

Afișaje cu cristale lichide

- Cristale lichide
- Tehnologia *Twisted Nematic*
- Tehnici de adresare
- Tipuri ale luminii de fond
- Parametrii afișajelor
- Tehnologia *Vertical Alignment*
- Tehnologia *In-Plane Switching*

Tehnologia *In-Plane Switching*

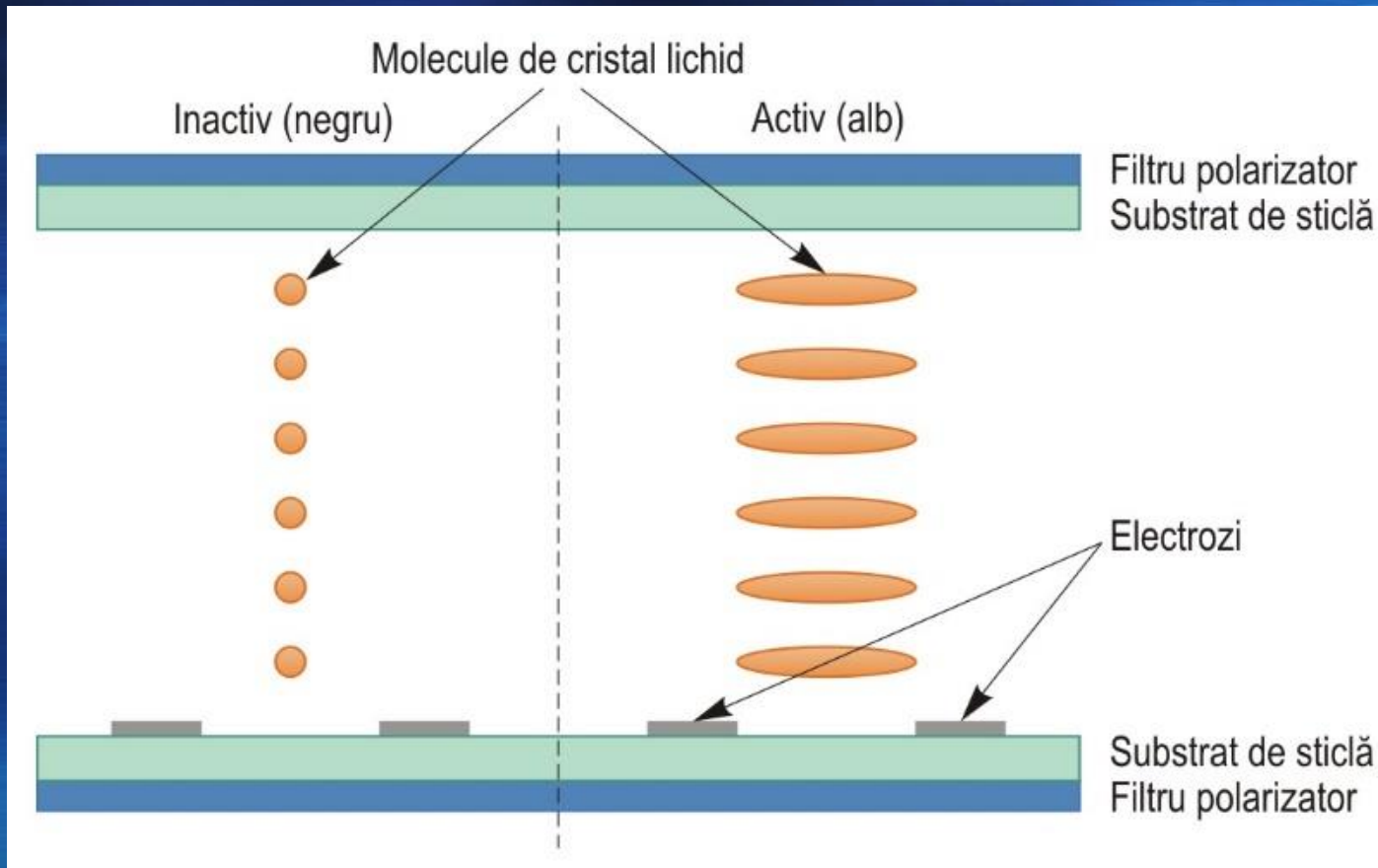
- Tehnologia *In-Plane Switching*
 - Principiul tehnologiei IPS
 - Tehnologia *Super IPS*
 - Tehnologia *Horizontal IPS*
 - Tehnologia *Advanced High-Performance IPS*

Principiul tehnologiei IPS (1)



- **IPS** – *In-Plane Switching*
- Dezvoltată de firma Hitachi Ltd.
- **Afişaj TN TFT convenţional**: electrozii sunt montaţi pe substraturi separate
 - Numai unul din electrozi este controlat de un tranzistor **TFT**
- **Afişaj IPS**: ambii electrozi sunt montaţi pe substratul de sticlă din spatele ecranului → se află **în acelaşi plan**

Principiul tehnologiei IPS (2)



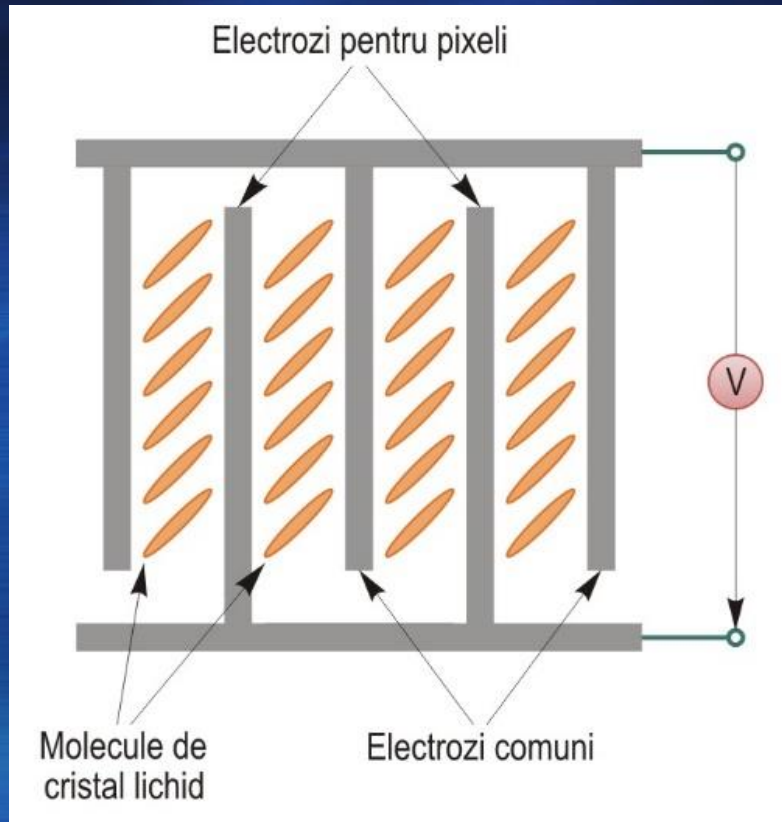
Principiul tehnologiei IPS (3)

