

RAČUNARSKA GRAFIKA

Oznaka predmeta: RAG

Predavanje broj: 3

Nastavna jedinica: Tehnologije trenutnog prikaza.

Nastavne teme:

Tehnologije trenutnog prikaza. Monitori. CRT monitori. Displeji sa tečnim kristalima. LCD. TFT. LED. OLED. AMOLED. Plazma displej.

Predavač: prof. dr Perica S. Štrbac, dipl. ing.

Literatura:

James D. Foley, Andries van Dam, Steven K. Feiner, John F. Hughes: "Computer Graphics: Principles and Practice", 2nd ed. in C, Addison-Wesley
Internet.

Tehnologije trenutnog prikaza

- Najzastupljenije displej tehnologije su displeji sa tečnim kristalom (LCD - Liquid Crystal Display).
- Kvalitet slike na prikaznim uređajima zavisi od veličina koje određuju sposobnost prikazivanja najmanjih elemenata i najfinijih struktura.
- Interaktivna računarska grafika zahteva tehnologiju prikaznog uređaja na kojem se slike menjaju brzo i uz minimalan trošak po slici.
- Ove zahteve ispunjava koncept ekrana kao prikaznog uređaja koji služi za privremeni prikaz slike, ali s proizvoljnim trajanjem.
- Karakteristike:
 - **Veličina tačke** (*dot size, spot size*) je prečnik jedne tačke na slici koju generiše uređaj na svom izlazu.
 - **Piksel** nema jasno određene ivice već se za njegovu veličinu uzima prečnik oblasti gde je intenzitet emitovanja veći od 50% intenziteta u središtu oblasti. Obično je veličina tačke za monohromatske CRT monitore visoke rezolucije oko 0.005 inča.
 - **Critical fusion frequency** (CFF) najmanja frekvencija osvežavanja slike za koju se čini da slika više ne treperi već je stabilna.

Tehnologije trenutnog prikaza

- **Horizontal scan rate** ili (**HSF horizontal scanning frequency**) je broj linija koje CRT može da prikaže u sekundi; obično je taj broj jednak proizvodu broja linija i frekvencije osvežavanja.
- **Gustina tačaka ili adresibilnost** (*adressability*) je broj pojedninačnih (ne nužno i razlučivih) tačaka po jedinici dužine (po pravilu se koristi jedinica dpi - dots per inch) koje je moguće generisati.
 - Može se razlikovati za vertikalnu i horizontalnu dimenziju.
 - Adresabilnost u smeru x ose odgovara recipročnoj vrednosti razmaka između središta tačaka na adresama (x,y) i $(x+1,y)$, a adresabilnost u smeru y ose recipročnoj vrednosti razmaka između središta tačaka na adresama (x,y) i $(x,y+1)$.
- **Razmak među tačkama** (*interdot distance*) je recipročna vrednost adresabilnosti.
 - Poželjno da veličina tačke bude nešto veća od razmaka među tačkama zbog prikazivanja glatkih oblika.
- **Rezolucija** (slično kod hardcopy uređaja) je najveći broj razlučivih naizmeničnih crnih i belih linija po jedinici dužine (uobičajeno se koristi jedinica inč) koje uređaj može generisati, a koje se vide kao takve a ne kao jedinstvena siva oblast.

Standardne rezolucije slike

Designation	Resolution (HxV)	Megapixels	Aspect Ratio
CGA	320×200	0.06	1.331
EGA	640×350	0.22	1.33 ¹
VGA	640×480	0.31	1.33
WVGA	854×480	0.41	1.78
SVGA	800×600	0.48	1.33
XGA	1024×768	0.79	1.33
HD 720	1280×720	0.92	1.78
HD 1080	1920×1080	2.07	1.78
WUXGA	1920×1200	2.30	1.60
QXGA	2048×1536	3.15	1.33
WQXGA	2560×1600	4.10	1.60
QSXGA	2560×2048	5.24	1.25
WQSXGA	3200×2048	6.55	1.56
QUXGA	3200×2400	7.68	1.33
WQUXGA	3840×2400	9.22	1.60
HXGA	4096×3072	12.58	1.33
WHXGA	5120×3200	16.38	1.60
HSXGA	5120×4096	20.97	1.25
WHSXGA	6400×4096	26.21	1.56
HUXGA	6400×4800	30.72	1.33
WHUXGA	7680×4800	36.86	1.60

Tehnologije trenutnog prikaza

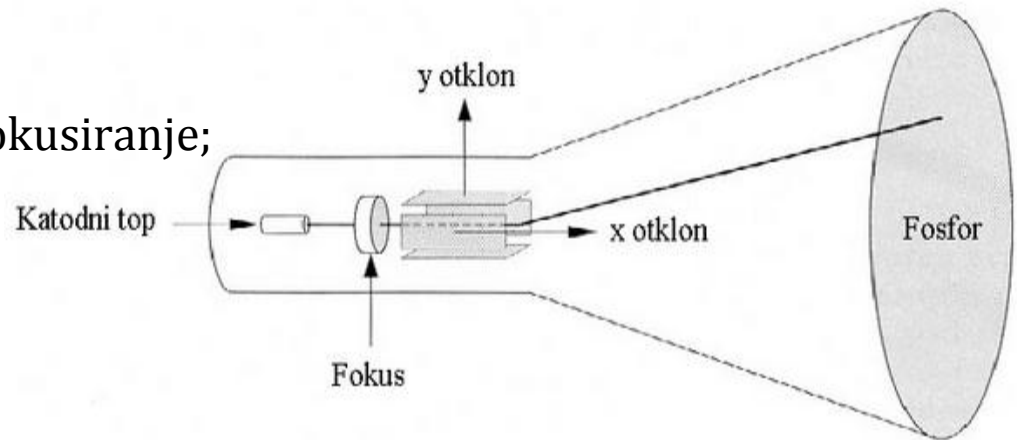
- **Aspect ratio** je fizički odnos širine i visine slike.
 - Aspect ratio 4:3 za piksel govori da je za prikaz horizontalne i vertikalne linije iste dužine potrebno 4 odnosno 3 piksela.
- **Bandwidth** oslikava brzinu kojom elektronski top može da se uključi ili isključi.
 - Veći bandwidth obezbeđuje da pikseli imaju oštrije ivice i da ne budu (horizontalno) „razmazani“.
- **Shadow mask kolor** imaju CRT monitori i predstavlja tanku metalnu pločicu sa mnoštvom malih otvora takvih da svaki od elektronskih zraka može da pogodi samo jednu od tri tipa otvora (za crvenu, zelenu i plavu boju).
 - Shadow mask uzrokuje ograničenja u rezoluciji koja ne postoje kod monohromatskih CRT.
- Tri glavne karakteristike monitora su:
 - maksimalna rezolucija koju će prikazati,
 - učestanost (vertikalnog) osvežavanja
 - da li je u režimu sa preplitanjem ili bez preplitanja.

Monitori

- Monitor je osnovni izlazni uređaj računara pa možemo reći da ima primarnu ulogu u interakciji sa korisnikom.
- Razvoj softvera je praćen razvojem grafičkog hardvera, tako da su sada kućne PC konfiguracije sposobne za prikaz slike u visokoj rezoluciji i sa milionima boja. Najrasprostanjeniji tip monitora – TFT (displej sa tečnim kristalima) i sve polako iščezava CRT (sa katodnom cevi).
- **CRT** monitori su bazirani na tehnologiji katodne cevi, koja je u upotrebi više od četrdeset godina u televizorima. Glave mane ovog tipa monitora su velike dimenzije, potrošnja struje, zračenje i nesavršena geometrija slike. Prednost niska cena.
- **TFT** tehnologija velikim delom prevazilazi sve probleme CRT monitora, ali ima svoje probleme: fiksnu rezoluciju slike, relativno sporo vreme odziva piksela, manji ugao gledanja i visoku cenu (koja se smanjuje).
- **Plazma** ekrani se odlikuju slikom sa izvanrednim bojama, velikim dimenzijama i širokim uglom gledanja.
 - Zbog niske rezolucije i velikih dimenzija tačke ne nalaze se u standardnim kućnim PC konfiguracijama, već imaju primenu u prezentacijama multimedialnog sadržaja većem broju gledalaca.

CRT monitori

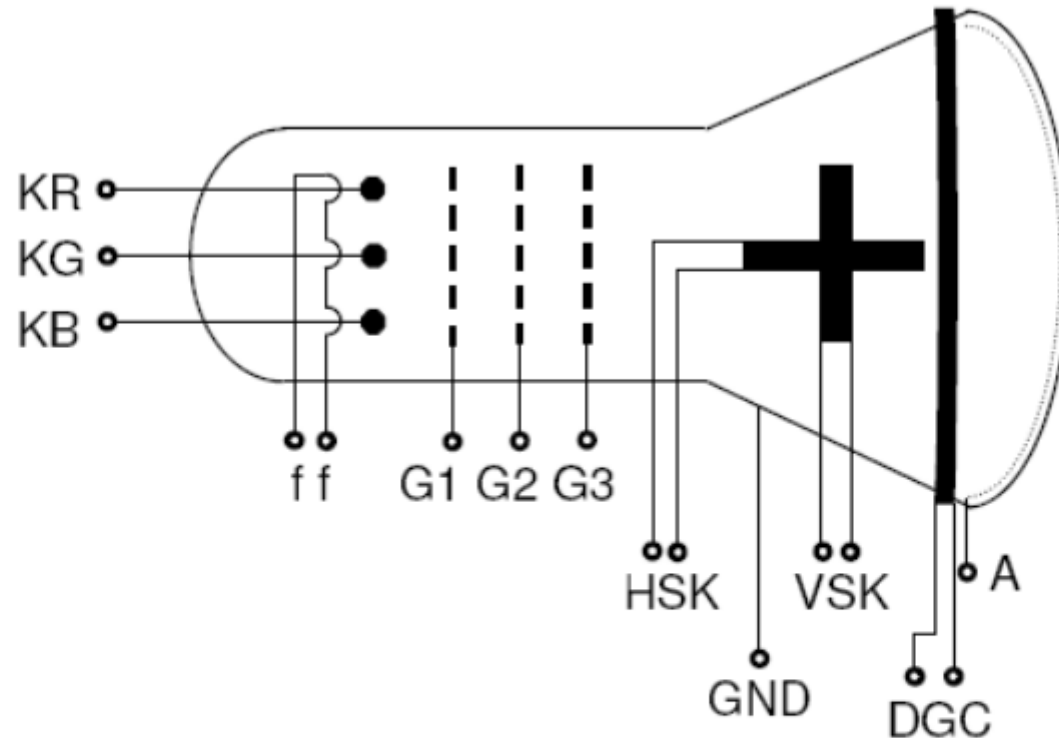
- U savremenoj industriji koja se intenzivno razvija, donekle iznenađuje činjenica da je tehnologija koja stoji iza monitora i televizije stara 100 godina.
- Katodnu cev, ili CRT (*cathode-ray tube*) pronašao je nemački naučnik Ferdinand Braun 1897. godine, ali je ona upotrebljena u prvim televizorima tek kasnih 1940-ih godina.
 - Mada su katodne cevi koje se danas mogu da se nađu u monitorima pretrpele modifikacije da bi se poboljšao kvalitet slike, one se još uvek zasnivaju na istim osnovnim principima.
 - Ova vrsta monitora je bazirana na TV tehnologiji.
- **Katodna cev** je zapečaćena staklena komora, bez vazduha (vakuum) u svojoj unutrašnjosti koja se sastoji od:
 - katodnog topa;
 - mehanizma za elektronsko fokusiranje;
 - otklonskog mehanizma;
 - elektronskog mlaza;
 - anode sa fosfornim slojem.



