

5. Afișaje ale calculatoarelor

- Afișaje cu cristale lichide
- Afișaje cu diode organice
- Afișaje cu hârtie electronică
- Afișaje cu puncte cuantice

Afișaje cu diode organice

- Afișaje cu diode organice
 - Tipuri de diode organice
 - Structura și funcționarea
 - Afișaje cu matrice pasivă
 - Afișaje cu matrice activă
 - Tehnici de generare a culorilor
 - Afișaje transparente și flexibile
 - Aranjamente ale sub-pixelilor
 - Avantaje și dezavantaje

Tipuri de diode organice (1)

- Diode organice (OLED – *Organic Light Emitting Diode*)
 - Formate din straturi de materiale organice
 - Se bazează pe **electroluminescență**
 - În anii 1970, s-au dezvoltat diode OLED bazate pe **polimeri conductivi**
 - Prima diodă OLED practică a fost dezvoltată la firma Eastman Kodak (1987)
 - În 1990 s-a dezvoltat un material pe bază de poli-fenilen de vinil → strat de 100 nm

Tipuri de diode organice (2)

- După mărimea moleculelor, există două tipuri de diode OLED:
 - Cu **molecule mici**: **SM-OLED** (*Small Molecule OLED*)
 - Cu **polimeri**: **P-OLED** (*Polymer OLED*), **LEP** (*Light Emitting Polymer*)
- Ambele tipuri generează lumină prin formarea **electronilor** și a **golurilor**, iar apoi prin recombinarea lor

Tipuri de diode organice (3)

- Diode OLED cu molecule mici (SM-OLED)
 - Folosite la majoritatea afișajelor OLED
 - Se utilizează un proces de **evaporare în vid**
 - **Avantaje:** se pot forma filme omogene și structuri complexe cu **straturi multiple**
 - **Dezavantaj:** proces costisitor
 - Materiale: **vopsele fluorescente**
 - Absorb lumina și o emit la o altă lungime de undă
 - Cercetări pentru dezvoltarea materialelor SM-OLED **solubile**
 - Permit utilizarea tehnologiilor cu costuri reduse

Tipuri de diode organice (4)

- Diode OLED cu polimeri (P-OLED)
 - Necesită tensiuni mai reduse
 - Se pot procesa sub formă de **soluții**
 - Tehnologii: imprimare cu jet de cerneală; acoperire prin centrifugare
 - **Avantaj**: cost mai redus față de evaporarea în vid
 - Materiale: poli-fenilen de vinil (PPV), poli-fluorină (PF)



Materiale P-OLED (Sursa: Sumitomo Chemical)

Tipuri de diode organice (5)

- După tipul emisiei, există diode OLED fluorescente și fosforescente
- Diode OLED fluorescente
 - Fluorescența: emisia luminii vizibile de un material în urma absorbției energiei
 - Energia este re-emisă atunci când electronii revin la nivelul de energie inițial
 - Revenirea are loc aproape instantaneu (10^{-8} s)
 - Încetează imediat ce sursa de energie este eliminată

Tipuri de diode organice (6)

- Diode OLED fosforescente
 - Fosforescența: emisia luminii de un material expus la o formă de radiație
 - Emisia se menține și după ce radiația a fost eliminată
- Termeni referitori la fizica particulelor
 - Spin
 - Moment unghiular pe care îl au particulele elementare și cele compuse
 - Se măsoară în multiplii unității Dirac (\hbar) → de obicei, unitatea \hbar este omisă

Tipuri de diode organice (7)

- Cantitate **vectorială**: are o direcție și mărime
- **Direcția spinului**: direcția indicată de vectorul de spin
- **Mărimea spinului**: indicată de **numărul cuantic de spin (s)**
- Pentru **fermioni**, particule din care este formată materia cunoscută: **s** este $1/2, 3/2$
- Particule cu **spin $1/2$** : două orientări într-un câmp magnetic, cu spinul indicând în direcția **$+z$** sau **$-z$**
- Atunci când doi fermioni se află pe aceeași orbită, trebuie să aibă stări cuantice diferite (principiul de excluziune al lui **Pauli**) $\rightarrow s = 0$

Tipuri de diode organice (8)

- *Stare singlet*

- Obținută atunci când două particule cu spin $\frac{1}{2}$ sunt combinate
- Dacă particulele au **spini cu direcția opusă**, spinul total este $s = 0 \rightarrow$ o singură stare cuantică

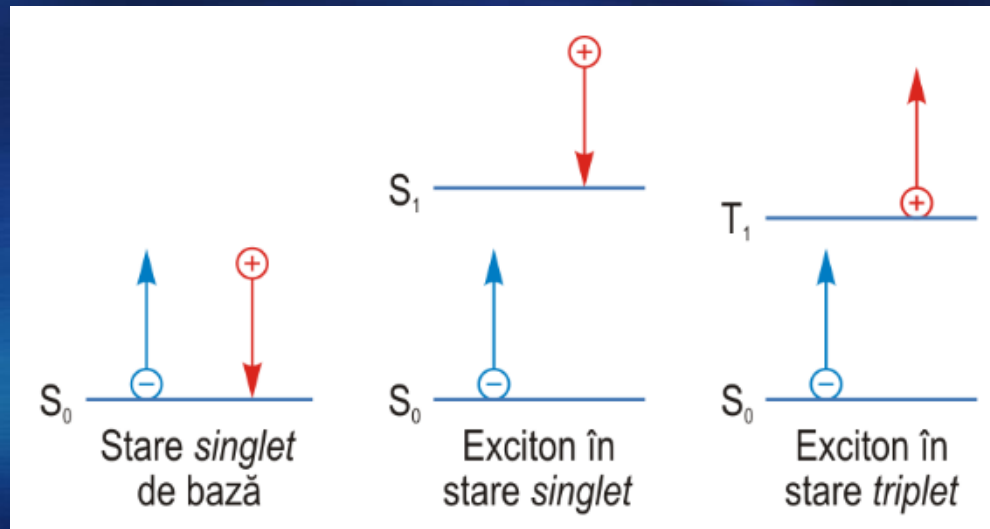
- *Stare triplet*

- Set de trei stări cuantice ale unei particule elementare sau ale unei combinații de particule
- Fiecare stare are un spin total $s = 1$
- Combinație de două particule cu **spin $\frac{1}{2}$** : direcțiile de spin sunt aceleași