- În starea inactivă: moleculele cristalelor sunt paralele cu substraturile de sticlă
 - Sunt paralele și cu perechea de electrozi
 - Niciuna din molecule nu este ancorată în substratul de sticlă din spate
- La aplicarea unei tensiuni: moleculele se rotesc liber cu până la 90° pentru a se alinia cu câmpul electric
 - Rămân paralele cu substraturile de sticlă

Principiul tehnologiei IPS (4)

- Afişaj IPS:
 - Nu există variația orientării moleculelor
 - Unghiurile de vizualizare sunt mai mari, de până la 170° .. 178°
 - Luminositatea scade cu creșterea unghiului de vizualizare
 - Reproducerea culorilor rămâne consistentă
- Pentru fiecare celulă sunt necesari doi electrozi
 - Doi tranzistori pentru fiecare sub-pixel

Principiul tehnologiei IPS (5)



- Aranjament posibil al electrozilor
- Cei doi electrozi și tranzistorii **reduc zona transparentă**
- Este necesară o **lumină de fond mai puternică**

Principiul tehnologiei IPS (6)

- Avantaje:

- Unghiuri de vizualizare foarte mari, atât pe orizontală, cât și pe verticală
- Calitate ridicată pentru reproducerea culorilor
- Imaginea nu este afectată dacă ecranul este atins
- Dacă un tranzistor TFT este defect, sub-pixelul rămâne negru

Principiul tehnologiei IPS (7)

● Dezavantaje:

- Inițial, **timpul de răspuns** a fost ridicat, de ex., 60 ms → ulterior redus la ~16 ms (fără RTC)
- **Costul** primelor afișaje **IPS** era ridicat
- **Luminozitatea** este redusă → este necesară o lumină de fond mai intensă
- **Contrastul** este redus → dispersia luminii în jurul electrozilor

Tehnologia *In-Plane Switching*

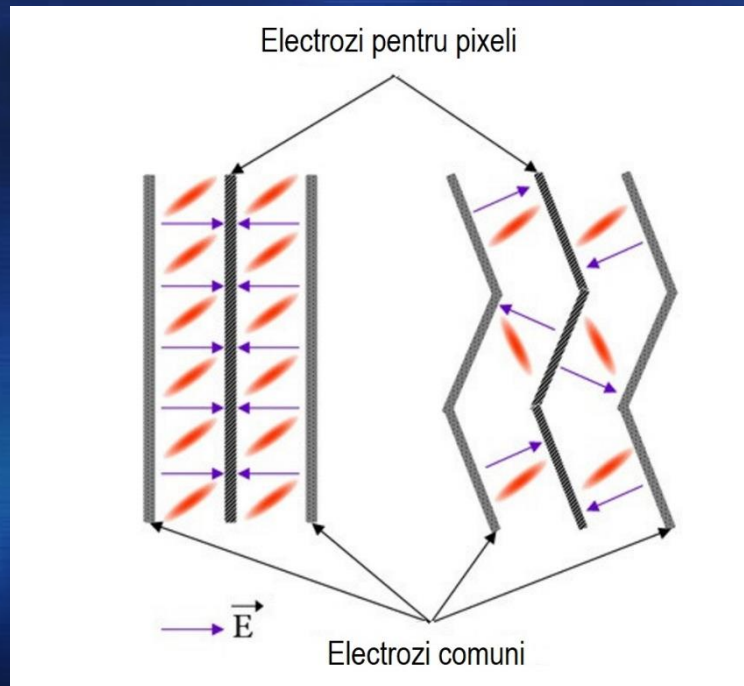
- Tehnologia *In-Plane Switching*
 - Principiul tehnologiei IPS
 - Tehnologia *Super IPS*
 - Tehnologia *Horizontal IPS*
 - Tehnologia *Advanced High-Performance IPS*

Tehnologia Super IPS (1)

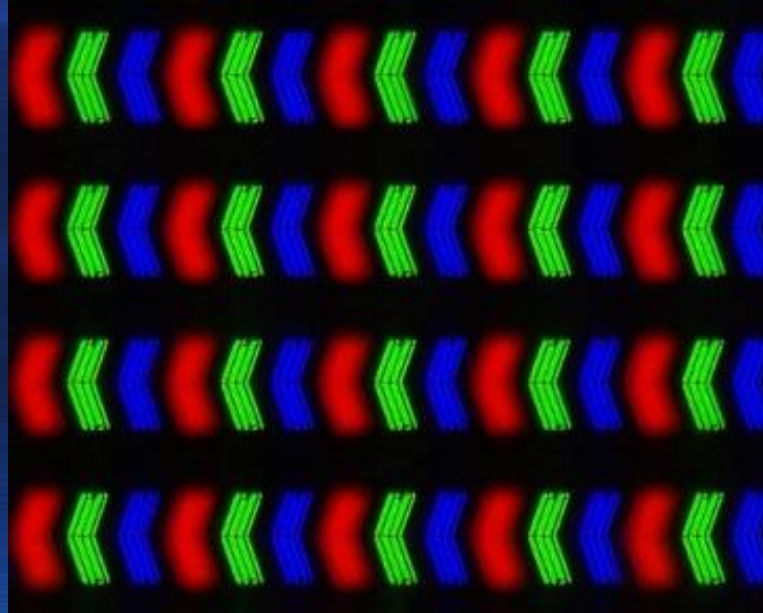
- S-IPS (*Super IPS*)
- Îmbunătățire a tehnologiei IPS
- Timpul de răspuns este redus prin utilizarea unor tehnici RTC
- Costurile de producție sunt reduse
- Sub-pixelii sunt divizați în mai multe domenii
- Contrastul este îmbunătățit
 - *Digital Fine Contrast*: metodă complexă pentru creșterea contrastului dinamic (LG Display)

Tehnologia Super IPS (2)

- Luminozitatea și contrastul sunt mai ridicate
 - Aranjament diferit al electrozilor



Tehnologia Super IPS (3)