CRT monitori

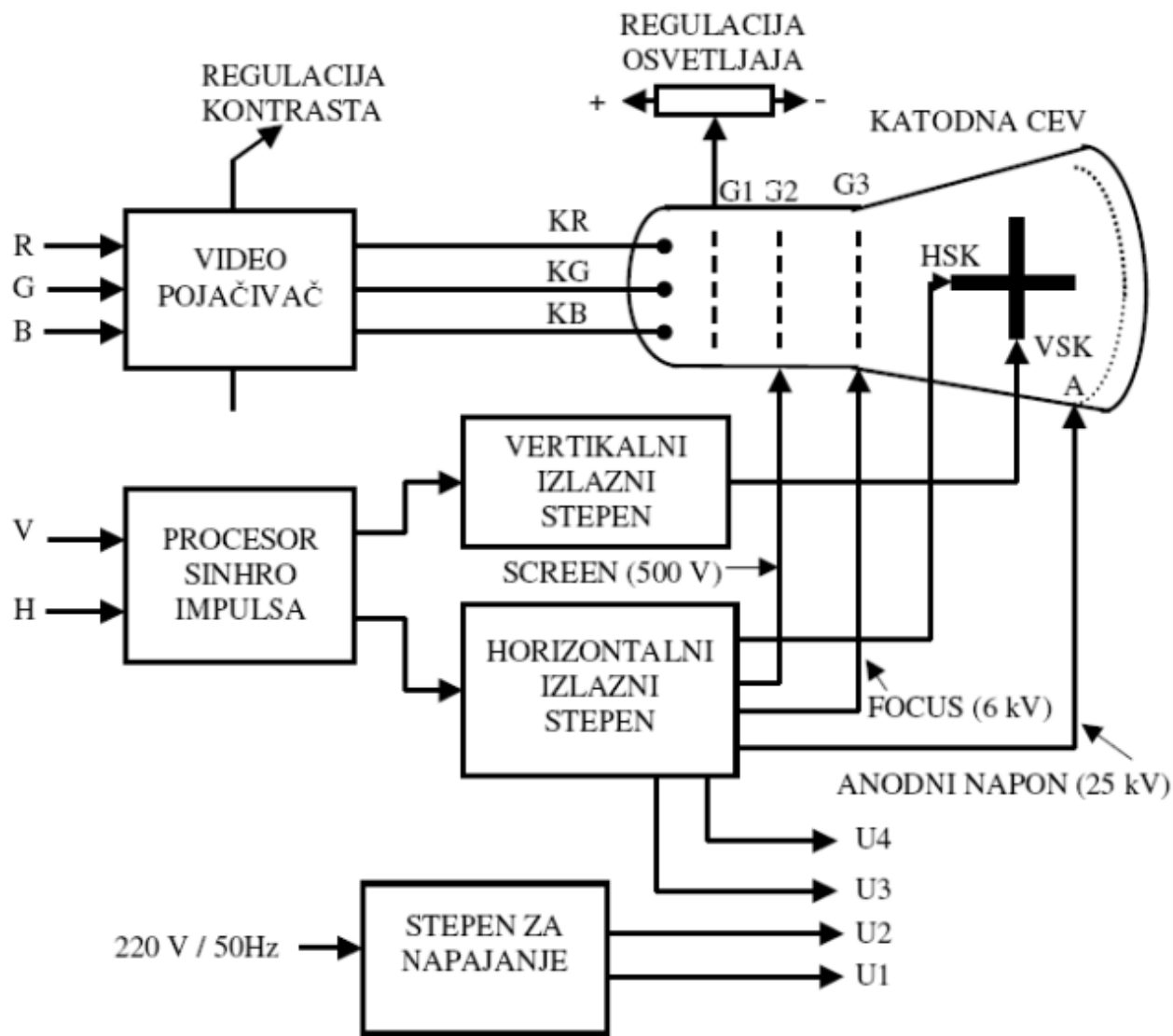
- Katodna cev počinje sa grlićem i konusno se širi, sve dok ne oblikuje široku osnovu.
- Površina ekrana (prednji deo katodne cevi) je pokrivena osnovnim elementima, tj. fosfornim tačkama ili trakama.
- U "grliću" katodne cevi se nalazi elektronski top (tačnije tri topa za crvenu, plavu i zelenu boju ako se radi o monitoru u boji) koji šalje snop elektrona u pravcu pojedinih tačaka i u zavisnosti od intenziteta zraka, dobija se svetlija ili tamnija tačka date boje na ekranu.
 - Ovaj top se sastoji od katode, izvora toplote i elemenata za fokusiranje.
- Kombinovanjem intenziteta crvene, zelene i plave boje se dobija bilo koja željena boja.
 - Fosfori su hemikalije koje emituju svetlost kada su pobuđeni mlazom elektrona. Različiti fosfori emituju svetlost različitih boja.
- Svaka tačka se sastoji od tri čestice obojenog fosfora (**trijade**): jedne crvene, jedne zelene i jedne plave.
 - Ove grupe od po tri fosfora čine ono što je poznato kao jedan piksel (eng. pixel - picture element, ili picture cell).
- Ekran je sa unutrašnje strane pokriven matricom od više hiljada fosfornih tačaka.

CTR kolor monitor, katodna cev

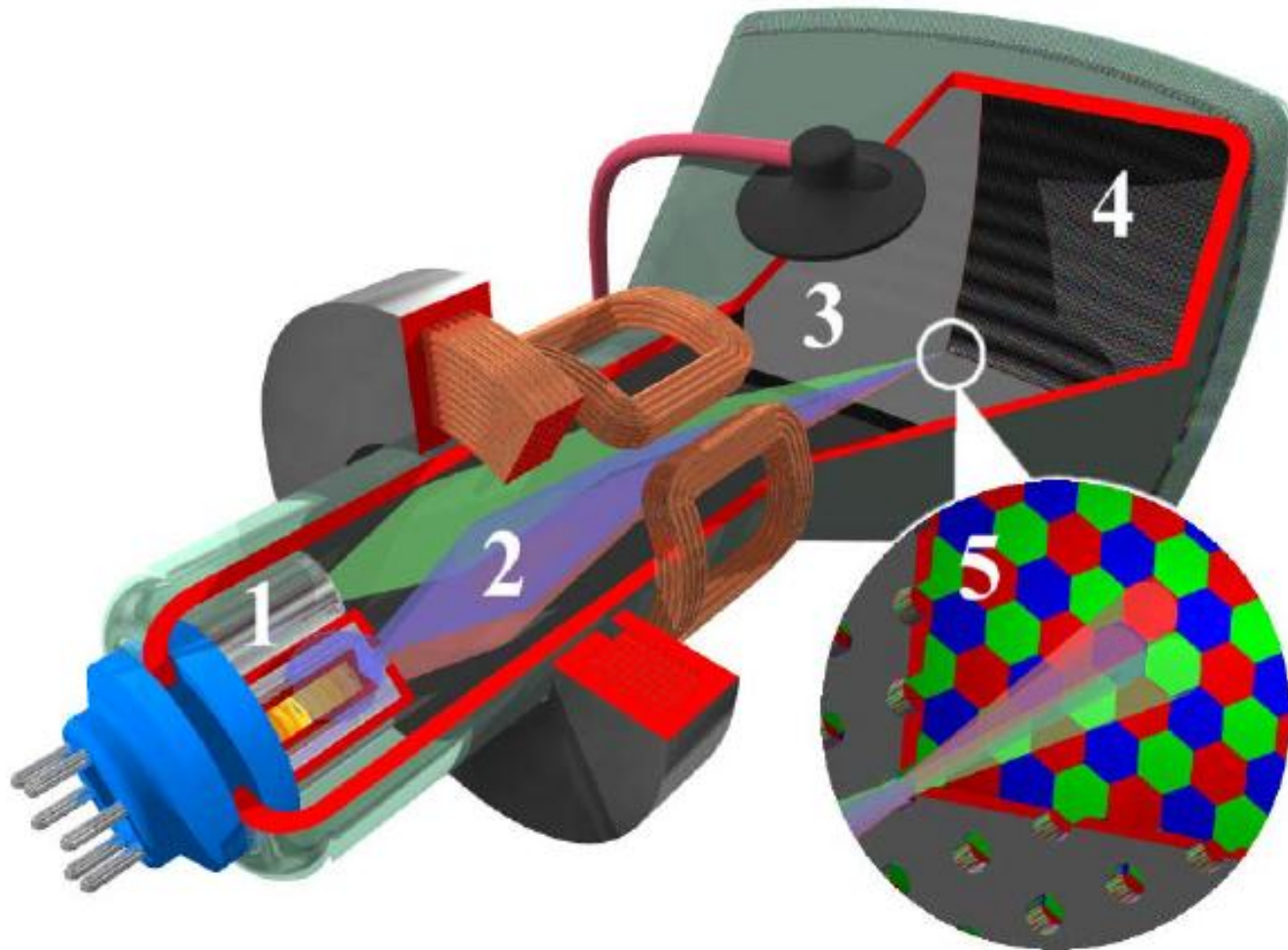


- priključci su: (KR,KG,KB) – signal, (ff) – grejači katoda
(G1,G2,G3) – rešetke, (HSK,VSK) – skretni kalemovi
(A) – anoda, DGC – kalem za razmagnetisanje
- DGC (*degaussing coil*) je jedini deo koji nije u katodnoj cevi i koristi se za razmagnetisanje ekrana.