Tipuri de diode organice (9)

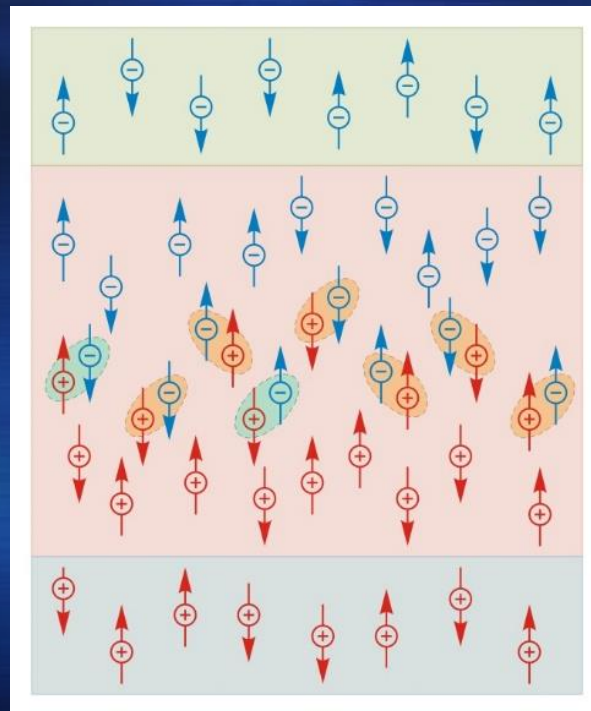
Excitoni

- Se formează atunci când **electronii și golurile** dintr-un semiconductor absorb energie
- Rezultă perechi **electron-gol** → excitoni în starea *singlet* sau în starea *triplet*



Tipuri de diode organice (10)

- Formarea unei stări *triplet* este mai probabilă
- Starea *triplet*: set de trei stări cuantice → 75% din excitoni vor fi în starea *triplet*



Tipuri de diode organice (11)

- Diode OLED fluorescente:
 - Numai stările *singlet* contribuie la emisia luminii
 - Eficiența este limitată la 25%
- Diode OLED fosforescente:
 - Introducerea atomilor de metale grele în stratul emițător facilitează tranziția din starea *triplet* în cea *singlet* → emisia luminii
 - Și starea *singlet* contribuie la emisia luminii
 - Eficiența se apropie de 100%

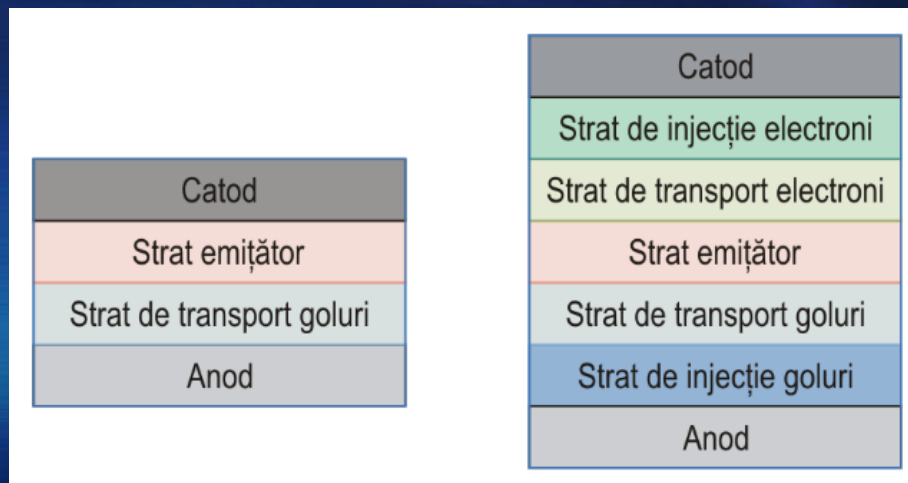
Afișaje cu diode organice

- Afișaje cu diode organice
 - Tipuri de diode organice
 - Structura și funcționarea
 - Afișaje cu matrice pasivă
 - Afișaje cu matrice activă
 - Tehnici de generare a culorilor
 - Afișaje transparente și flexibile
 - Aranjamente ale sub-pixelilor
 - Avantaje și dezavantaje

Structura și funcționarea (1)

● Diode SM-OLED

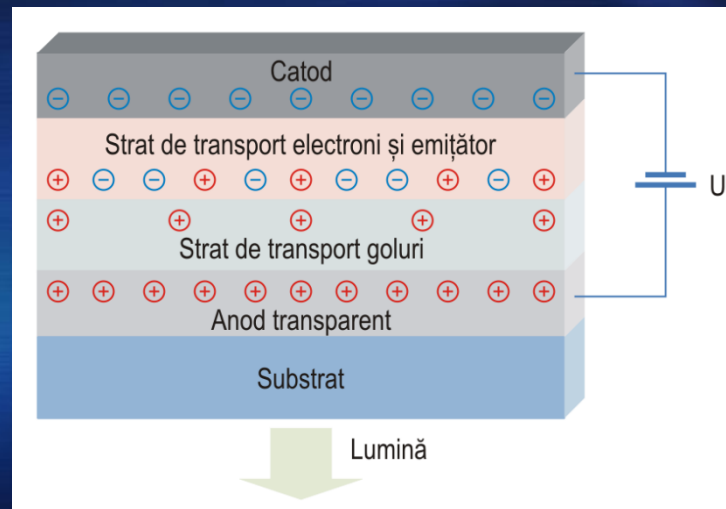
- Primele diode utilizau un **singur strat** organic inserat între un anod și un catod
- Diode dezvoltate la Kodak: **două straturi**
- Diode actuale: **straturi multiple**



Structura și funcționarea (2)

● Diode P-OLED

- Utilizează structuri mai simple
- Pot conține doar două straturi de polimeri
- **Catod**: oglindă metalică (de ex., fluorură de litiu)
- **Anod**: transparent (ITO)



