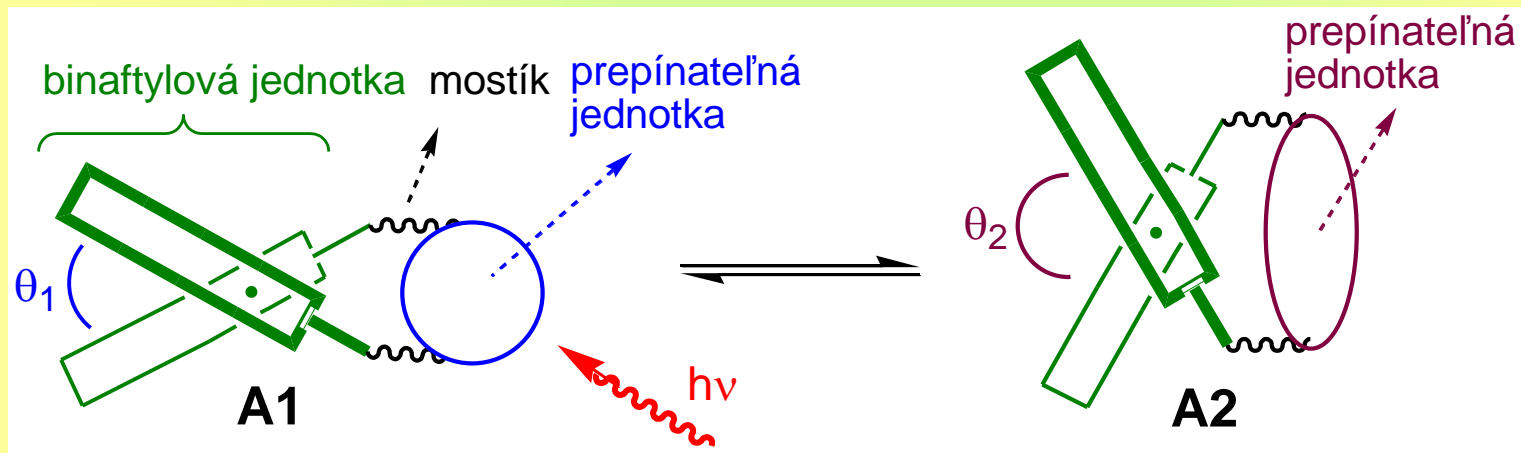
Čítanie informácie: **viditeľným svetlom**

Vymazanie informácie: **viditeľným svetlom**

4. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE MOLEKULOVÉ POČÍTAČE

PAMÄŤOVÉ MÉDIÁ

Fotochemické prepínanie binaftylového derivátu



Ukladanie informácie: **UV svetlom**

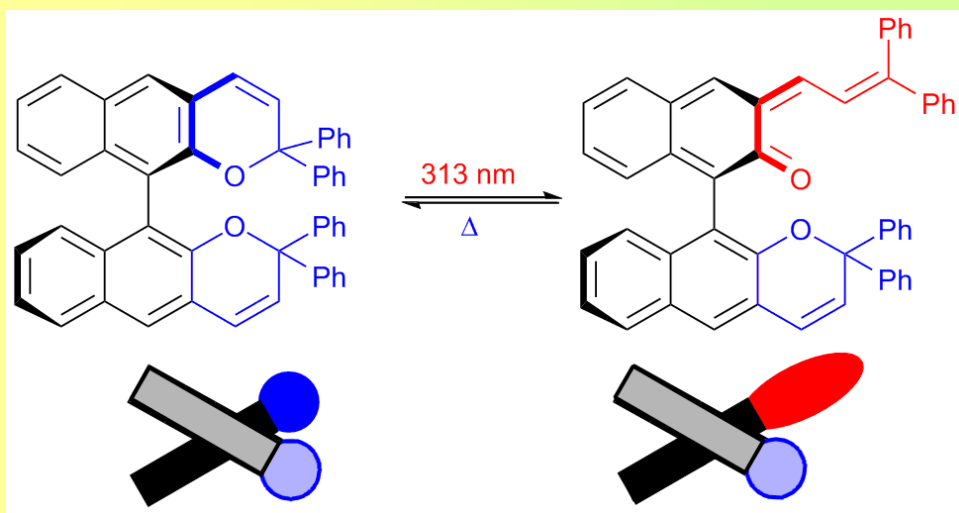
Čítanie informácie: **CD spektroskopiou**