CRT kolor monitor



CRT monitori



Unutrašnjost katodne cevi: (1. Elektronski top, 2. Elektronski snop
3. Maska za razdvajanje snopa za crvene, zelene i plave delove slike,
4. Fosforni sloj sa crvenim, zelenim i plavim zonama,
5. Uvećani prikaz unutrašnjosti ekrana koji je prekriven fosforom)

CTR monitori

- Na prethodnoj slici prikazani su:
 1. Elektronski top,
 2. Elektronski snop
 3. Maska za razdvajanje snopa za crvene, zelene i plave delove slike,
 4. Fosforni sloj sa crvenim, zelenim i plavim zonama.
- Usijana katoda (sadrži **barijum**) na visokom negativnom potencijalu emituje elektrone.
- Katodna cev je u blizini zaslona presvučena metalnom folijom na koju je doveden visok pozitivan potencijal i predstavlja sistem za ubrzavanje elektrona.
- Između katode i sistema za ubrzavanje stvara se jako električno polje (napon od 15000 do 20000 volti) koje usmerava i ubrzava emitovane elektrone prema staklenom zaslonu koji je iznutra presvučen tankim slojem materijala na bazi fosfora.
- Neposredno nakon ispaljivanja sa površine katode, elektroni prolaze kroz upravljačku mrežicu i sistem za fokusiranje snopa.
- Negativnim naponom na upravljačkoj mrežici reguliše se broj elektrona koji prolaze ka zaslonu. Što je ovaj napon veći, manje elektrona prolazi kroz mrežicu.

CRT monitori

- Naponom na upravljačkoj mrežici reguliše se intenzitet snopa elektrona, čime se na odgovarajućim tačkama ekrana dobija jače ili slabije osvetljenje ili tačka uopšte ne emituje svetlost.
- Sistem za fokusiranje je negativno naelektrisan šuplji cilindar kroz koji elektroni prolaze na putu prema zaslonu.
 - Električno polje unutar ovog cilindra usmerava elektrone u fokus.
 - Podešavajući napon na cilindru postiže se da taj fokus bude na zaslonu katodne cevi, pa na ekranu dobijamo sićušnu svetleću tačku.
- Po izlasku iz sistema za fokusiranje elektronski snop prolazi kroz otklonski sistem koji ga usmerava prema određenoj tački na ekranu.
 - Otklonski sistem se deli na horizontalni i vertikalni, za usmeravanje elektronskog snopa po horizontali i vertikali.
 - Princip rada otklonskog sistema može biti **elektromagnetni** (zavojnice, kalemi) ili **elektrostatički** (otklonske ploče).
 - Slika na ekranu katodne cevi iscrtava se tako što otklonski sistem prevlači elektronski zrak sa leva na desno, red po red, odozgo prema dole.

CRT monitori

- Otklonski sistem pomiče elektronski zrak i na ekranu se iscrtava slika sastavljena od svetlih i tamnih tačaka, sve dok se ne iscrtaju i zadnji red tačaka.
- Elektronski zrak pogađa svaku tačku ekrana samo jedan kratki trenutak, nakon čega je otklonski sistem pomiče na sledeću tačku.
- Nakon izvesnog vremena, tačke pogođene elektronima prestale bi da svetle te je potrebno ponoviti postupak iscrtavanja (**osvežiti ekran**).
 - Slabljenje intenziteta svetlosti koju emituje fosfor između dva osvežavanja ljudsko oko primećuje kao treperenje slike.
 - Povećavanjem frekvencije osvežavanja oko prestaje da uočava treperenje.
- Kritična frekvencija fuzije (**CFF**) zavisi i od ambijentalnog osvetljenja i intenziteta i boje emitovane svetlosti i ljudske percepcije.
 - Što je **perzistencija** (vreme potrebno da intenzitet svetlosti tačke padne na 1/10 početnog intenziteta) fosfora veća, kritična frekvencija fuzije je manja, pri čemu ova zavisnost nije linearna.
 - Povećavanjem perzistencije fosfornog materijala dobija se mirnija slika ali to nije zgodno za dinamičke slike (izaziva zamućenje slike), zato se ide na povećanje frekvencije osvežavanja.

CRT monitori

- Frekvencija osvežavanja celog ekrana naziva se **vertikalna frekvencija osvežavanja** (*refresh rate*).
 - Broj koji pokazuje koliko puta u sekundi katodna cev obnovi celu sliku na ekranu.
- **Pojasna širina** (*bandwidth*) je maksimalna frekvencija paljenja i gašenja elektronskog topa katodne cevi.
- Katodna cev je rasterski uređaj koji karakterišu: adresabilnost, rezolucija, veličina pixela i veličina ekrana.
 - Veličina ekrana izražava se dužinom dijagonale ekrana.
 - Odnos horizontalne ivice CRT ekrana prema vertikalnoj je standardno 4:3, pa se iz dužine dijagonale mogu izračunati dimenzije strana.
 - Veličina piksela monohromatske katodne cevi zavisi od kvaliteta fokusnog sistema i fosfornog premaza ekrana (nikad ne svetli samo tačka na ekranu pogođena elektronima nego i manji ili veći pojas oko te tačke, zbog prenošenja pobude kroz fosfor).

CRT monitori

- **Definicije adresabilnosti i rezolucije** su iste kao i za bilo koji drugi grafički uređaj, s tim što se kod računarskih monitora radije daju kao ukupan broj tačaka po širini i visini ekrana.
- **Horizontalna adresabilnost monohromatske** katodne cevi je funkcija **bandwidth-a** i brzine pomicanja elektronskog zraka po horizontali (**horizontalne frekvencije osvežavanja**).
 - Uz fiksni bandwidth maksimalna adresabilnost se dobija uz minimalnu horizontalnu frekvenciju osvežavanja.
- **Vertikalna adresabilnost monohromatske** katodne cevi je funkcija **vertikalne i horizontalne frekvencije osvežavanja**.
 - Uz fiksnu horizontalnu frekvenciju osvežavanja, maksimalna vertikalna adresabilnost dobija se uz minimalnu vertikalnu frekvenciju osvežavanja.
- Rekosmo ranije da se ide na povećanje frekvencije osvežavanja zbog prikaza dinamičke slike i izbegavanje treperenja slike.

CRT monitori

- Za postizanje visoke adresabilnosti uz visoke frekvencije osvežavanja mora da se poveća bandwidth.
- Primer:
 - za adresabilnost 800x600 pixela (pazite na redosled: kolone pa redovi tj. širina pa visina),
uz vertikalnu frekvenciju osvežavanja 60Hz za navedenu adresabilnost, mora biti horizontalna frekvencija osvežavanja od najmanje:
$$600 \times 60\text{Hz} = 36\text{kHz},$$

tj. bandwidth od najmanje $800 \times 36\text{kHz} = 28.8\text{MHz}$.
 - za adresabilnost 1024 x 768 pixela
uz vertikalnu frekvenciju osvežavanja 60Hz
potrebna je horizontalna frekvencija osvežavanja od $\approx 46\text{kHz}$
potreban je minimalni bandwidth od $\approx 47\text{MHz}$.
 - *NAPOMENA*: Ova računica nije potpuno tačna, jer je zanemareno vreme potrebno da se elektronski zrak vrati sa kraja na početak sledećeg reda, kao i vreme potrebno za vraćanje sa kraja poslednjeg reda ekrana na početak prvog reda ekrana.

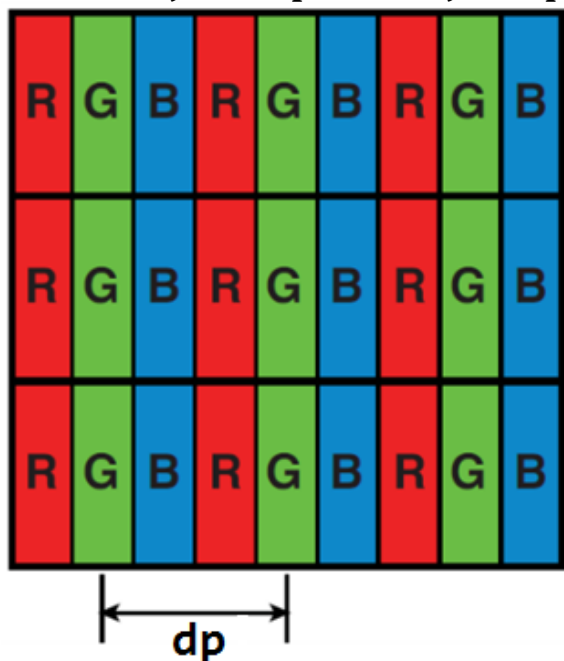
Tabela osvežavanja

Resolution	Vertical Refresh Rate	Horizontal Refresh Rate*
1024x768	60Hz	47.8KHz
1024x768	75Hz	60.3KHz
1024x768	85Hz	68.7KHz
1280x1024	60Hz	63.7KHz
1280x1024	75Hz	80.3KHz
1280x1024	85Hz	91.5KHz
1600x1200	60Hz	74.5KHz
1600x1200	75Hz	94.1KHz
1600x1200	85Hz	107.2KHz

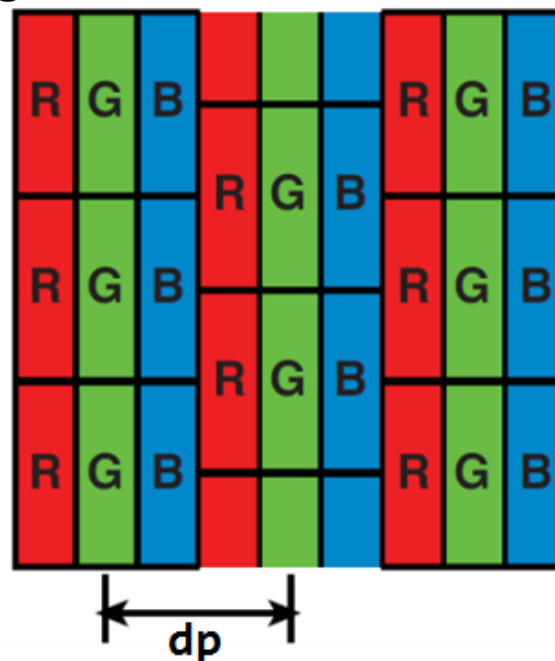
- Rezolucija zavisi od adresabilnosti i veličine pixela (ne može biti veća od adresabilnosti)
- U slučaju vrlo malih dimenzija pixela, rezolucija može biti jednaka adresabilnosti, pa se umesto izraza “adresabilnost” često koristi izraz “maksimalna rezolucija” pri čemu se obavezno navodi i maksimalna vertikalna frekvencija osvežavanja ekrana pri kojoj je moguće ostvariti tu rezoluciju.