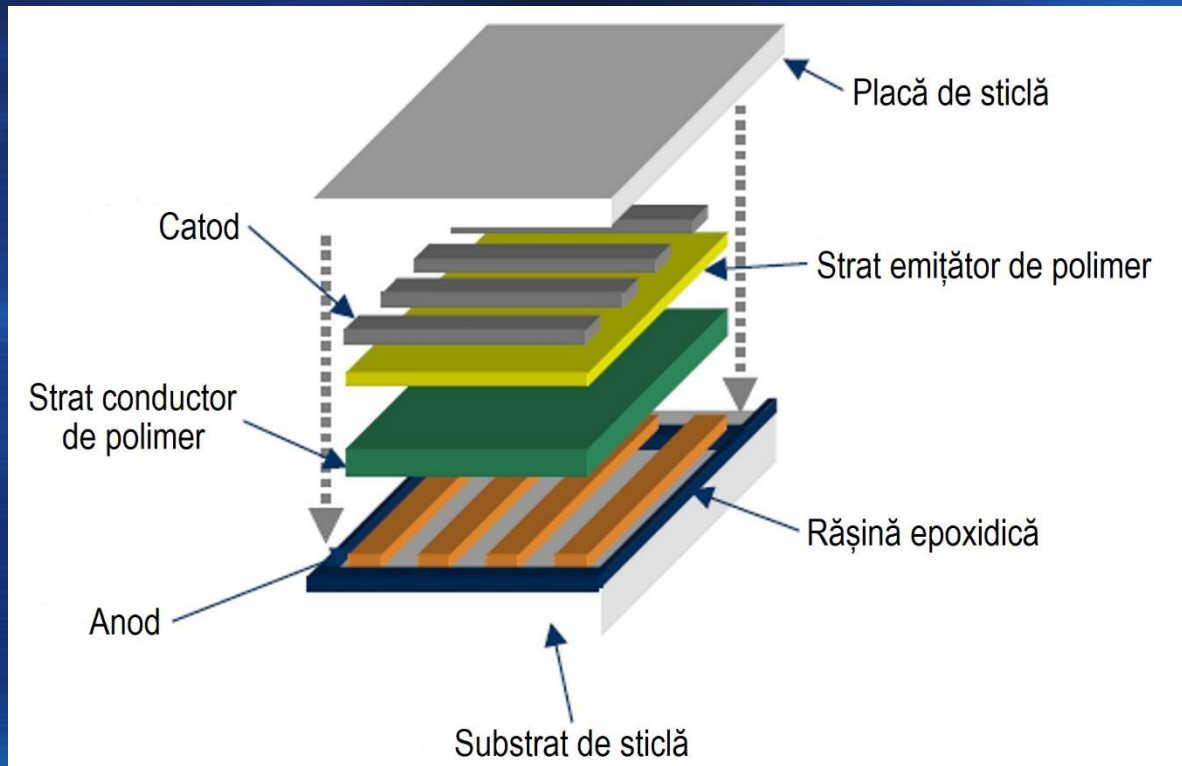
Structura și funcționarea (3)

- Dacă se aplică o tensiune între electrozi:
 - Prin straturile organice va circula un curent de electroni (catod → anod)
 - **Electronii și golurile** se atrag reciproc prin forțe electrostatice
 - Un electron și un gol se pot recombina → **exciton** într-o stare *singlet* sau *triplet*
 - În funcție de tipul materialului emițător, dezintegrarea stării *singlet* sau *triplet* eliberează energia sub forma unui foton

Structura și funcționarea (4)

- Afișaje OLED cu emisie în sus
 - Catod transparent non-metalic (sus)
 - Anod reflectiv (jos)
 - Avantaj: integrarea simplă a tranzistoarelor la afișajele cu matrice activă
- Afișaje OLED cu emisie în jos
 - Catod metalic reflectiv (sus)
 - Anod transparent (jos)
 - Luminozitatea este limitată de transparența anodului și a tranzistoarelor (matrice activă)

Structura și funcționarea (5)