Aranjamentul sub-pixelilor într-un panou S-IPS
(© AVForums.com)

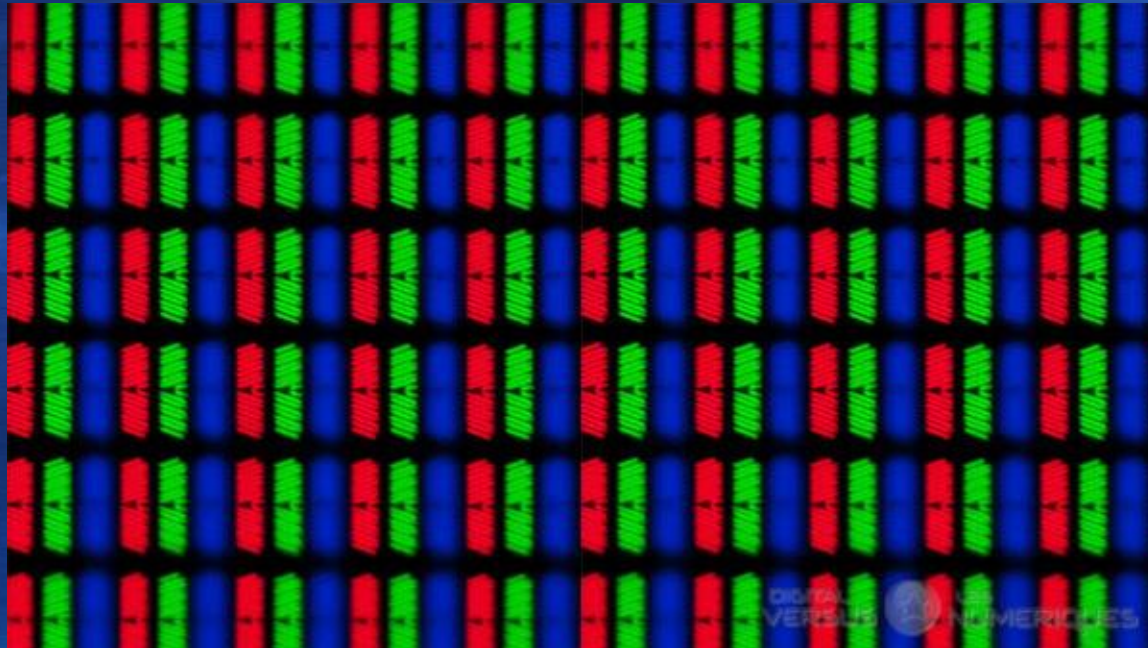
Tehnologia *In-Plane Switching*

- Tehnologia *In-Plane Switching*
 - Principiul tehnologiei IPS
 - Tehnologia *Super IPS*
 - Tehnologia *Horizontal IPS*
 - Tehnologia *Advanced High-Performance IPS*

Tehnologia *Horizontal IPS* (1)

- **H-IPS** (*Horizontal IPS*)
- Dezvoltată de LG Display
- O nouă **amplasare a electrozilor**
 - Lăţimea **electrozilor comuni** este redusă
 - **Electrozii pixelilor** sunt amplasaţi pe orizontală
- Sub-pixelii sunt orientaţi pe linii verticale
- **Luminozitatea** şi **contrastul** sunt mai mari
- Alte variante: **UH-IPS, S-IPS II**

Tehnologia *Horizontal IPS* (2)



Aranjamentul sub-pixelilor într-un panou H-IPS
(© DigitalVersus)

Tehnologia *In-Plane Switching*

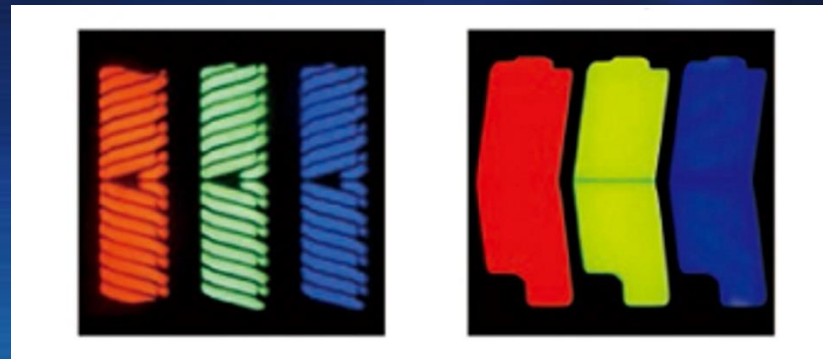
- Tehnologia *In-Plane Switching*
 - Principiul tehnologiei IPS
 - Tehnologia *Super IPS*
 - Tehnologia *Horizontal IPS*
 - Tehnologia *Advanced High-Performance IPS*

Tehnologia *Advanced High-Performance IPS* (1)

- **AH-IPS** (*Advanced High-Performance IPS*)
- Dezvoltată de LG Display
- Afișajele **AH-IPS** oferă rezoluții înalte și densitate crescută a pixelilor
 - Exemplu: *Retina Display* (Apple)
- **Timp de răspuns**: ~5 ms
 - Mai mare decât al afișajelor **TN**
- **Contrast** static: până la 1100:1
 - Mai redus decât al afișajelor **MVA** avansate

Tehnologia *Advanced High-Performance IPS* (2)

- Unghi de vizualizare: mai mare decât al afişajelor TN şi VA/MVA
- Calitatea culorilor este îmbunătăţită
- Afişaje **AH-IPS** cu rezoluţii **Ultra HD** (3840 x 2160), **4K** (4096 x 2160), **5K** (5120 x 2880)



Sub-pixeli într-un panou **IPS** (stânga) şi **AH-IPS** (dreapta)
(© TFT Central)

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 afişajelor OLED
 - Se utilizează un proces de **evaporare în vid**
 - **Avantaje**: se pot forma **filme omogene** şi structuri complexe cu **straturi multiple**
 - **Dezavantaj**: proces costisitor
 - Materiale: **vopsele fluorescente**
 - Absorb lumina şi 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 multipli 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