Geometrija subpiksela

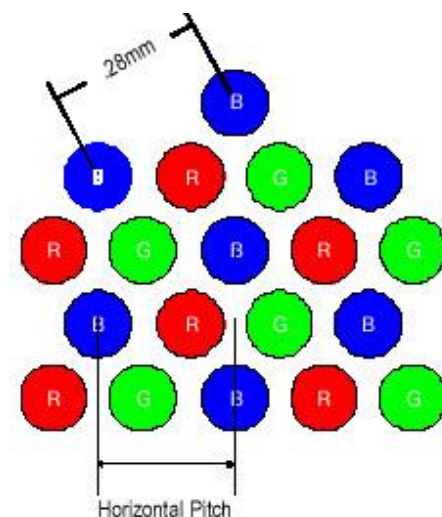
- Kod kolor monitora piksel se sastoji od 3 subpiksela za prikaz RGB palete boja.
- Promenom intenziteta boje svakog subpiksela moguće je prikazati opseg boja od potpuno crne (svi isključeni) do bele (svi uključeni) kao i sve boje između njih.
- Geometrija subpiksela je ili pravougaona traka ili u obliku tačaka.



Trakasti linearni poredak



Trakasti pomereni poredak



Tačkasti poredak

- Razmak između piksela (*pixel pitch*) ili rastojanje između dva piksela definiše se još kao i *dot-pitch*.

CTR monitori

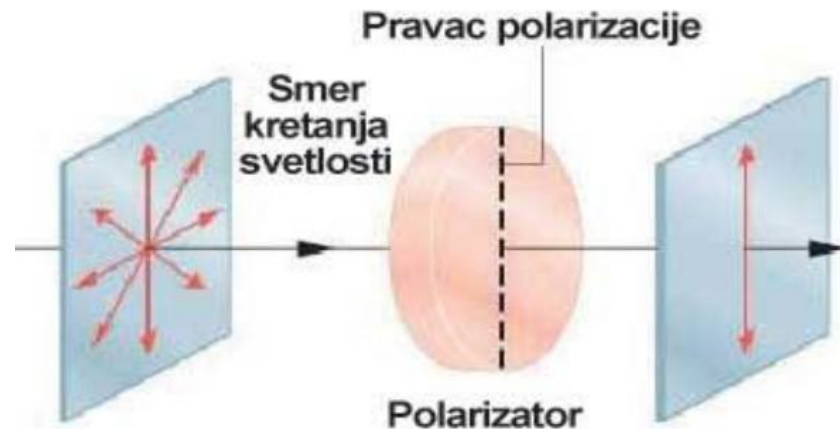
- Fosfori u jednoj grupi su tako blizu jedan drugome da ljudsko oko zapaža njihovu kombinaciju kao jedan obojeni piksel.
- Pre nego što elektronski mlaz udari u fosforu tačku, on prolazi kroz perforiranu ploču smeštenu direktno ispred sloja fosfora, koja se zove "maska senke" tako da se formira manji (zaokrugljeniji) vrh koji može čisto da udari u pojedinačni fosfor i da minimizuje "prelivanje" (mlaz elektrona osvetljava više od jedne tačke).
 - "moare" efekat (mlaz nije dobro usmeren), uzorak na ekranu ima oblik talasa.
- Mlaz se pomera po ekranu pomoću magnetnog polja stvorenog u okviru otklonskog sistema tako da polazi od gornjeg levog ugla (kada se gleda spreda u monitor) i pali se i gasi kako se kreće po redu, ili "rasteru".
- Kada udare o prednji deo ekrana, visoko-energetski elektroni se sudaraju sa česticama fosfora i pretvaraju energiju u svetlost. Kada se završi jedan prolaz, elektronski mlaz se pomera jedan raster naniže i proces počinje ponovo.
 - To se ponavlja sve dok se ne iscrta ceo ekran, kada se mlaz ponovo vraća na vrh da bi opet otpočeo sa opisanim procesom.
- Najvažniji aspekt monitora je da bi on trebalo da ima stabilan prikaz na izabranoj rezoluciji i paleti boja.

Displeji sa tečnim kristalima (*Liquid Crystal Display*)

- Tečne kristale je 1888. godine pronašao austrijski botaničar **Friedrich Reinitzer**, a sam termin "tečni kristal" smislio je malo kasnije nemački fizičar **Otto Lehmann**.
- Tečni kristali su gotovo providne supstance, koji imaju osobine i čvrste i tečne materije (dobijeni su zagrevanjem supstance **holesterol benzoat**).
 - Tečni kristal nije ni u tečnom, ni čvrstom agregatnom stanju (nešto između); bliži je tečnom stanju pa otuda i naziv.
- Prvi LCD prikaz izveden je 1968. godine a prvi LCD monitor kreiran je 1979. godine.
- Svetlo koje prolazi kroz tečne kristale prati poredak molekula od kojih se oni sastoje - što je osobina čvrste materije.
- U 6-oj dekadi 20. veka otkriveno je da naelektrisanje tečnih kristala menja njihov molekularni poredak i samim tim i način kako svetlo prolazi kroz njih - što je osobina tečnosti.
- Tečni kristali se široko primenjuju:
 - minijaturna televizija,
 - digitalni fotoaparati,
 - video kamere i monitori, ...

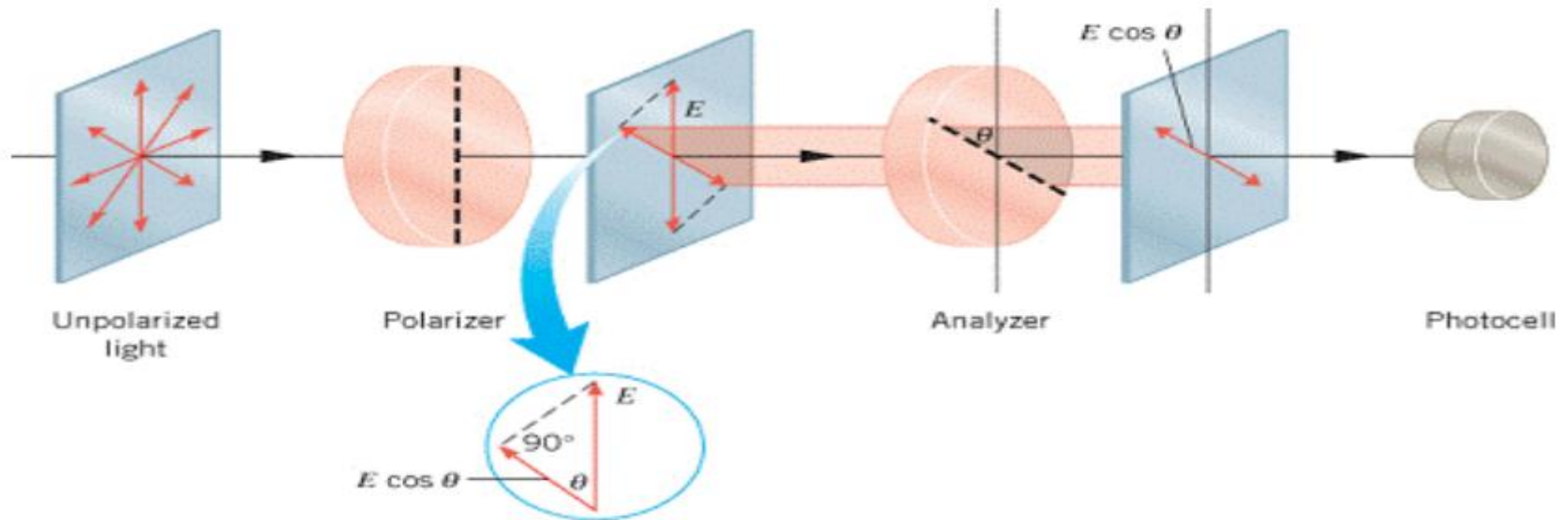
Osobine tečnih kristala

- Osobine tečnih kristala koje omogućuju rad LCD monitora:
 - polarizacija svetlosti
 - prenosi i menja polarizovanu svetlost
 - struktura tečnog kristala se menja pod uticajem napona
 - transparentnost supstance koja provodi elektricitet
- Polarizacija svetlosti:
 - Transverzalni talasi mogu da osciluju „na sve strane” (nepolarizovani talas), ili u jednom pravcu (polarizovani talas)
 - Pravac polarizacije (pravac oscilovanja polarizovanog talasa) može biti postavljen vodoravno (horizontalna polarizacija), uspravno (vertikalna polarizacija) ili može da ima neki kosi položaj.



Polarizacija

- Pojedini kristali polarizuju svetlost koja kroz njih prolazi u tačno određenom pravcu, a već polarizovanu svetlost propuštaju više ili manje, zavisno od toga koliko pravac polarizacije odstupa od položaja kristala.
- Ako svetlost prvo propustimo kroz vertikalni polarizator pa zatim kroz horizontalni, svetlost gotovo da neće prolaziti, a ako drugi polarizator okrenemo za 90 stepeni tako da i drugi polarizator postane vertikalni, propuštanje svetlosti biće maksimalno (blizu 100%)
- Ako drugi polarizator polako okrećemo, intenzitet propuštene svetlosti menjaće se od minimalnog do maksimalnog srazmerno uglu za koji okrećemo drugi polarizator (Maltusov zakon)