Structura unui afișaj OLED cu emisie în jos

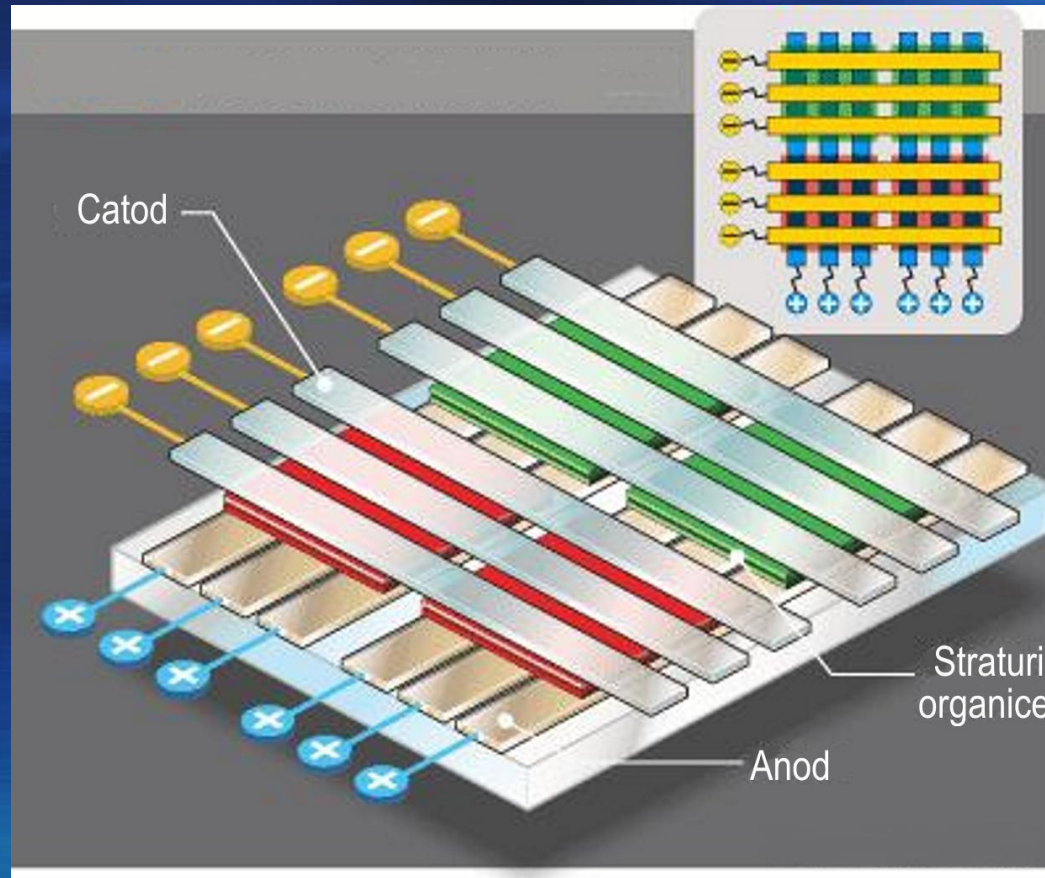
Afișaje cu diode organice

- Afișaje cu diode organice
 - Tipuri de diode organice
 - Structura și funcționarea
 - Afișaje cu matrice pasivă
 - Afișaje cu matrice activă
 - Tehnici de generare a culorilor
 - Afișaje transparente și flexibile
 - Aranjamente ale sub-pixelilor
 - Avantaje și dezavantaje

Afișaje cu matrice pasivă (1)

- **PMOLED** (*Passive-Matrix OLED*)
- **Driver** atașate fiecărui electrod
 - Liniile de pixeli sunt selectate succesiv
 - Se aplică o anumită tensiune pe coloanele liniei selectate → un **curent electric**
- **Avantaj**: costurile de fabricație sunt reduse
- **Dezavantaje**: sunt necesari curenți relativ intensi → consum de energie ridicat; sunt potrivite numai pentru ecrane mici

Afișaje cu matrice pasivă (2)



Imagine originală © HowStuffWorks, Inc.

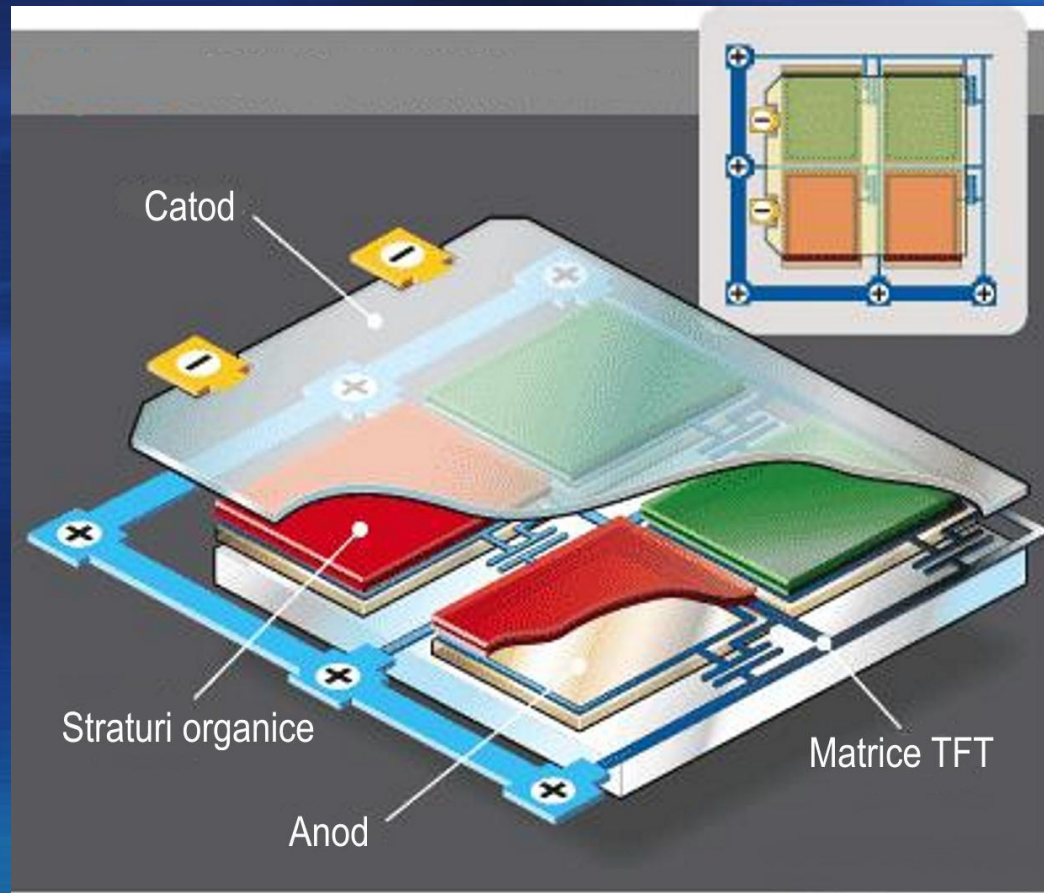
Afișaje cu diode organice

- Afișaje cu diode organice
 - Tipuri de diode organice
 - Structura și funcționarea
 - Afișaje cu matrice pasivă
 - Afișaje cu matrice activă
 - Tehnici de generare a culorilor
 - Afișaje transparente și flexibile
 - Aranjamente ale sub-pixelilor
 - Avantaje și dezavantaje

Afișaje cu matrice activă (1)

- **AMOLED** (*Active-Matrix OLED*)
- Matrice de **tranzistoare cu film subțire** (TFT)
- Sunt necesare **două tranzistoare** TFT și un **condensator** pentru fiecare sub-pixel
 - Primul TFT: încărcarea condensatorului
 - Al doilea TFT: furnizarea tensiunii corecte
- **Avantaje**: rate de reîmprospătare mai ridicate; luminozitate mai ridicată; consum de energie mai redus

Afișaje cu matrice activă (2)