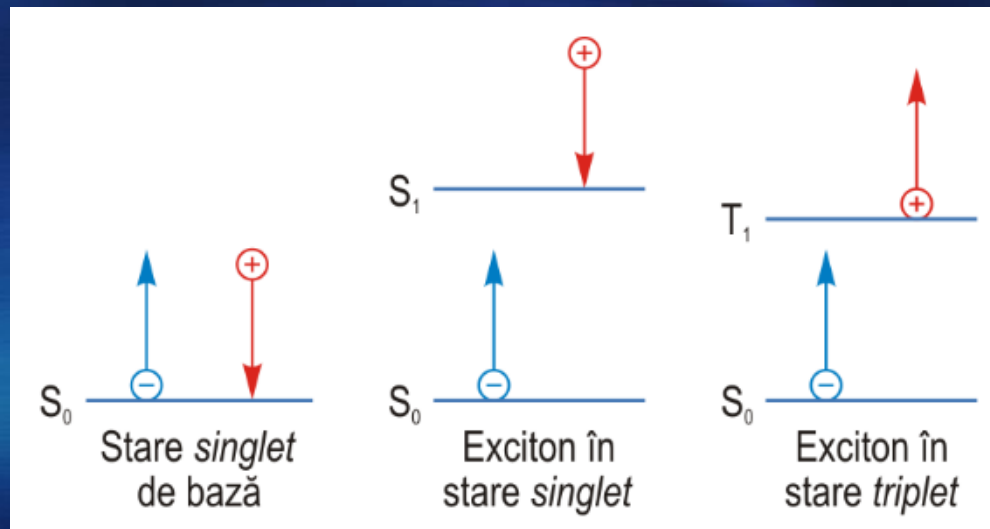
- *Stare triplet*

- 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)

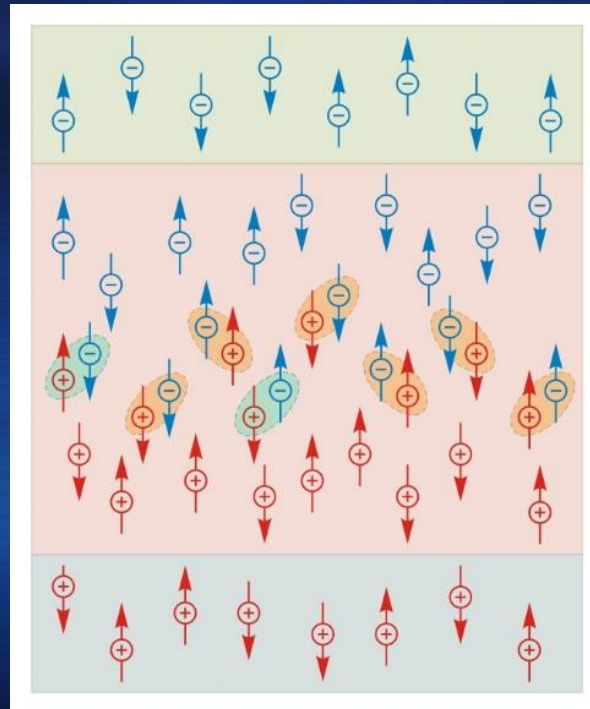
● Excitoni

- 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%

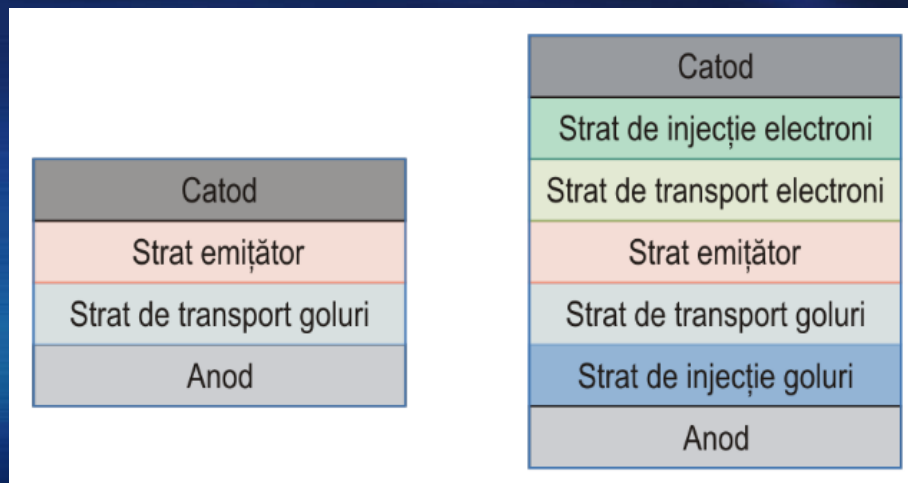
Afișaje cu diode organice

- 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

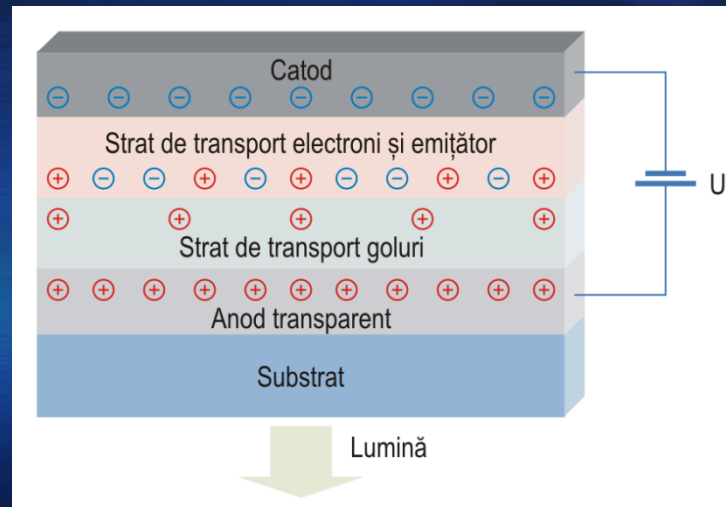
- Primele diode utilizau un **singur strat** organic inserat între un anod și un catod
- Diode dezvoltate la Kodak: **două straturi**
- Diode actuale: **straturi multiple**



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)