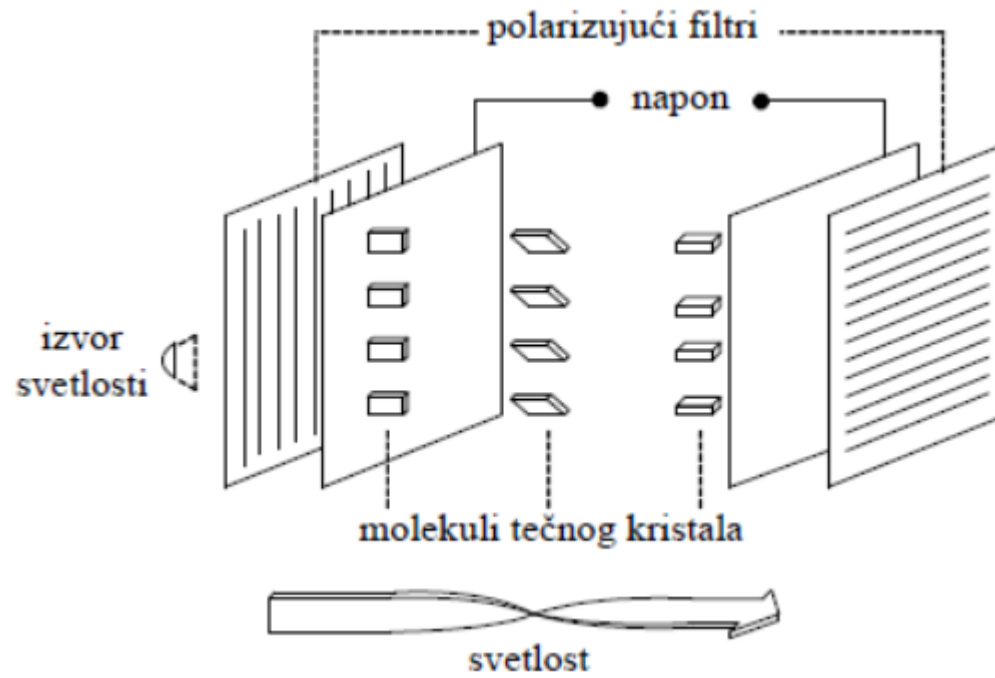


Polarizacija

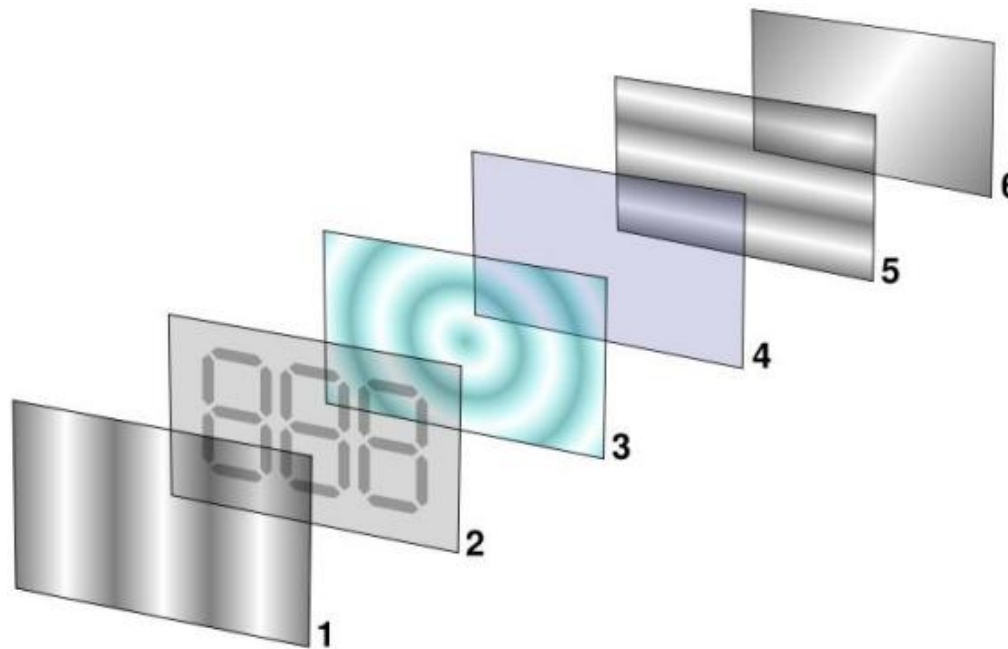
- Čelije monitora sa tečnim kristalima sadrže:
 - Horizontalni polarizator (npr. na ulazu),
 - Vertikalni polarizator (npr. na izlazu),
 - Sloj tečnog kristala između navedenih polarizatora sa sistemom za upravljanje (elektrode i tranzistor)
 - Sloj tečnog kristala ima molekule u obliku tankih cevčica koje su fabrički „naslagane” tako da se njihov niz spiralno uvija (**helikoida**). Ovaj položaj cevčica okreće pravac polarizovane svetlosti za određeni ugao (fabrički 90° čime ulazna horizontalno polarizovana svetlost izlazi vertikalno polarizovana).
- Vertikalni polarizator na izlazu propušta samo neznatno oslabljenu svetlost.
- Na elektrode koje dodiruju tečni kristal dovodi se električni napon i raspored cevčica u tečnom kristalu počinje da se menja:
 - Viši napon okreće cevčice u pravcu prostiranja svetlosti što smanjuje ugao za koji se okreće pravac polarizacije tako da on sve više odstupa od vertikale, te vertikalni polarizator na izlazu propušta sve manje svetlosti
 - Maksimalni napon svetlost polarizuje horizontalno, tako da vertikalni polarizator **skoro** uopšte ne propušta svetlost. ("probijanje" pozadinskog osvetljenja na ivicama monitora)

Polarizacija

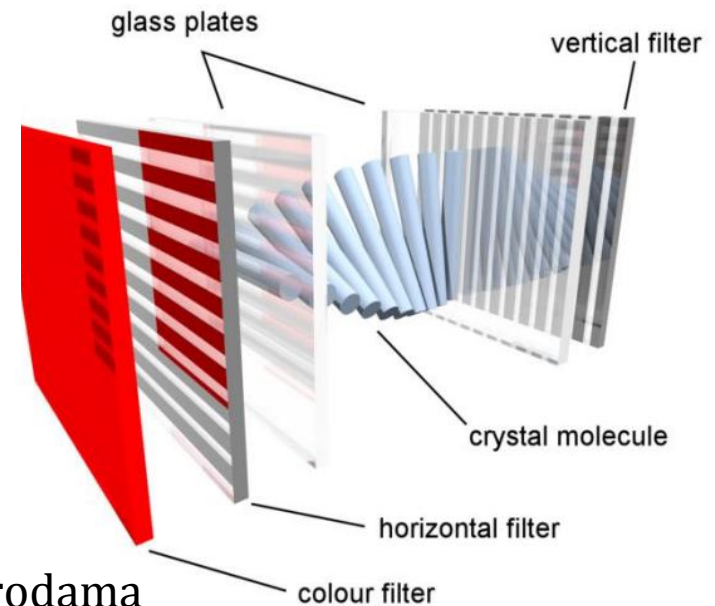
- Molekuli kristala biće zakrenuti spiralno za neki ugao u zavisnosti od intenziteta napona;
- Nivo svetlosti koja prolazi kroz drugi filter može se precizno kontrolisati podešavanjem električnog napona primenjenog na tečni kristal;
- Deo svetlosnog spektra koji prođe kroz drugi filter, dolazi do površine ekrana i na njemu generiše sliku.



Struktura LCD monitora



1. Vertikalni polarizator
2. Staklena podloga sa ITO (*Indium Tin Oxide*) elektrodama
3. Twisted nematic - tečni kristali
4. Stakleni supstrat sa zajedničkom elektrodom
5. Horizontalni filter blokira/propušta svetlost
6. Reflektujuća površina



Displeji sa tečnim kristalima

- LCD tehnologija izrade monitora (Liquid Crystal Display)
- LCD PC monitori se prave u različitim veličinama, najčešće je veličina dijagonale u opsegu od 15" do 30" (1"(in)=2.54cm)
- Najčešće dijagonale monitora 21", 22.5", 23", 27".
- Monitori sa ekranima manjim od 16" se obično koriste za posebne svrhe (laptop, netbook ili ultrabook računari)
- Monitori dijagonale veće od 30" spadaju u kategoriju multimedijalnih uređaja velikog formata i češće se koriste na TV uređajima.
- Veličina dijagonale i vidljiva dijagonala slike su iste kod LCD monitora (nisu iste kod CRT monitora jer deo okvira ovih monitora „uzima“ ~1" displeja (CRT od 17" ima vidljivu dijagonalu od 16" itd.) .
- Pošto LCD (i LED) monitori koriste samo jednu prirodnu rezoluciju (*native resolution*)
 - Da bi koristili neku drugu rezoluciju moraju koristiti elektronsko kolo za skaliranje slike.

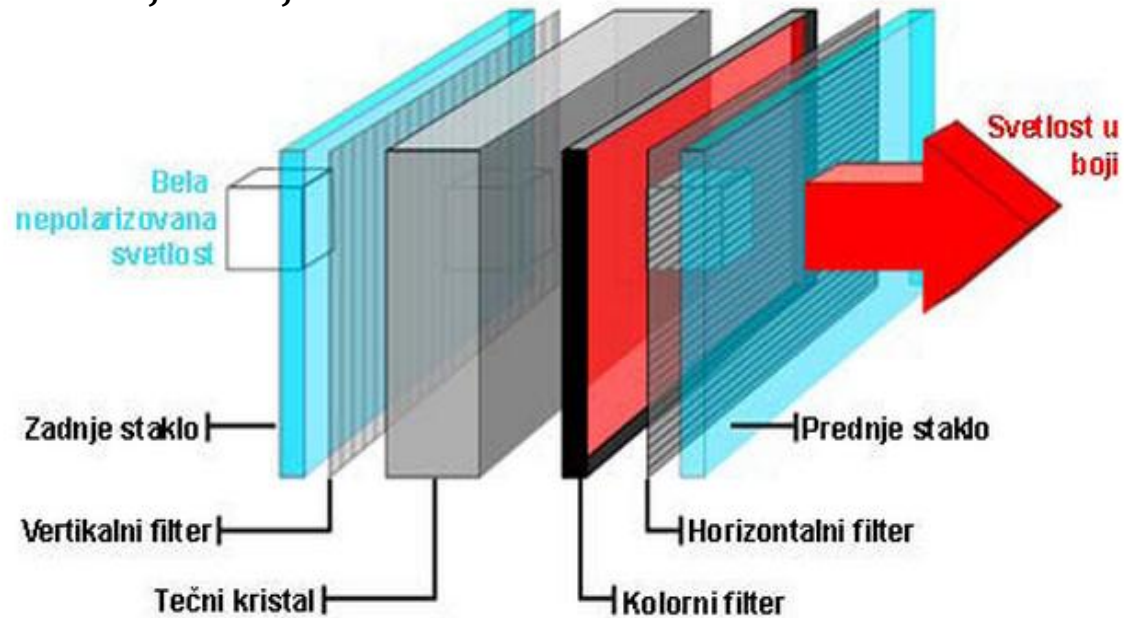
Displeji sa tečnim kristalima

- Od svog početka, tehnologija se značajno razvila, tako da današnji proizvodi više ne liče na stare, nespretne monohromatske uređaje.
- Ona se pojavila pre tehnologija ravnih ekrana i osigurala je svoj položaj u oblasti prenosnih i ručnih PC računara, gde su na raspolaganju dva oblika:
 - jeftiniji **DSTN** (dual-scan twisted nematic - obrnuti nematik sa dvostrukim skeniranjem)
 - tranzistor sa tankim filmom **TFT** (*Thin Film Transistor*) za sliku visokog kvaliteta.
- Displeji sa tečnim kristalima imaju brojne prednosti u odnosu na CRT ekrane:
 - manji gabarit,
 - manja potrošnja električne energije,
 - manje treperenje
 - "besprekornu" geometriju.
- Nedostaci displeja sa tečnim kristalom:
 - mnogo veća cena,
 - lošiji vidni ugao
 - malo slabije performanse prikaza boja.