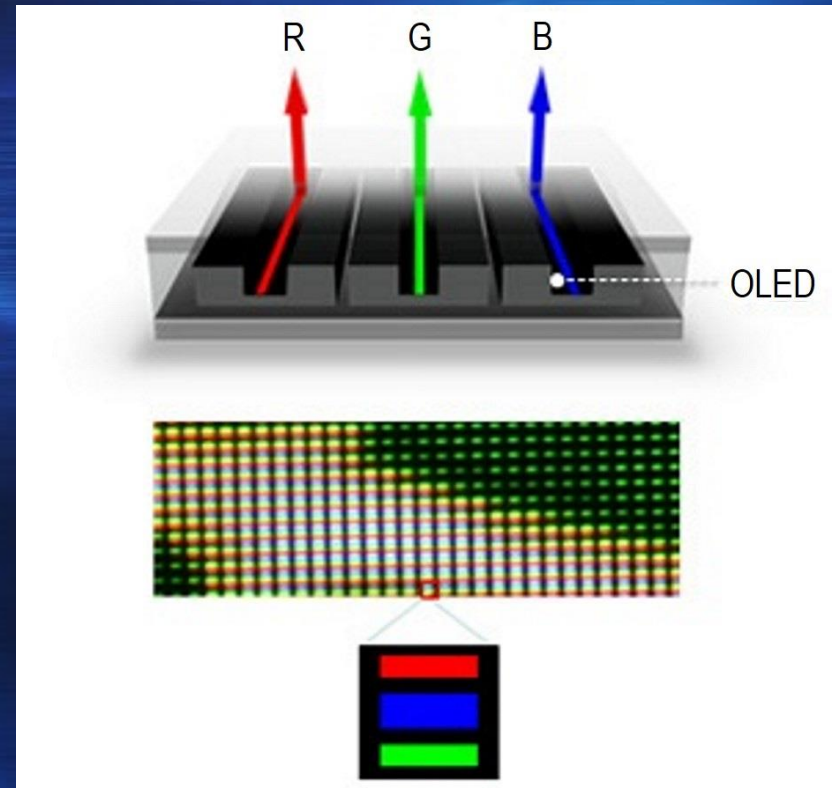
Imagine originală © HowStuffWorks, Inc.

Afișaje cu diode organice

- Afișaje cu diode organice
 - Tipuri de diode organice
 - Structura și funcționarea
 - Afișaje cu matrice pasivă
 - Afișaje cu matrice activă
 - Tehnici de generare a culorilor
 - Afișaje transparente și flexibile
 - Aranjamente ale sub-pixelilor
 - Avantaje și dezavantaje

Tehnici de generare a culorilor (1)

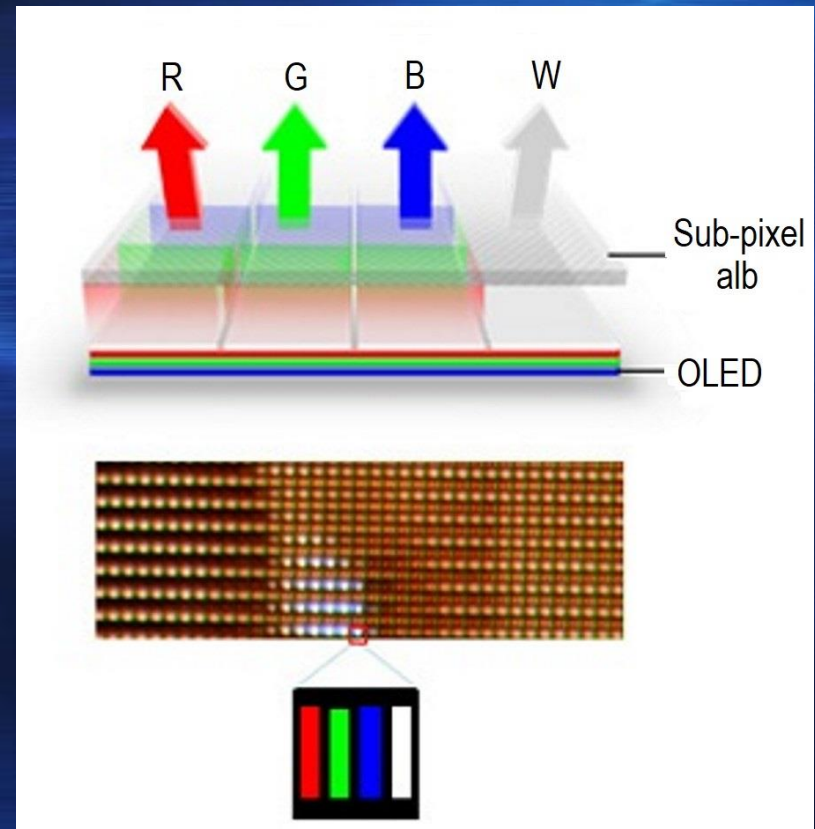
- Diode OLED cu emisie directă (RGB OLED)
 - Utilizează sub-pixeli R, G, B → partiționarea materialelor organice
 - Eficiență luminoasă ridicată
 - Proces de fabricație mai complex
 - Echilibrul culorilor se poate modifica în timp



Imaginea originală © LG Display

Tehnici de generare a culorilor (2)

- Diode OLED cu emisia luminii albe (WOLED)
 - Straturile de emisie sunt depuse în mod uniform → lumină albă
 - Două straturi: albastru și galben
 - Se depun filtrele de culoare partiționate în sub-pixeli (R, G, B)
 - Se adaugă un al patrulea sub-pixel alb (W) → crește eficiența



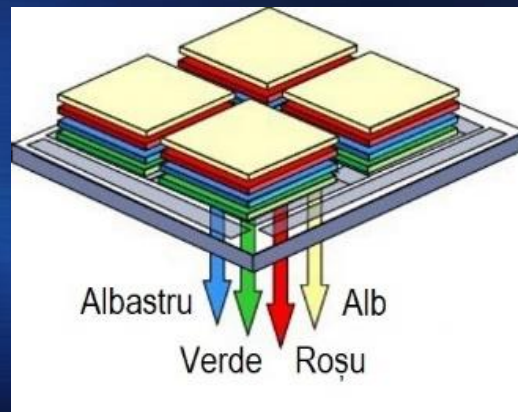
Imaginea originală © LG Display

Tehnici de generare a culorilor (3)

- Depunerea filtrelor de culoare: metode fotolitografice, utilizate și la afișajele LCD
- **Avantaje:**
 - Proces de fabricație mai simplu și scalabil
 - Costuri de producție mai reduse
 - Nu apar probleme de echilibru a culorilor
- **Dezavantaje:**
 - Eficiență mai redusă din cauza filtrelor de culoare
 - Cost suplimentar al filtrelor de culoare și a adresării mai complexe (patru sub-pixeli)