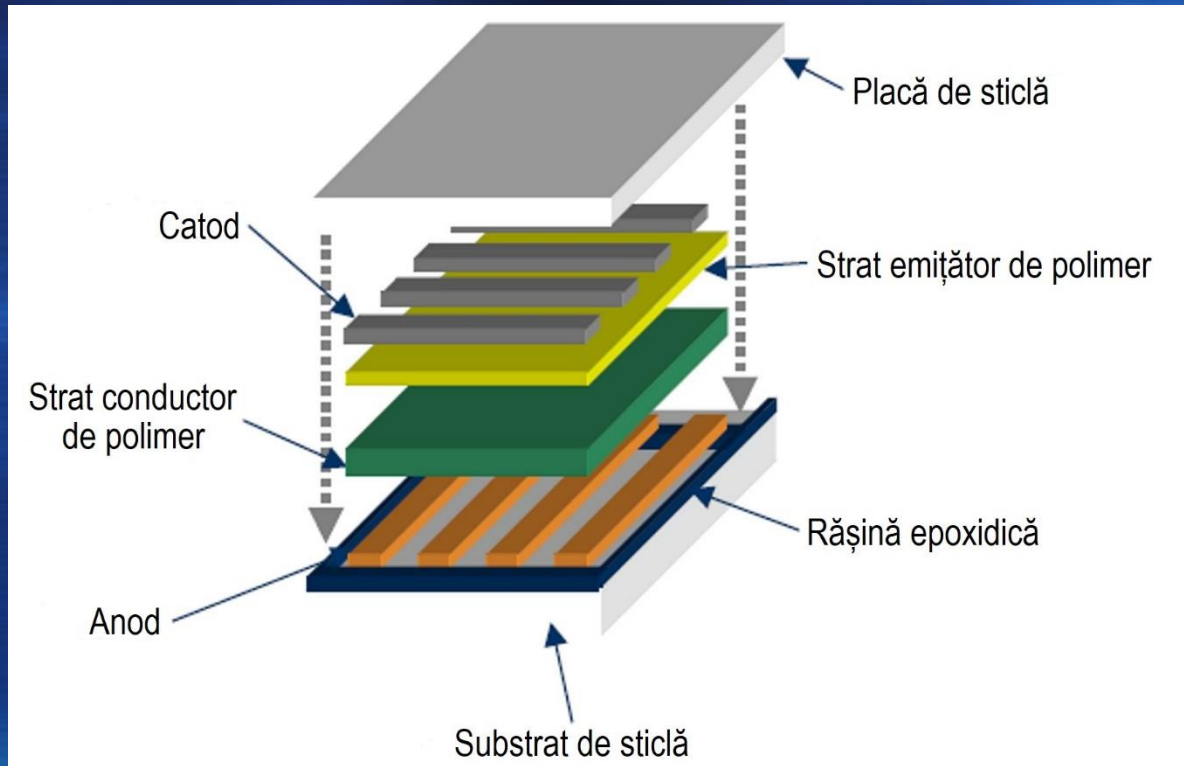
Structura și funcționarea (3)

- 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

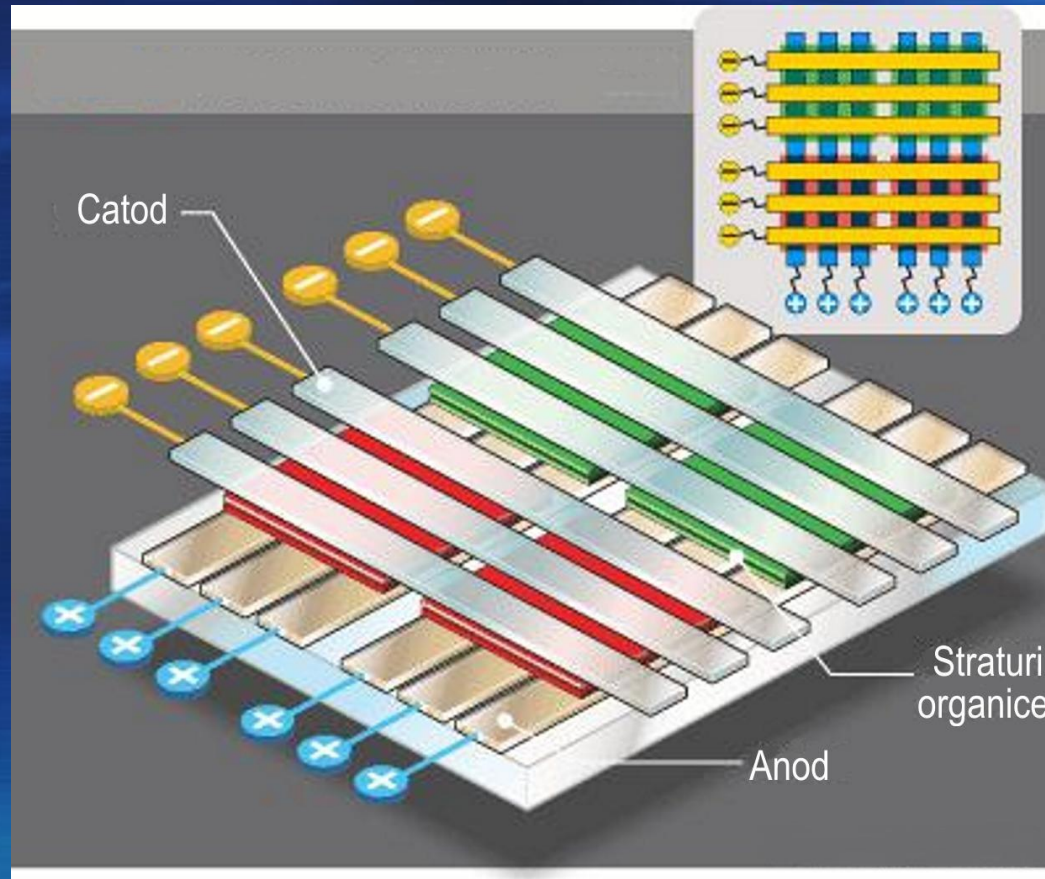
Afișaje cu diode organice

- 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*)
- **Drive** 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.