Kolor displeji sa tečnim kristalima

- LCD je tehnologija koja se sastoji 6 slojeva i to :

1. zadnje staklo
2. vertikalni filter
3. tečni kristal
4. kolorni filter
5. horizontalni filter
6. prednje staklo



- Displej radi tako što propušta promenljive količine belog pozadinskog svetla stalnog intenziteta kroz aktivni filter.
- Crveni, zeleni i plavi elementi piksela dobijaju se jednostavnim filtriranjem belog svetla.
- Većina tečnih kristala su organska jedinjenja koja se sastoje od dugačkih molekula u vidu šipke koji se, u svom prirodnom stanju, raspoređuju tako da su im uzdužne ose približno paralelne.

Displeji sa tečnim kristalima

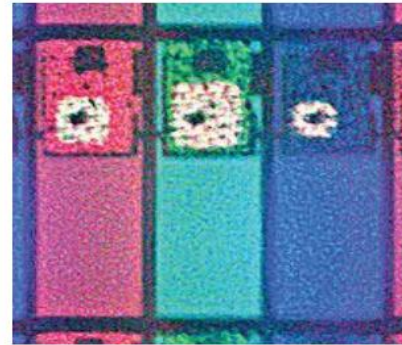
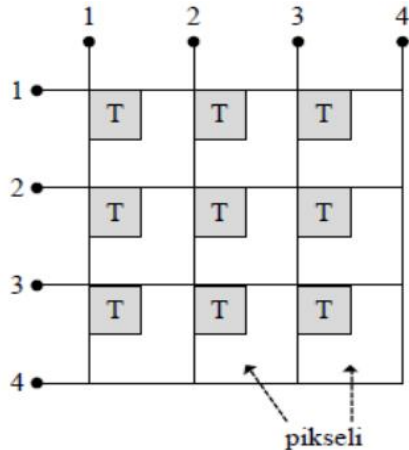
- Moguće je precizno kontrolisati poravnanje ovih molekula ako se tečni kristal nanosi na fino izbrazdanu površinu. **Poravnanje molekula** tada prati brazde, pa ako su one sasvim paralelne, takav će biti i raspored molekula.
- Prvi princip jednog LCD displeja sastoji se u postavljanju tečnog kristala u "sendvič" između dve fino izbrazdane površine, gde su **brazde** na jednoj površini normalne (pod uglom od **90** stepeni) u odnosu na brazde na drugoj površini.
 - Ako su molekuli na jednoj površini poredani u pravcu **sever-jug**, a molekuli na drugoj u pravcu **istok-zapad**, onda su oni između prisiljeni da budu u stanju obrtanja od 90 stepeni. Svetlost prati poredak molekula i zato se obrne za 90 stepeni dok prolazi kroz tečni kristal.
 - Kada se tečni kristal stavi pod napon, molekuli se poređaju vertikalno, tako da svetlo prolazi kroz tečni kristal bez obrtanja.
- Drugi princip LCD displeja se oslanja na osobine polarizujućih filtara i same svetlosti.
 - Talasi prirodne svetlosti su orijentisani pod slučajnim uglovima.
 - **Polarizujući filter** je jednostavno skup veoma finih paralelnih linija.
 - Ove linije dejstvuju kao mreža, zaustavljajući sve svetlosne talase sem onih koji su (slučajno) orijentisani pralelno tim linijama.

LCD monitori

- Kod LCD ekrana u boji, svaki piksel sastoji se od tri komponente, po jedna za prikazivanje crvene, zelene i plave boje pri čemu se upravljanje za svaku komponentu obavlja posebnim filterom.
- Kombinovanjem navedenih boja u različitim intenzitetima dobija se rezultujuća boja piksela (komponente piksela se nalaze na vrlo malom međusobnom rastojanju, pa se u ljudskom oku stvara iluzija mešanja boja).
- Kontrola piksela se postiže adresiranjem:
 - Pomoću **pasivnih matrica**
 - Stakleni paneli se postavljaju ispod i iznad tečnog kristala. Na panelima se nalaze elektrode koje formiraju strukturu matrice piksela po kolonama i vrstama. Izborom jednog horizontalnog i jednog vertikalnog električnog voda, adresira se tačno jedan piksel. Količina svetlosti u tom pikselu zavisi od napona između konkretnih vodova.
 - Pomoću **aktivnih matrica**
 - Aktivne matrice imaju sličnu strukturu kao i pasivne, s tom razlikom što se u preseku kolona i vrsta nalaze tranzistori i kondenzatori. Tranzistori rade kao prekidači i regulišu napon koji deluje na tečni kristal, a kondenzatori imaju ulogu da tranzistore drže „otvorenim“ između dva ciklusa osvežavanja ekrana.

TFT tehnologija monitora

- **TFT** (Thin Film Transistor) se zasniva na postavljanju tranzistorskog prekidača za regulaciju napona na svaki piksel.
- Tranzistori matrice panela za upravljanje pikselima su napravljeni u tankom sloju amornog silicijuma (thin film).

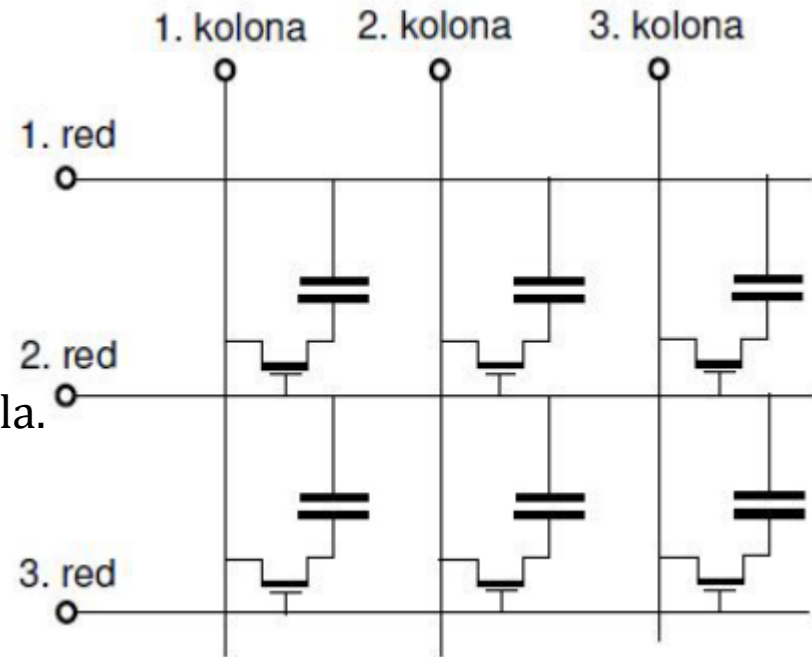


Piksel sa tranzistorima u gornjem redu

- TFT monitori su LCD monitori sa aktivnim matricama i uloga tranzistora je da brzo uključuju i isključuju LCD piksele.
- Svaki piksel ima 3 subpiksela, za crvenu, zelenu i plavu boju i svakom subpikselu pridružen tranzistor koji generiše napon koji menja položaj molekula tečnog kristala i time određuje količinu svetlosti koju taj subpiksel propušta do polarizujućeg filtera.

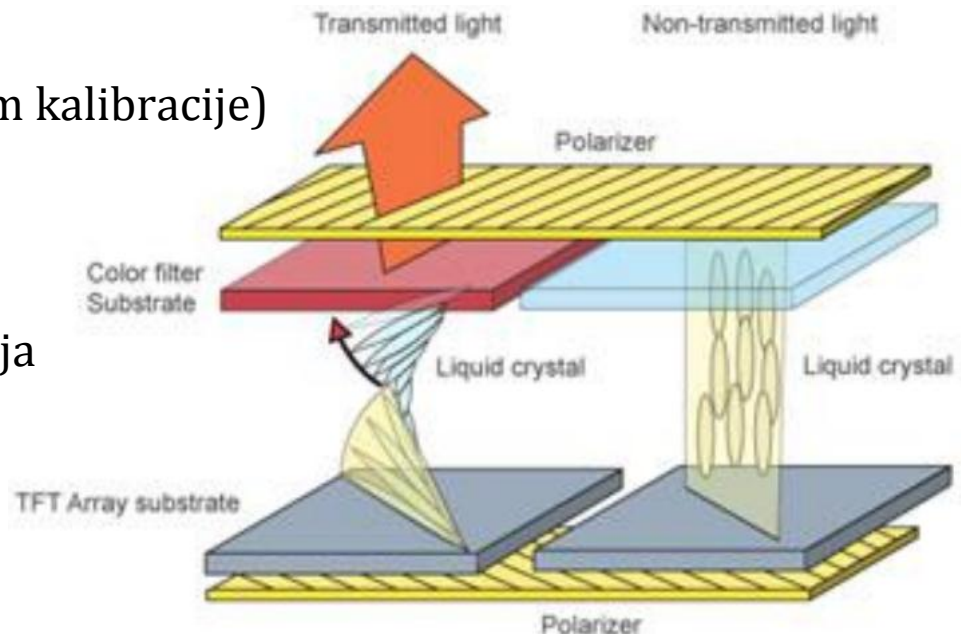
TFT tehnologija monitora

- Na svaki piksel je posebnim postupkom nanet tranzistor FET tipa
 - U jednom redu su kratko spojeni **gejtovi** tranzistora.
 - U jednoj koloni su kratko spojeni **sorsevi** tranzistora.
 - **Drejnovi** tranzistora su spojeni na površine kristala, ovaj spoj se ponaša kao kondenzator.
 - Dovođenjem napona na jedan red i jednu kolonu matrice, aktivira se samo 1 tranzistor (u njihovom preseku).
 - Preko tranzistora se puni kondenzator.
 - Tako se dovodi napon na jednu ćeliju LCD-a (piksel).
 - Količina akumuliranog naelektrisanja određuje polarizaciju molekula unutar piksela.
 - Na ovaj način kontroliše se količina svetlosti koja može da prođe kroz površinu jednog piksela.
-



TFT tipovi panela: TN paneli

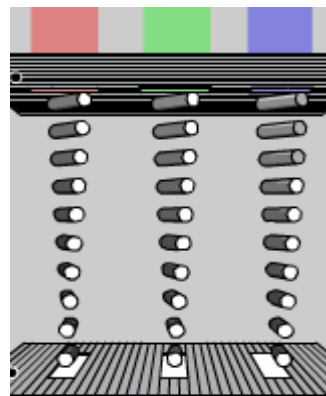
- **TN** paneli (Twisted Nematic):
 - sadrži cevčice tečnog kristala postavljene u obliku razvučene spirale – helikoide; pri dovođenju kontrolnog napona cevčice se postepeno okreću ka uzdužnom položaju i stoje ukoso, a to izaziva veliko rasipanje i gubitke svetlosti
 - kada se monitor posmatra iskosa, slika je suviše tamna i boje su promenjene, što je kod jeftinijih modela vidljivo po ivicama slike čak i kada se gleda pravo na monitor
 - nemogućnost dobijanja potpuno crne boje
 - loša reprodukcija boja (otklanja se softverski, postupkom kalibracije)
 - mali je dinamički raspon (razlika između reprodukcije crnog i belog) čime se ne može prikazati puna 24-bitna paleta boja
 - jeftini su
 - imaju veoma brz odziv (<4ms pri promeni sivo-sivo GtG (Grey to Grey))