Tehnici de generare a culorilor (4)

- **Diode OLED stivuite (SOLED - *Stacked OLED*)**
 - Fiecare pixel conține emițătoare R, G și B
 - Emițătoarele sunt stivuite pe verticală, separate prin electrozi transparenti
 - Avantaj: posibilitatea creșterii rezoluției
 - Se poate adăuga o diodă OLED albă

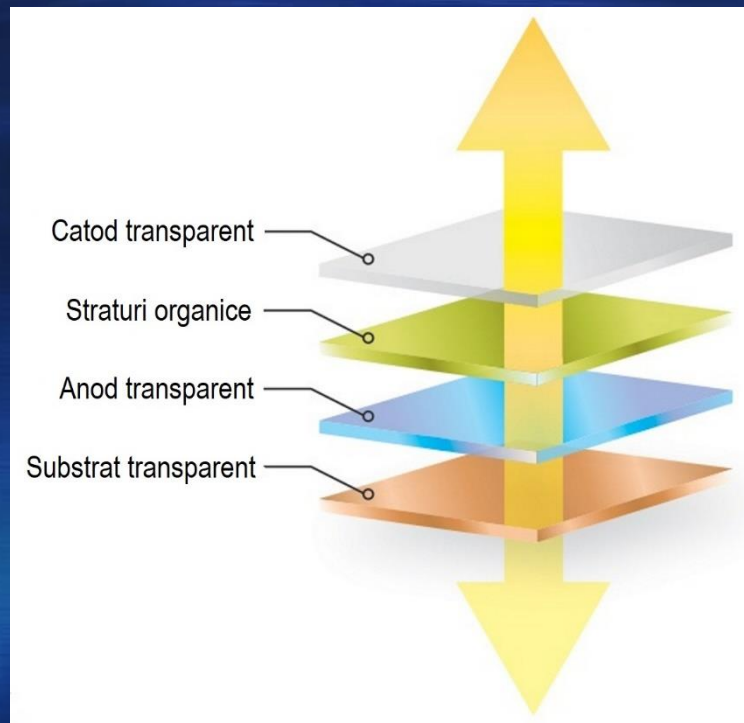


Afișaje cu diode organice

- Afișaje cu diode organice
 - Tipuri de diode organice
 - Structura și funcționarea
 - Afișaje cu matrice pasivă
 - Afișaje cu matrice activă
 - Tehnici de generare a culorilor
 - Afișaje transparente și flexibile
 - Aranjamente ale sub-pixelilor
 - Avantaje și dezavantaje

Afișaje transparente și flexibile (1)

- **TOLED** (*Transparent OLED*)
 - Anodul și catodul sunt transparente



Imaginea originală © Universal Display Corporation

Afișaje transparente și flexibile (2)

- Pixeli inactivi: transparența poate fi de 85%
- Adresare cu matrice activă: transparența este mai redusă
- Exemplu de material: **PEDOT:PSS**
 - Polimer bazat pe politiofen și polistiren sulfonat
 - Material conductiv cu eficiență ridicată
 - Transparent și ușor de prelucrat
 - Se poate utiliza ca strat de transport goluri și pentru înlocuirea electrozilor ITO

Afișaje transparente și flexibile (3)

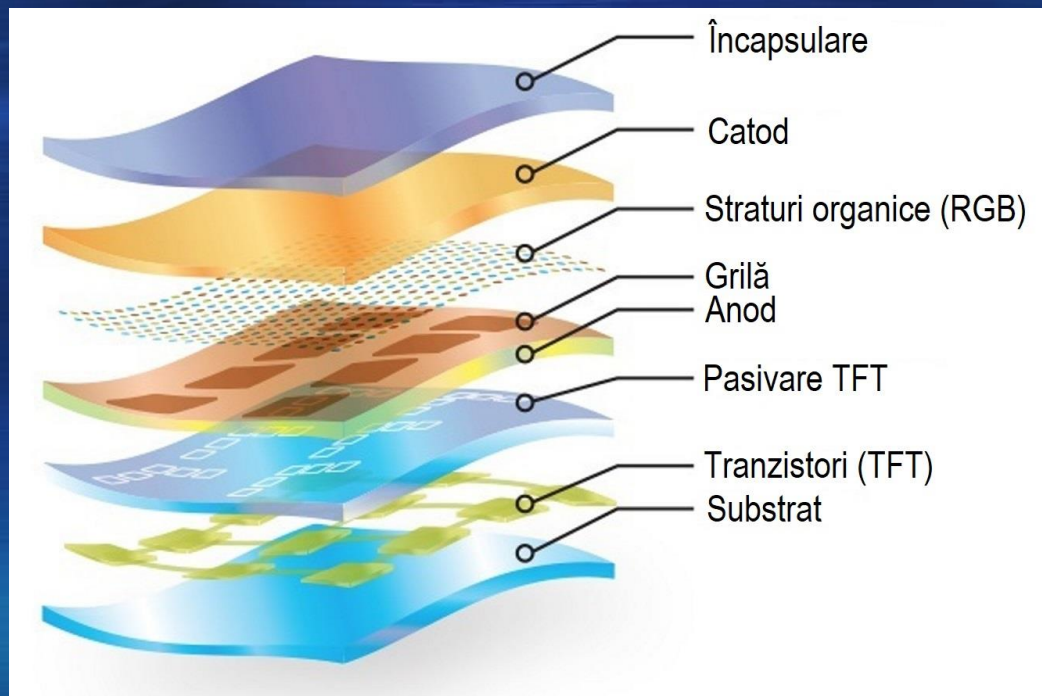


© Samsung Display

Afișaje transparente și flexibile (4)

- **FOLED** (*Flexible OLED*)

- Substrat de plastic sau folie metalică



Imaginea originală © Universal Display Corporation

Afișaje transparente și flexibile (5)

- Afișaje curbate
 - Curbate ușor de către producător
- Afișaje pliabile
 - Se pot îndoii cu o rază de curbură redusă
 - Exemple: Royole FlexPai, Samsung Galaxy Z Fold5



© Royole Corporation



© Samsung Electronics

Afișaje transparente și flexibile (6)