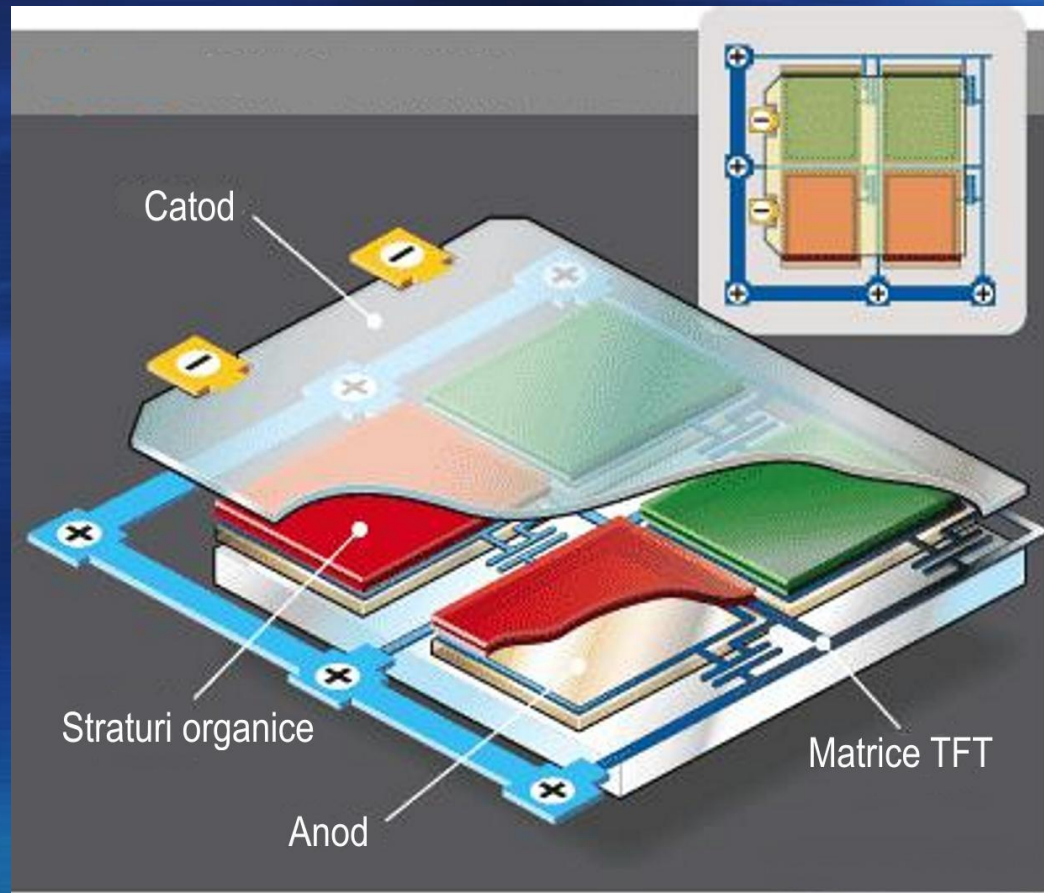
Afișaje cu diode organice

- 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.

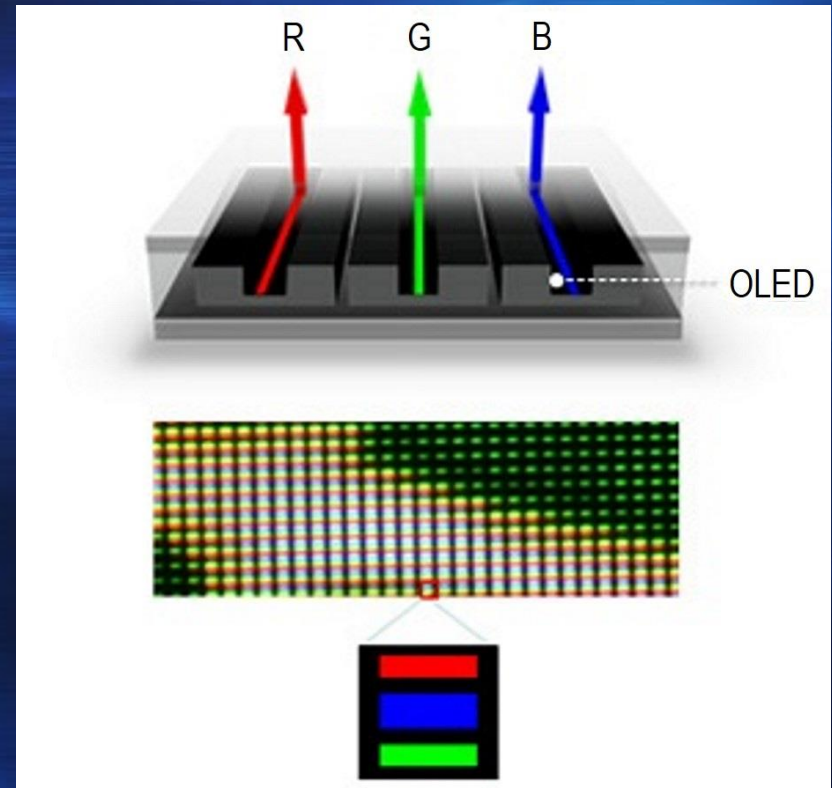
Afișaje cu diode organice

- 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)

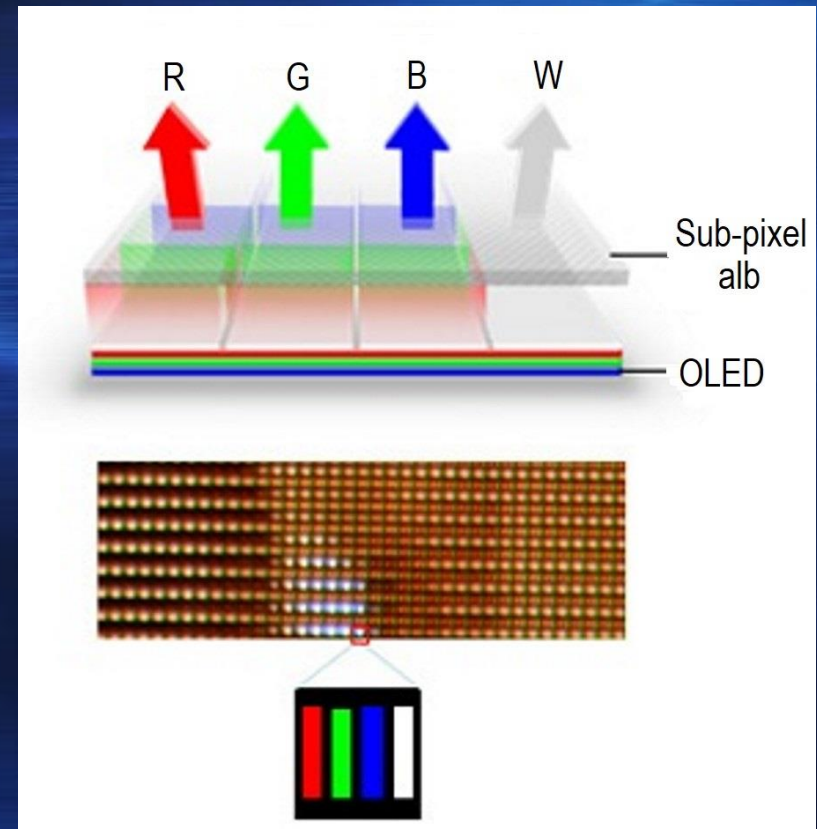
- Utilizează sub-pixeli R, G, B → partiționarea materialelor organice
- Eficiență luminoasă ridicată
- Proces de fabricație mai complex
- Echilibrul culorilor se poate modifica în timp