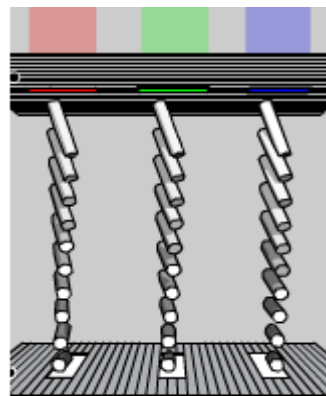
TFT tipovi panela: IPS paneli

- **IPS** paneli (*In-plane Switching*)

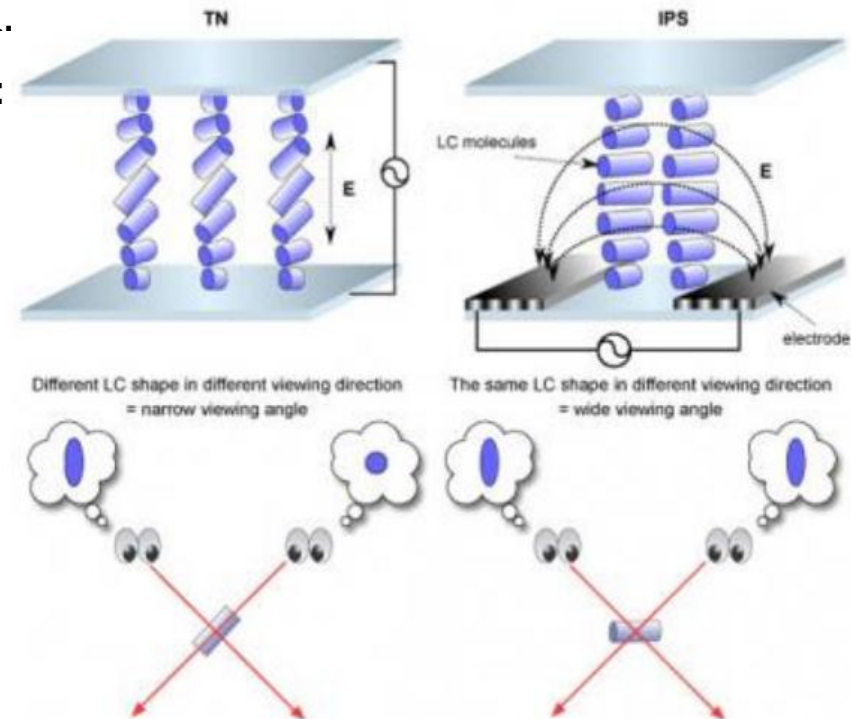
- cevčice tečnog kristala se, prilikom promene električnog napona, okreću tako da uvek ostaju u ravni okomitoj na pravac svetlosti.
(eliminiše se loša reprodukcija crne i nelinearnost reprodukcije boja)
- znatno su složenije konstrukcije i sa znatno sporijim vremenom odziva, oko 10ms (imaju dva kontrolna napona što znači i dva kontrolna tranzistora).
- poboljšani su uglovi gledanja u odnosu na TN.
- imaju veoma dobru reprodukciju boja.
- razvijeni su S-IPS, AS-IPS, H-IPS... koji:
 - manje koštaju nego IPS paneli,
 - imaju poboljšano vreme odziva piksela u odnosu na IPS panele.



IPS



TN

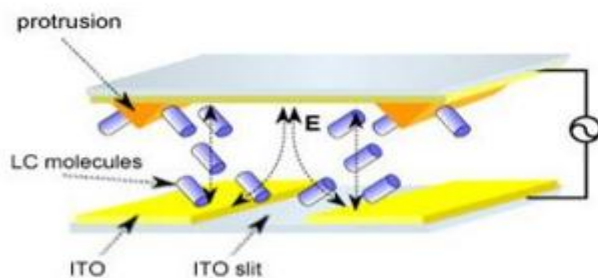


TFT tipovi panela: VA paneli

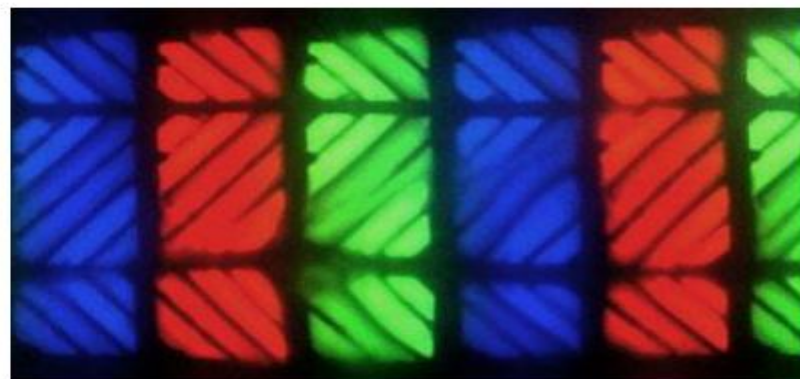
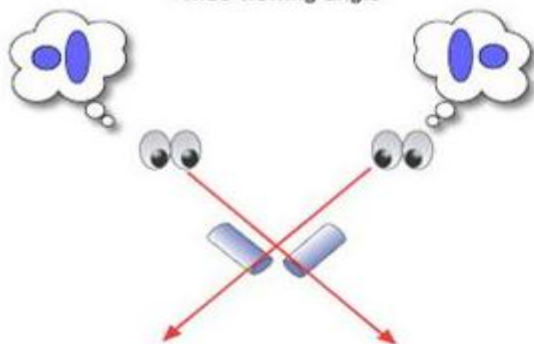
- **VA** (*Vertical Alignment*) paneli imaju vertikalni položaj cevčica u tečnom kristalu
- Po karakteristikama predstavljaju kompromis između TN i IPS tipa panela (kad nema napona cevčice stoje okomito na podlogu i svetlost ne prolazi a kada se uključi pun napon, cevčice se okreću paralelno podlozi i svetlost prolazi);
 - za kontrolu se koristi samo jedan tranzistor po ćeliji
- Dve najčešće korišćene varijante VA panela su:
 - **MVA** (*Multidomain Vertical Alignment*)
 - **PVA** (*Patterned Vertical Alignment*).
- Karakteristike:
 - superiornija reprodukcija boja od TN panela, ali ne toliko dobra kao kod IPS panela
 - veoma dobri uglovi gledanja, ali ne toliko dobri kao kod IPS panela
 - veći nivo kontrasta
 - jako dobar nivo crne boje
 - sporije vreme odziva piksela u odnosu na TN i IPS panele

TFT tipovi panela: VA paneli

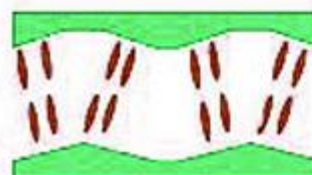
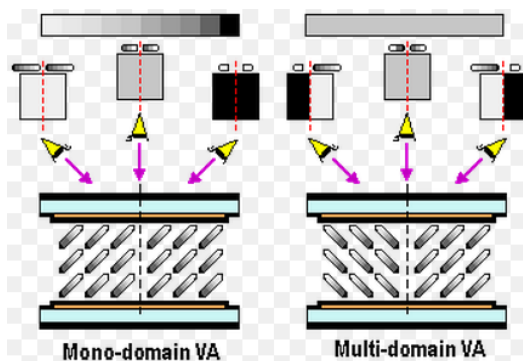
MVA



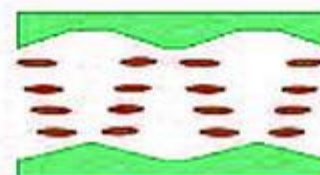
The same LC shape in different viewing direction
= wide viewing angle



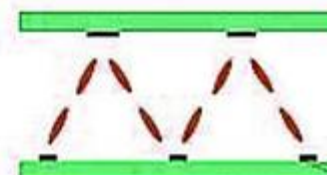
Subpikseli u MVA panelu



MVA OFF



MVA ON

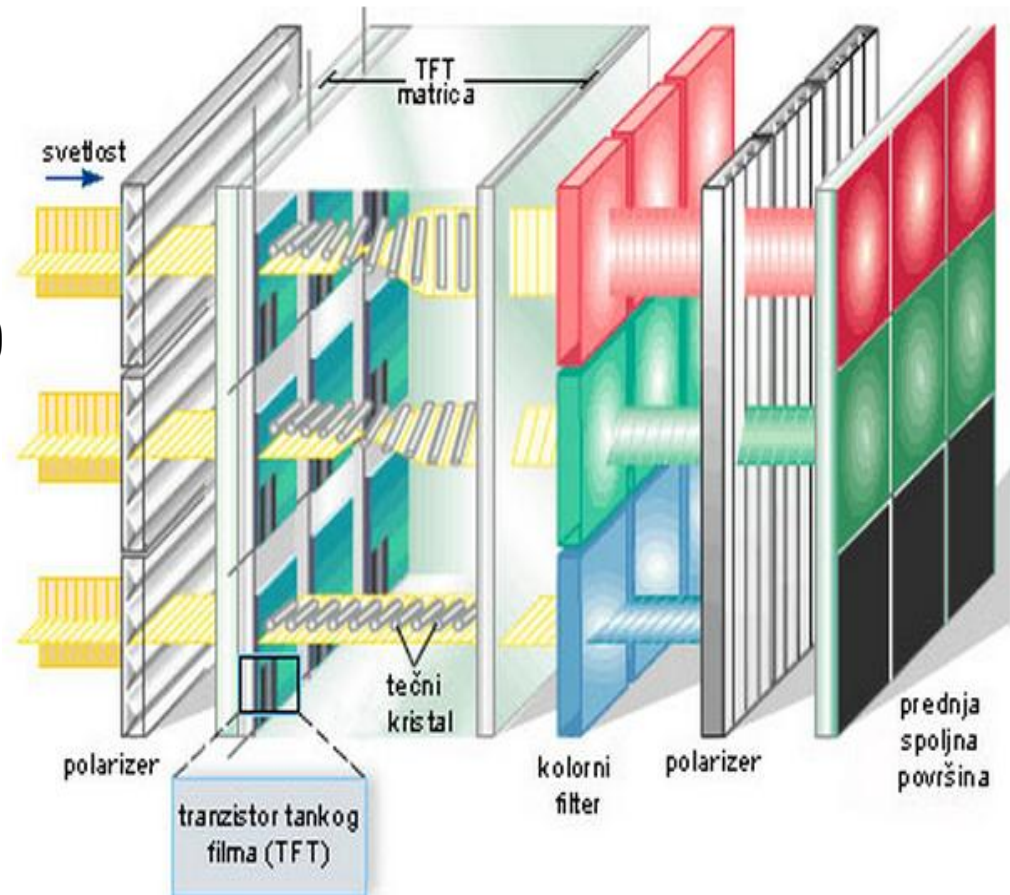


PVA

Prikaz osvetljavanja TFT piksela u boji

- Kristali u LCD displeju mogli bi biti alternativno raspoređeni, tako da svetlost prolazi kada ima napona, a ne prolazi kada ga nema.
 - Ekрани su skoro uvek "uključeni" tako da je u cilju uštede električne energije bolje da se kristali rasporede tako da kada nema napona – prolazi svetlost.