- Afișaje rulabile
 - Aparate TV care se rulează într-un cilindru
 - Tablete care se rulează sub forma unui creion
 - Exemplu: LG Signature OLED TV R (LG Display)



© LG Display

Afișaje cu diode organice

- Afișaje cu diode organice
 - Tipuri de diode organice
 - Structura și funcționarea
 - Afișaje cu matrice pasivă
 - Afișaje cu matrice activă
 - Tehnici de generare a culorilor
 - Afișaje transparente și flexibile
 - Aranjamente ale sub-pixelilor
 - Avantaje și dezavantaje

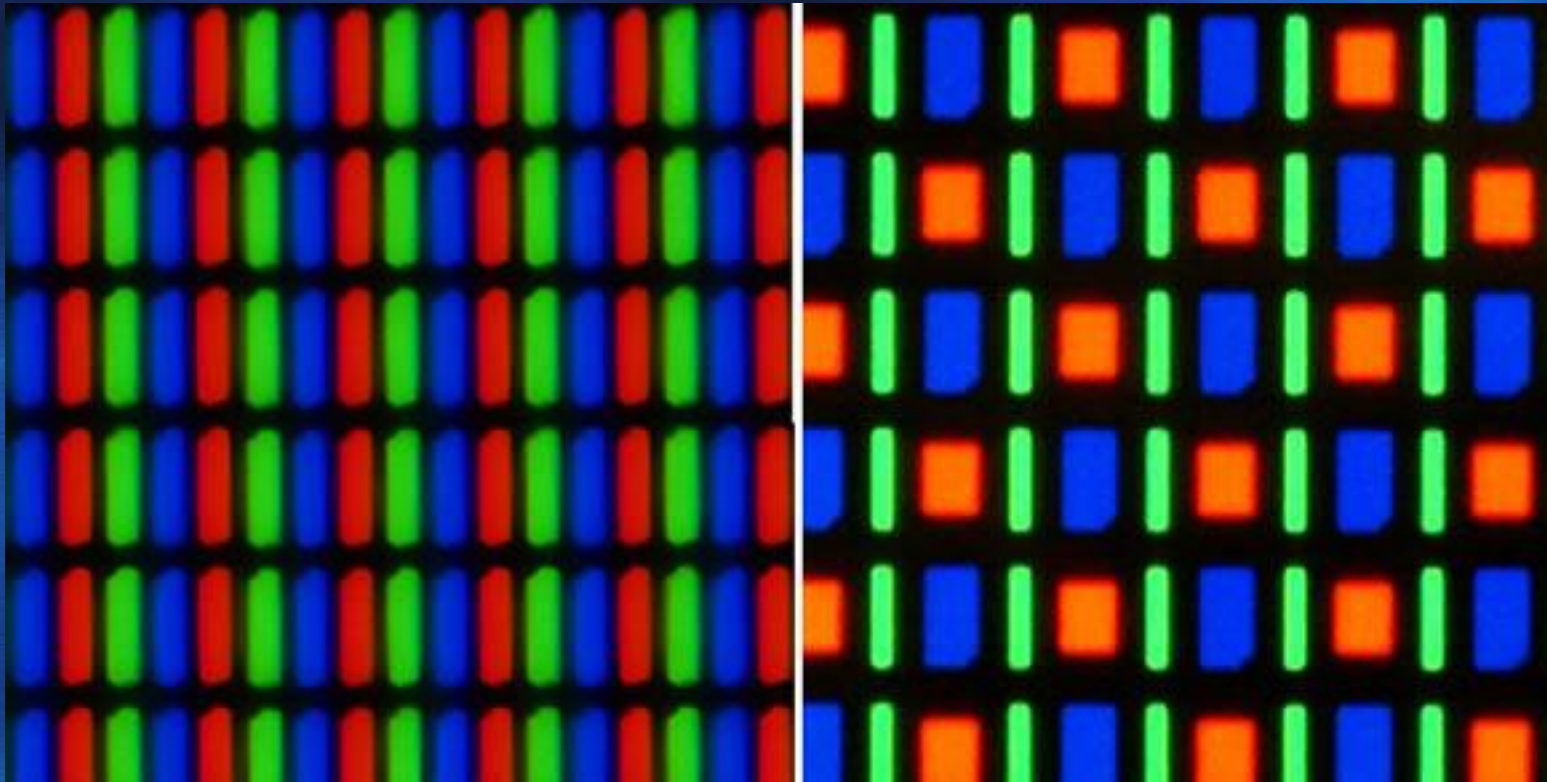
Aranjamente ale sub-pixelilor (1)

- Aranjament convențional: RGB
- Aranjament PenTile RG-B-RG
 - Inspirat de particularitățile retinei umane → mai puțini senzori pentru culoarea albastră
 - Utilizează algoritmi brevetați pentru **maparea sub-pixelilor**
 - Fiecărui pixel de intrare îi corespunde un pixel logic → centrat în sub-pixelul roșu sau în sub-pixelul verde

Aranjamente ale sub-pixelilor (2)

- Aranjament PenTile RG-BG
 - Sub-pixeli G, alternând cu sub-pixeli R și B
 - Imaginea de intrare este mapată la sub-pixeli → corespondență 1:1 numai pentru sub-pixeli G
 - Se utilizează numai **doi sub-pixeli** pentru un pixel → densitatea sub-pixelilor poate fi redusă
 - Rezoluția informației de luminanță nu este afectată în mod semnificativ
 - **Dezavantaj:** structura pixelilor poate fi mai vizibilă

Aranjamente ale sub-pixelilor (3)

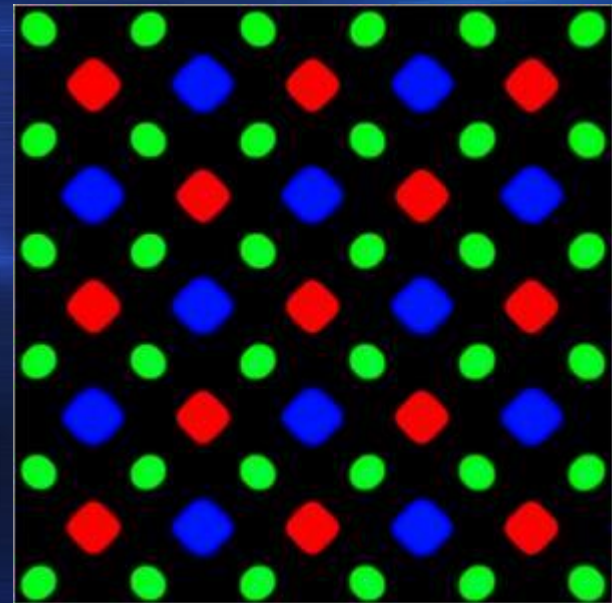


Aranjament RGB (stânga) și PenTile RG-BG (dreapta)
(Sursa: Stuff-Review)