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



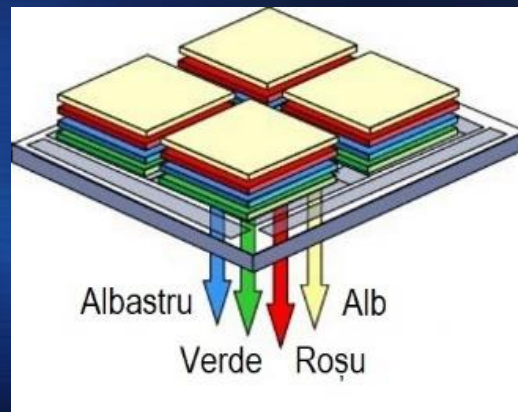
Imaginea originală © LG Display

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

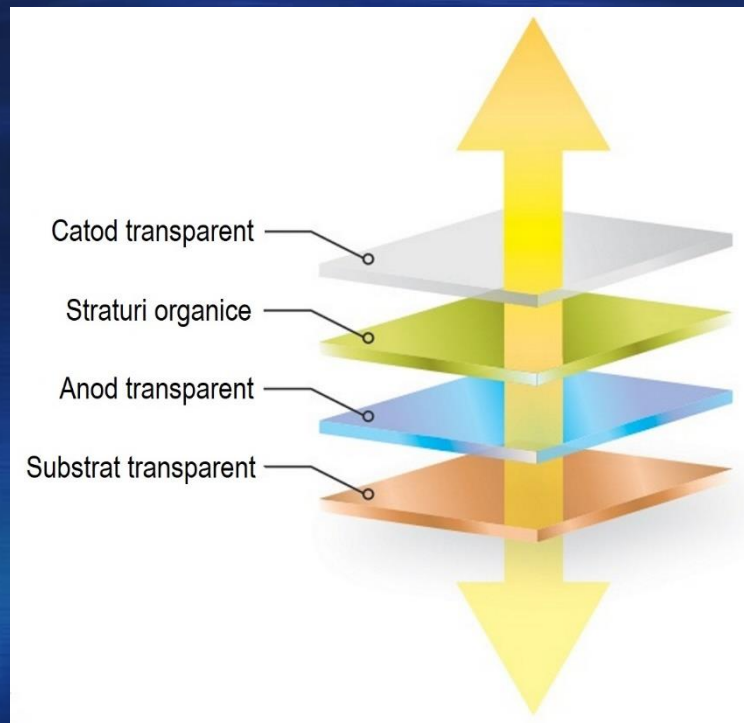


Afișaje cu diode organice

- 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)

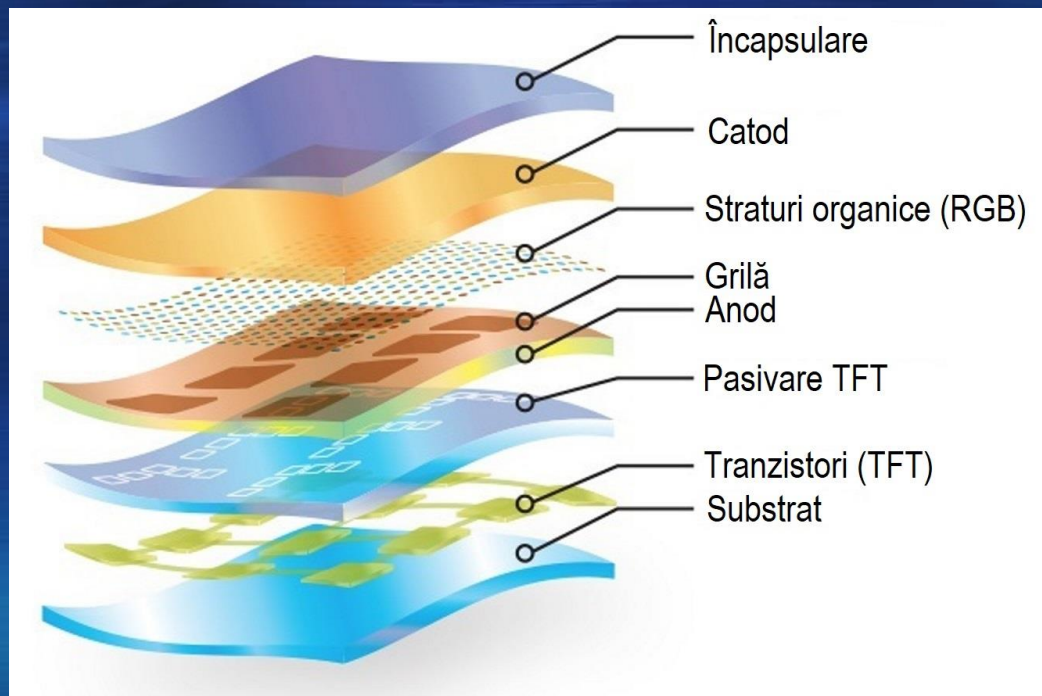


© Samsung Display

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 producător
- Afișaje pliabile: au o rază de curbură redusă
- Exemple: Pixel 9 Pro Fold, Galaxy Z Fold 6



© Google LLC



© 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)