Vymazanie informácie: **svetlom pri vyššej
vlnovej dĺžke**

4. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE MOLEKULOVÉ POČÍTAČE

PAMÄŤOVÉ MÉDIÁ

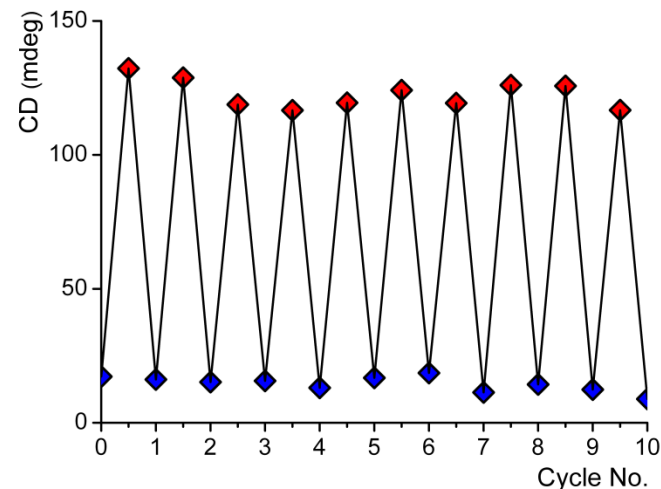
Fotochemické prepínanie binaftylového derivátu



Ukladanie informácie: **UV svetlom**

Čítanie informácie: **CD spektroskopiou**

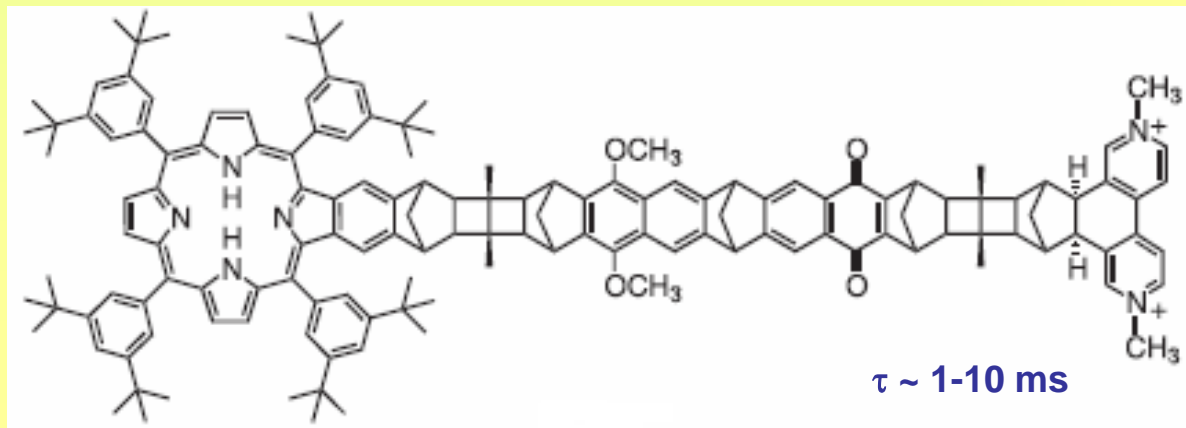
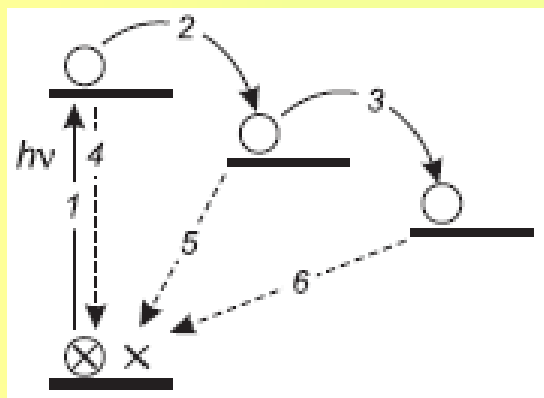
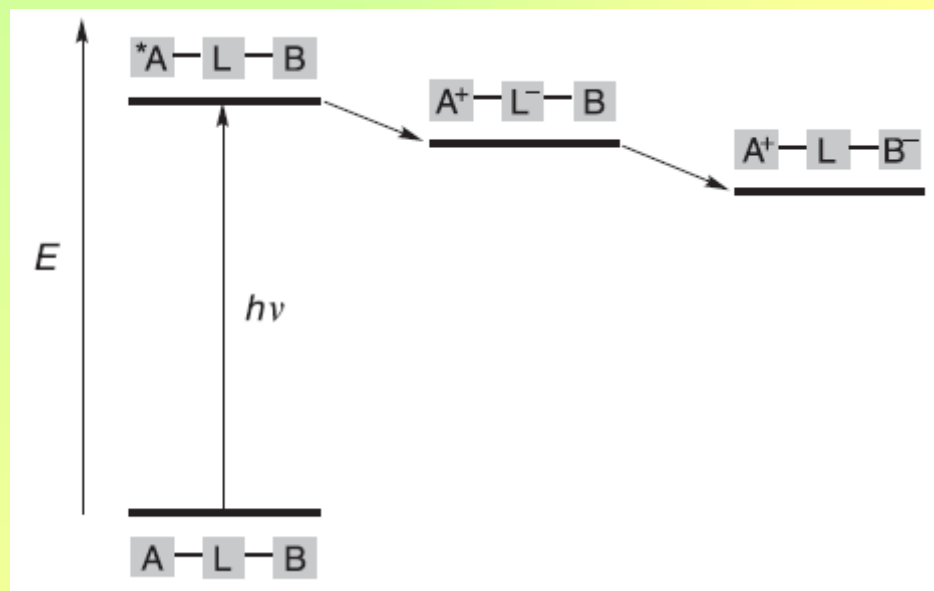
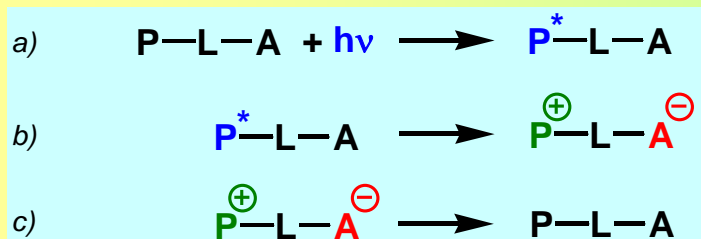
Vymazanie informácie: **teplom**



5. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE OPTOELEKTRONIKU

SOLÁRNE ČLÁNKY

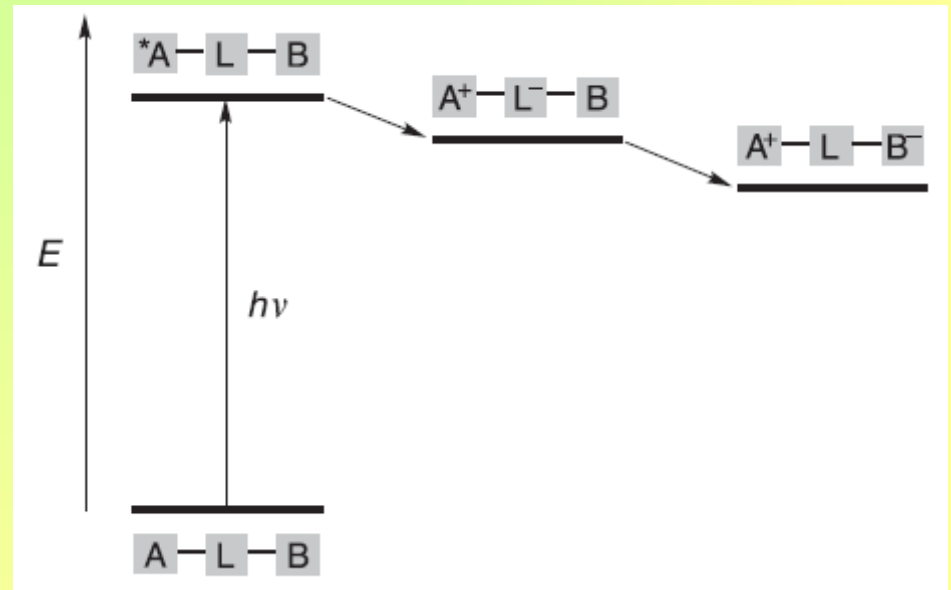
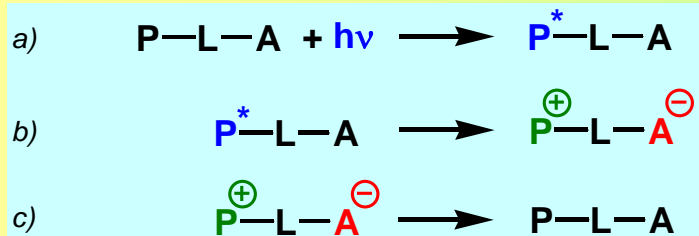
Separácia náboja fotochemickou aktiváciou



5. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE OPTOELEKTRONIKU

SOLÁRNE ČLÁNKY

Separácia náboja fotochemickou aktiváciou

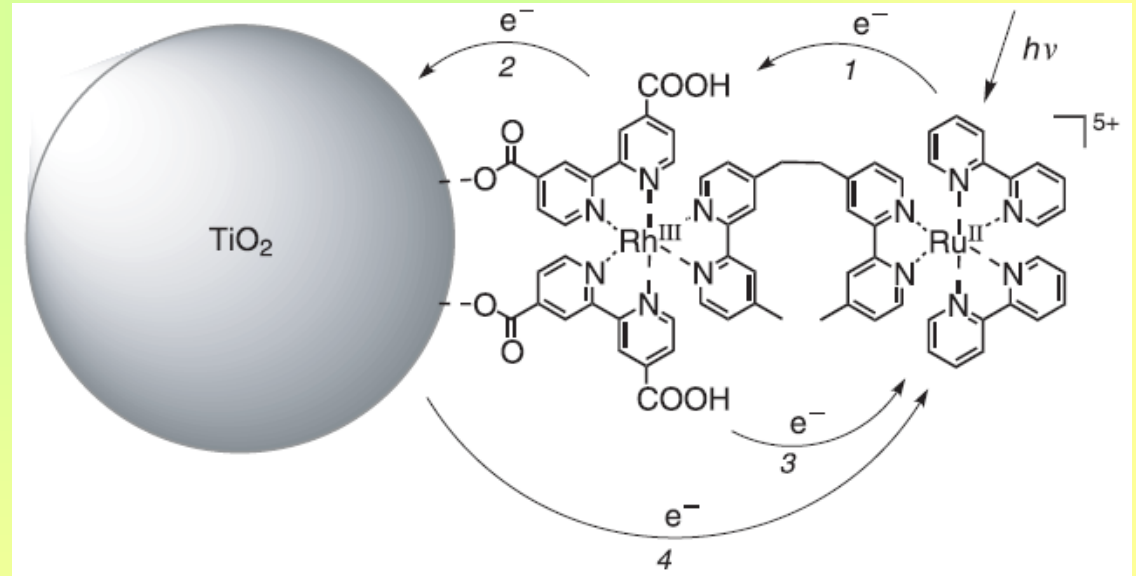
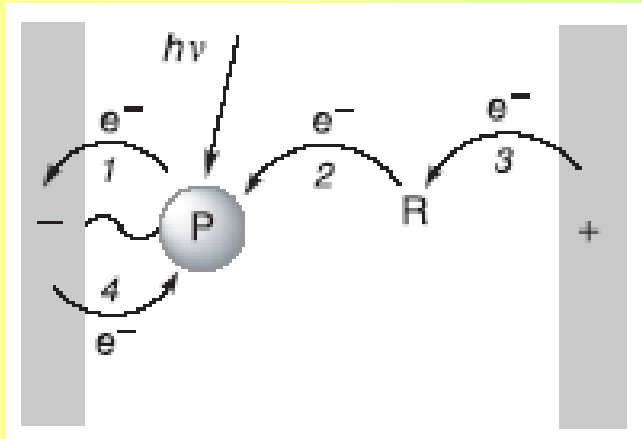


Možnosti využitia preneseného elektrónu:

- prenos na elektródu – generovanie elektrického napätia – solárne elektrické články
- prenos na katalytický systém – redoxné reakcie (napr. fotolýza vody) – solárne palivové články

5. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE OPTOELEKTRONIKU

SOLÁRNE ELEKTRICKÉ ČLÁNKY



Fotoindukovaný prenos elektrónov na nanočastice TiO_2

1: polčas života 30 ns

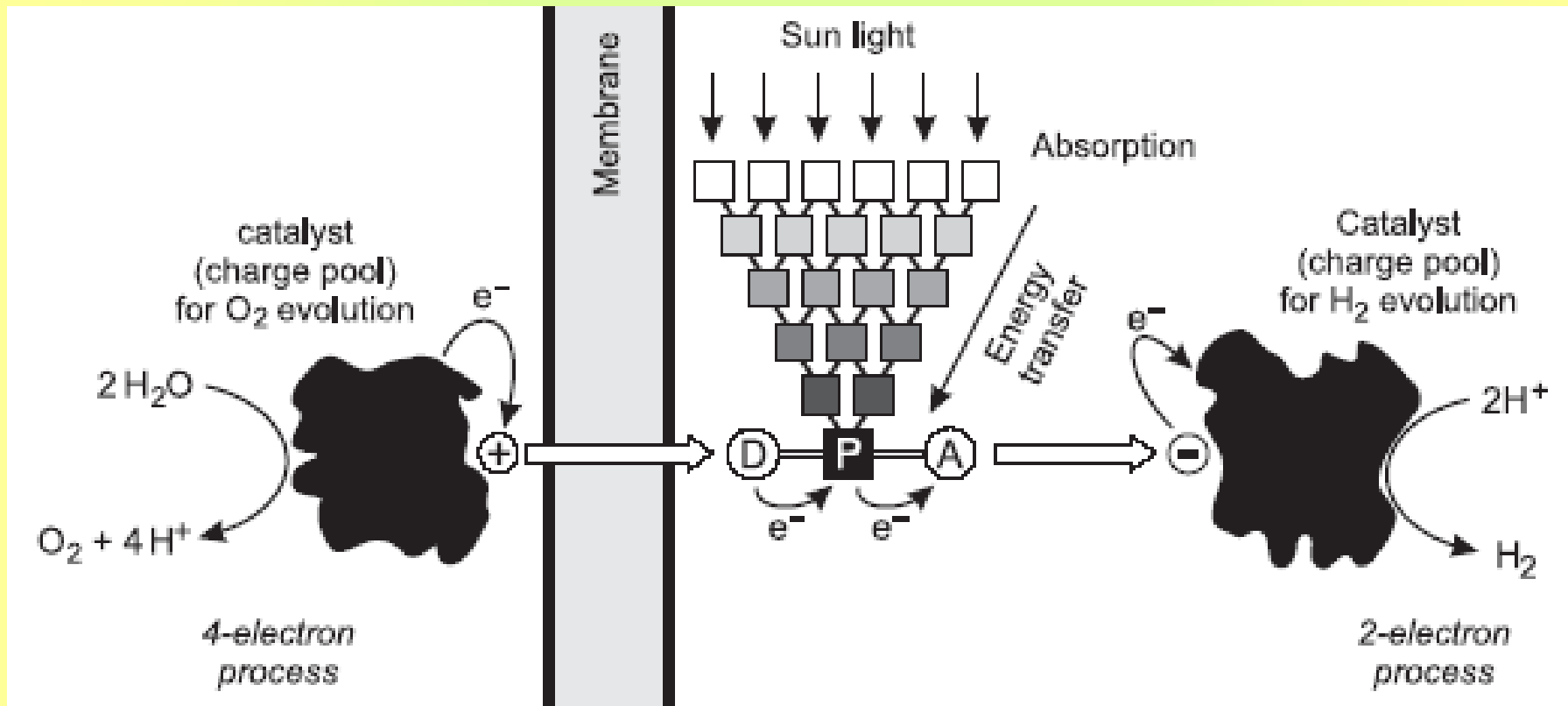
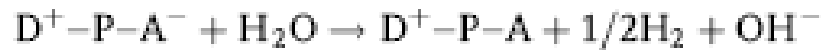
2: polčas života 0,3 ns, 40 % účinnosť - konkurenčná rekombinácia náboja (3)

4: pomalá rekombinácia náboja - polčas života v ms (10^5 -krát pomalšie)

5. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE OPTOELEKTRONIKU

SOLÁRNE PALIVOVÉ ČLÁNKY

Model umelého palivového článku: fotolýza vody na H_2 a O_2



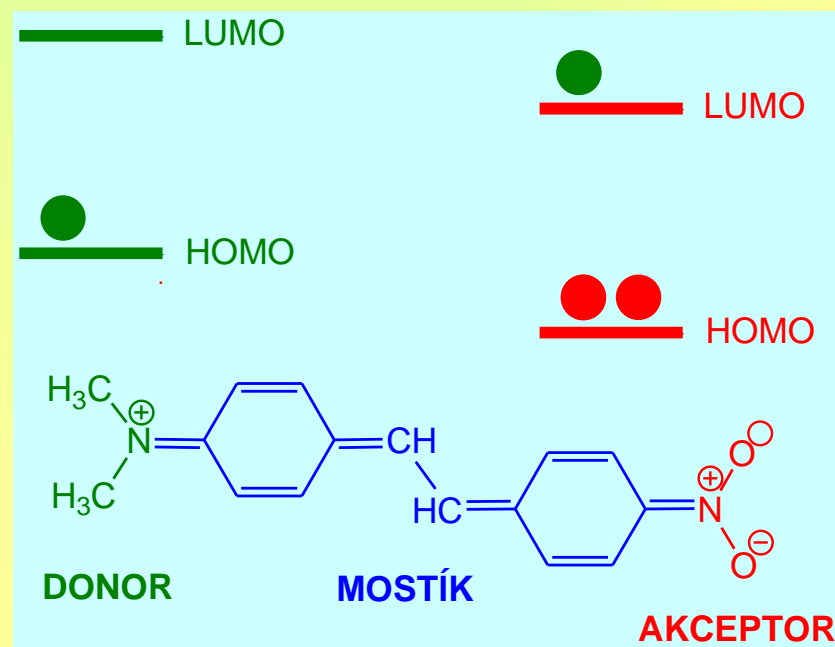
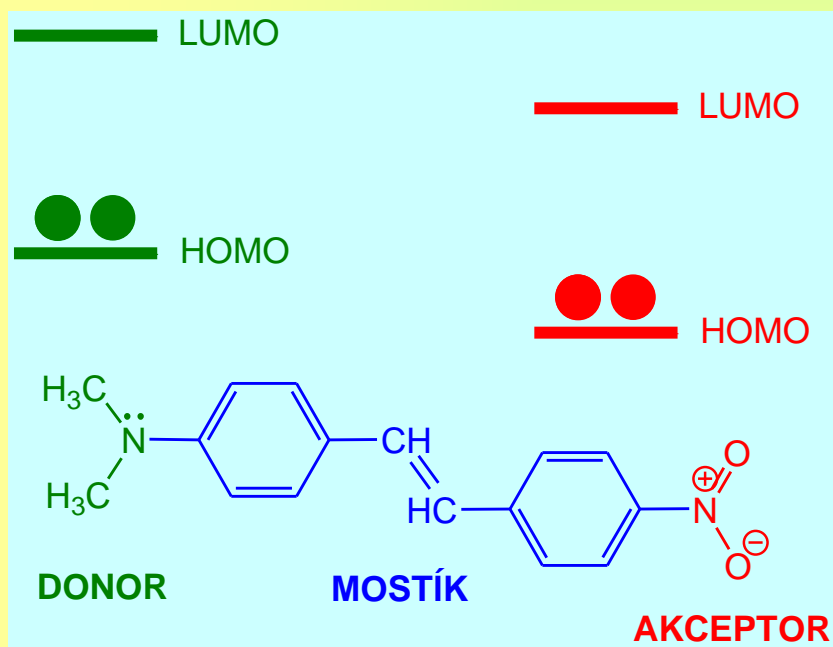
5. ORGANICKÉ ZLÚČENINY PRE OPTOELEKTRONIKU

LASEROVÉ TECHNOLOGIE

Laserové žiarenie: monochromatické svetlo s vysokou intenzitou

Využitie: v chirurgii, moderných telekomunikáciách, pri optickom spracovaní dát, ultrarýchlom spracovaní obrazu, holografii a pod.

Modifikácia laserového žiarenia (napr. vo frekvencii): interakciou žiarenia s polárnymi zlúčeninami, ktoré majú **nelineárne optické vlastnosti**



ZÁVER

SÚČASNÉ POUŽITIE

- svetlocitlivé (fotochrómne) šošovky alebo sklá vratne tmavnúce na svetle,
- solárne články premieňajúce svetlo na elektrickú energiu,
- displeje a obrazovky na báze kvapalných kryštálov (LC),
- veľmi úsporné zdroje svetla a obrazovky na báze organických svetlovyžarujúcich diód (OLED),
- ohybné a ultratenké organické tenkovrstvové tranzistory (TFT) a iné.

OČAKÁVANIA

Smerovanie elektroniky a optoelektroniky k molekulovej úrovni :

kvalitatívny posun v elektronike a optoelektronike

napr. miniaturizácia a zvýšenie výkonnosti a kapacity výpočtovej techniky

s dôsledkami: nižšia spotreba energie, prírodných zdrojov, vyššia úžitková hodnota