Aranjamente ale sub-pixelilor (4)

● Aranjament Diamond Pixel

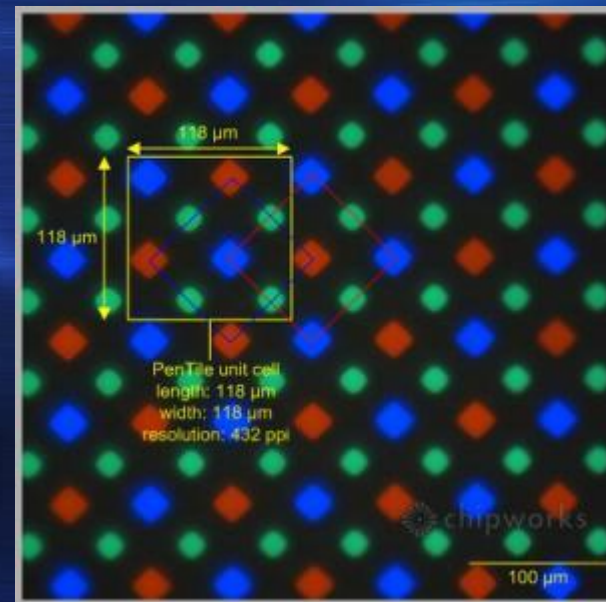
- Dezvoltat de Samsung Electronics
- Numărul sub-pixelilor G este dublu față de cel al sub-pixelilor R și B
- Formă ovală pentru sub-pixelii G
- Formă de romb pentru sub-pixelii R și B



Sursa: DisplayMate Technologies Corporation

Aranjamente ale sub-pixelilor (5)

- Aranjament Diamond Pixel modificat
 - Utilizat începând cu seria Galaxy S5
 - Toți sub-pixelii au formă de romb
 - Sub-pixelii B au aceeași dimensiune cu cei R → eficiență îmbunătățită a materialului B
 - Densități de peste 400 sau 500 pixeli/inch (PPI)



Sursa: DisplayMate Technologies Corporation

Afișaje cu diode organice

- Afișaje cu diode organice
 - Tipuri de diode organice
 - Structura și funcționarea
 - Afișaje cu matrice pasivă
 - Afișaje cu matrice activă
 - Tehnici de generare a culorilor
 - Afișaje transparente și flexibile
 - Aranjamente ale sub-pixelilor
 - Avantaje și dezavantaje

Avantaje și dezavantaje (1)

● Avantaje

- Contrast ridicat, static ($>1.000.000:1$) și dinamic
- Unghiuri de vizualizare mari → fără deplasarea culorii
- Gamă largă de culori
- Timp de răspuns redus (0,01 ms .. 1 ms)
- În medie, consumul de energie este mai redus comparativ cu afișajele LCD (40% .. 80%)
- Substratul de plastic este ușor
- Se pot realiza afișaje transparente și flexibile

Avantaje și dezavantaje (2)

● Dezavantaje

- Actualmente, **costul** procesului de fabricație este relativ ridicat
- **Durata de viață** a unor materiale organice (OLED **albastru**) este limitată (de ex., între 20.000 și 50.000 ore)
- **Echilibrul culorilor** se poate modifica în timp
 - Deplasarea culorilor spre albastru
 - Optimizarea dimensiunii sub-pixelilor R, G și B → sub-pixelii albaștri pot fi mai mari

Avantaje și dezavantaje (3)

- Poate apărea **persistența imaginilor**
- Afișajul poate fi deteriorat prin expunerea prelungită la **raze ultraviolete**
- Materialele organice pot fi deteriorate de apă
- **Lizibilitatea** în condiții de exterior poate fi limitată
 - Polarizator circular; strat anti-reflector
- Energia consumată crește la afișarea **imaginilor pe fond alb**

Rezumat (1)

- Tipuri de diode OLED după mărimea moleculelor: **SM-OLED** și **P-OLED**
 - **SM-OLED**: procesul de fabricație se bazează pe evaporarea în vid
 - **P-OLED**: se pot procesa sub formă de soluții
- După tipul emisiei: diode OLED **fluorescente** și **fosforescente**
- Funcționarea se bazează pe formarea electronilor, a golurilor și recombinarea lor
 - Dezintegrarea stării *singlet* și/sau *triplet* eliberează fotoni

Rezumat (2)

- Afișajele OLED cu **matrice activă** necesită două tranzistoare și un condensator pentru un pixel
 - **Avantaje:** luminozitate mai ridicată; consum de energie mai redus
- Tehnici de generare a culorilor: cu **emisie directă** (RGB OLED); cu **emisia luminii albe** (WOLED); diode **stivuite** (SOLED)
- **Avantaje:** contrast ridicat; unghiuri de vizualizare mari; timp de răspuns redus
- **Dezavantaje:** durata de viață limitată a unor materiale OLED; echilibrul culorilor se poate modifica în timp

Noțiuni, cunoștințe (1)

- Diode organice cu molecule mici
- Diode organice cu polimeri
- Diode organice fluorescente
- Diode organice fosforescente
- Structura și funcționarea unei celule OLED
- Structura unui afișaj OLED cu emisie în jos
- Afișaje OLED cu matrice pasivă
- Afișaje OLED cu matrice activă

Noțiuni, cunoștințe (2)

- Diode OLED cu emisie directă
- Diode OLED cu emisia luminii albe
- Diode OLED stivuite
- Afișaje OLED transparente
- Afișaje OLED flexibile
- Aranjamente ale sub-pixelilor
- Avantaje ale afișajelor cu diode organice
- Dezavantaje ale afișajelor cu diode organice