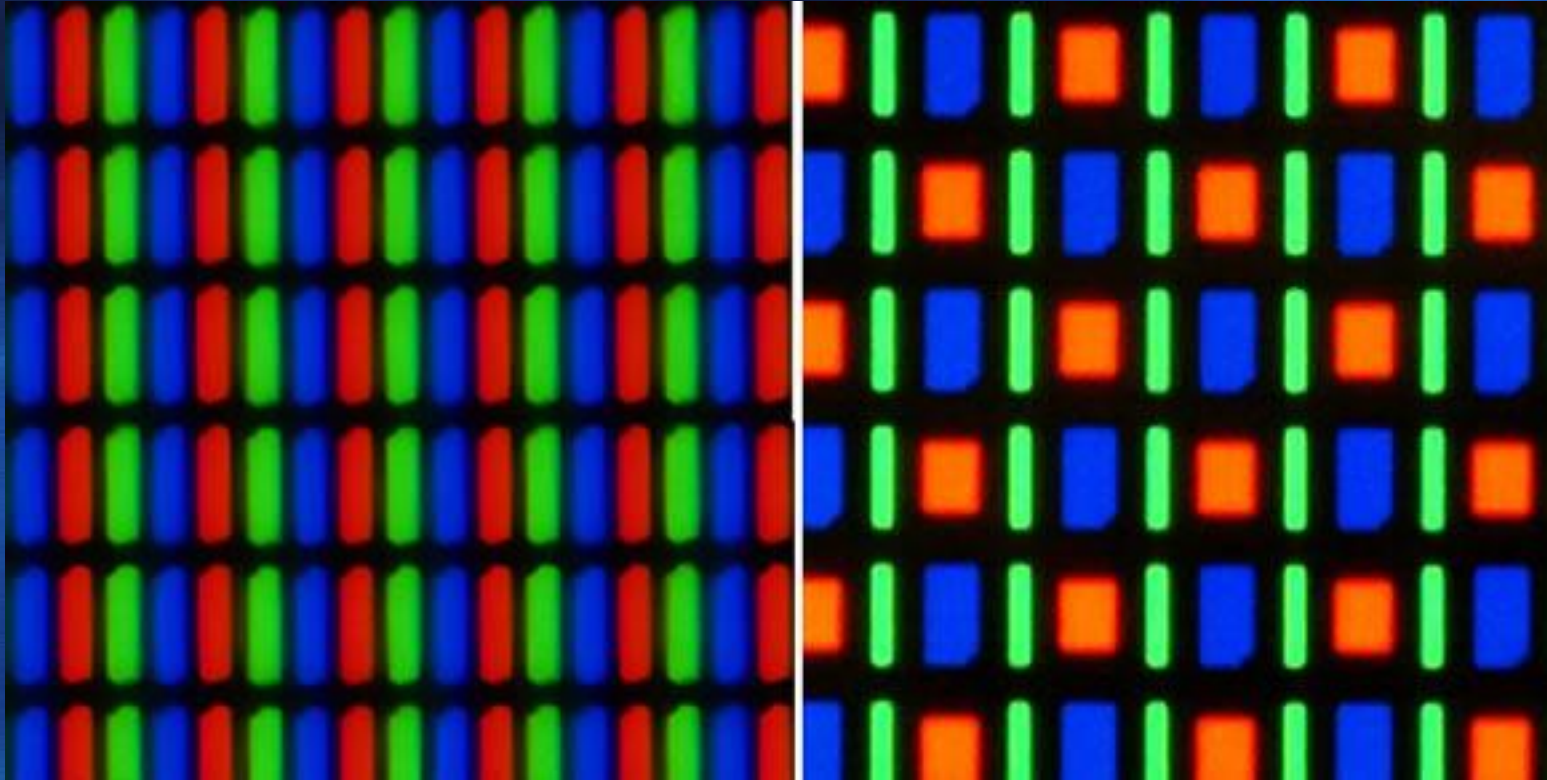
- Aranjament convențional: RGB
- Aranjament PenTile RG-B-RG
 - Inspirat de particularitățile retinei umane → mai puțini senzori pentru culoarea albastră
 - Utilizează algoritmi brevetați pentru **maparea sub-pixelilor**
 - Fiecărui pixel de intrare îi corespunde un pixel logic → centrat în sub-pixelul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

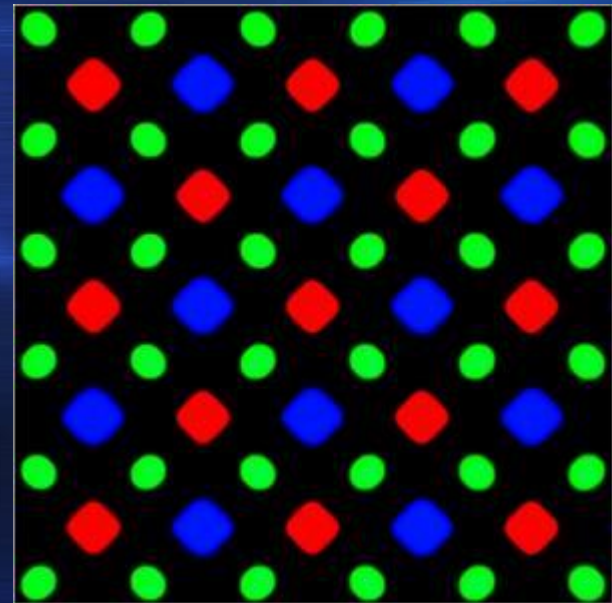


Aranjament RGB (stânga) și PenTile RG-BG (dreapta)
(Sursa: Stuff-Review)

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

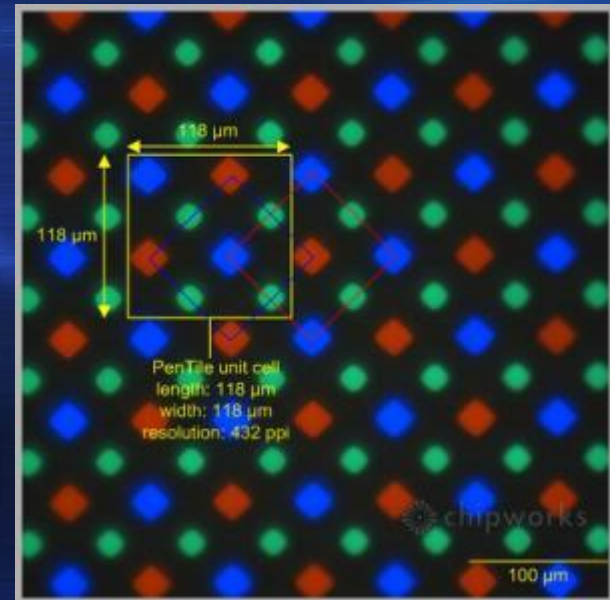


Sursa: DisplayMate Technologies Corporation

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 apare **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)

- La afişajele cu tehnologia **IPS**, ambii electrozi se află pe acelaşi substrat de sticlă
 - Orientarea moleculelor este identică
 - Sunt necesari **doi tranzistori** pentru un sub-pixel
 - **Unghiurile de vizualizare** sunt cele mai mari
- **Tehnologia S-IPS** utilizează electrozi cu un aranjament diferit (sub formă de V)
- La **tehnologia H-IPS**, electrozii pixelilor sunt amplasaţi pe orizontală
- **Tehnologia AH-IPS** permite o densitate crescută a pixelilor

Rezumat (2)

- 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 (3)

- Afișajele OLED cu **matrice activă** necesită două tranzistoare și un condensator pentru un pixel
- 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)

- Principiul tehnologiei IPS
- Avantaje și dezavantaje ale tehnologiei IPS
- Variante tehnologice IPS: S-IPS, H-IPS, AH-IPS
- Diode organice cu molecule mici și cu polimeri
- Diode organice fluorescente și 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