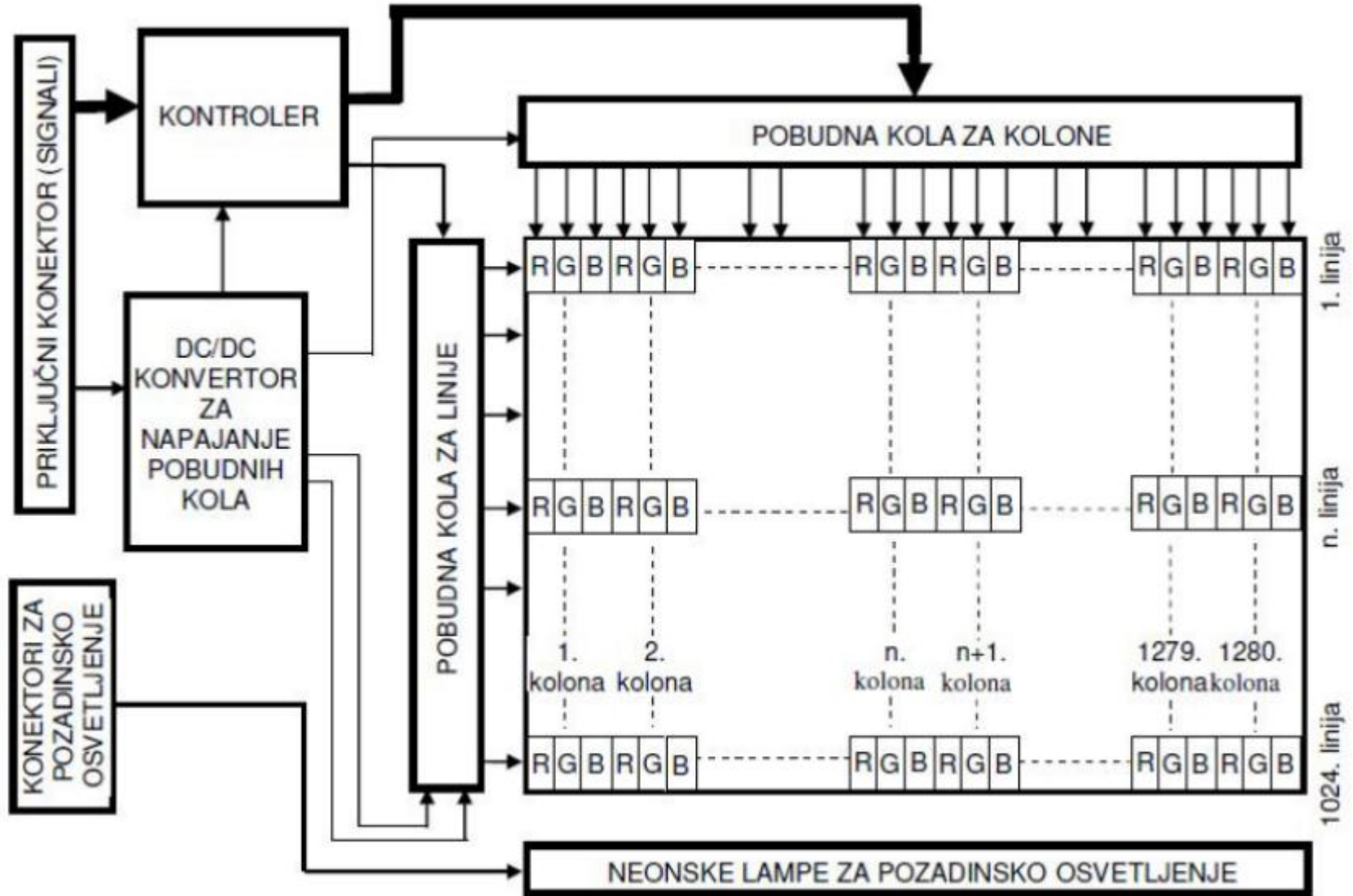
- Slojevi TFT displeja u boji:
 - polarizator
 - tranzistor tankog filma (TFT)
 - tečni kristal
 - kolorni filter
 - polarizator
 - prednja spoljna površina



Pozadinsko osvetljenje

- Pozadinsko osvetljenje se realizuje na dva načina:
 - Korišćenjem fluorescentnih cevi sa hladnom katodom **CCFL** (*cold-cathode fluorescent lamps*) kod ranijih generacija monitora.
 - Fluorescentne cevi daju svetlost zadovoljavajućih karakteristika, veoma su malih dimenzija (tanke su) ali i lako lomljive; tokom rada primaju toplotu kućišta monitora
 - Fluorescentne cevi su postavljene okolo, iznad i/ili iza structure TFT panela;
 - obično se koristi bela difuzionna ploča, koja se nalazi iza TFT panela, kako bi se ravnomernije vršila difuzija pozadinske svetlosti
 - Korišćenjem **LED** dioda (sadašnja tehnologija), trajnije i energetski efikasnije
 - najčešće se koristi ivično (edge) LED pozadinsko osvetljenje
 - sa leve i desne strane monitora
 - sa gornje i donje strane monitora
 - sa svih strana monitora

Blok shema TFT monitora



Displeji sa tečnim kristalima

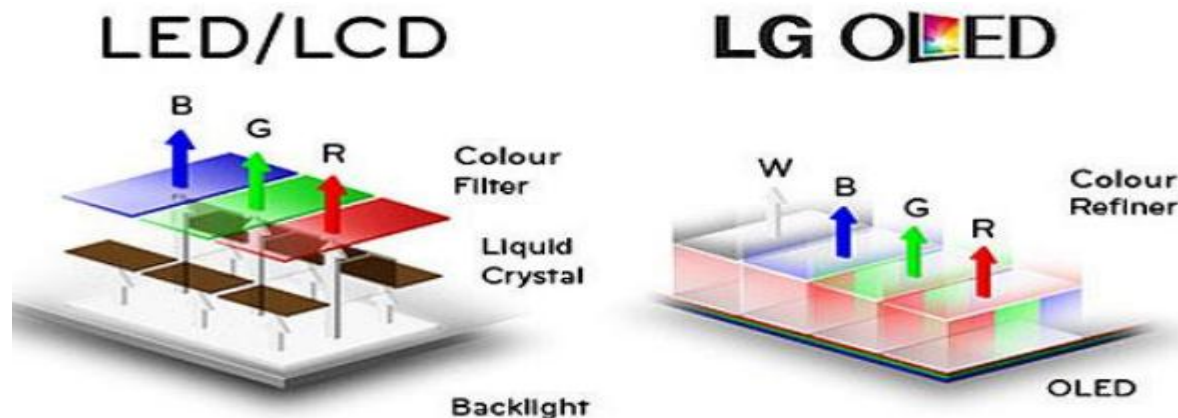
- TFT ekrani mogu da se naprave mnogo tanjim od LCD-ova, što ih čini lakšim, a brzine osvežavanja sa sada približavaju onima koje imaju katodne cevi.
- VGA ekrani zahtevaju 921600 tranzistora za rezoluciju 640x480 ($640 \cdot 480 \cdot 3$), dok je za rezoluciju od 1024x768 potrebno 2 359 296 tranzistora i svaki treba da bude besprekoran.
- Kompletna matrica tranzistora treba da se proizvede na jednoj skupoj silicijumskoj pločici i malo prisustvo nečistoća znači odbacivanje ploče.
 - Ovo je razlog za visoku cenu TFT displeja.
- To je takođe razlog zašto je u TFT displeju može postojati nekoliko neispravnih piksela čiji su tranzistori otkazali tako da danas takvi ne idu u prodaju.

Displeji sa tečnim kristalima

- Postoje dva fenomena koji definišu neispravan LCD piksel:
 - "upaljen" piksel, koji se javlja kao jedan ili više slučajno raspoređenih crvenih, plavih i/ili zelenih piksela na potpuno tamnoj pozadini
 - "nedostajući" ili "mrtav" piksel koji se javlja kao crna tačka na potpuno beloj pozadini.
- Prvi je češći i rezultat je slučajnog kratkog spoja tranzistora, što ima za posledicu da je piksel (crveni, zeleni ili plavi) stalno uključen.
 - Posle sklapanja uređaja nemoguća je popravka ove greške.
 - Može se onеспособiti neispravan tranzistor pomoću lasera što stvara crne tačke koje će se pojaviti na beloj pozadini.
- Ranije je stalno uključivanje piksela je prilično česta pojava u proizvodnji displeja sa tečnim kristalima, pa su proizvođači postavljali granice da se održi razumna cena proizvoda uz minimizaciju odvrćanja korisnika zbog lošijeg kvaliteta u pogledu neispravnih piksela.
 - Na primer, panel sa rezolucijom od $1024 \times 768 \times 3 = 2359296$ piksela sa 20 neispravnih piksela, imao bi procent neispravnih piksela 0.0008 %.

OLED monitori

- **OLED** (*Organic Light Emitting Diode*) je organski materijal napravljen od ugljeničnih vlakana koja emituju svjetlo kada se kroz njih propusti struja
 - Imaju kao osnovu diode od organskih materijala koje emituju svjetlost. OLED dioda se sastoji od katode i anode između kojih je materijal (od malih molekula ili od polimera)
- Glavna razlika u odnosu na LCD tehnologije jeste da za OLED-u nisu potrebni pozadinsko osvetljenje i filteri.
- OLED tehnologija je energetski efikasnija, jednostavnija i omogućuje proizvodnju znatno tanjih ekrana u odnosu na modele koji koriste LCD tehnologiju



- Complex Structure
- BLU (Backlight Unit) CCFL, LED
- Lighting Unit = Pixel Unit

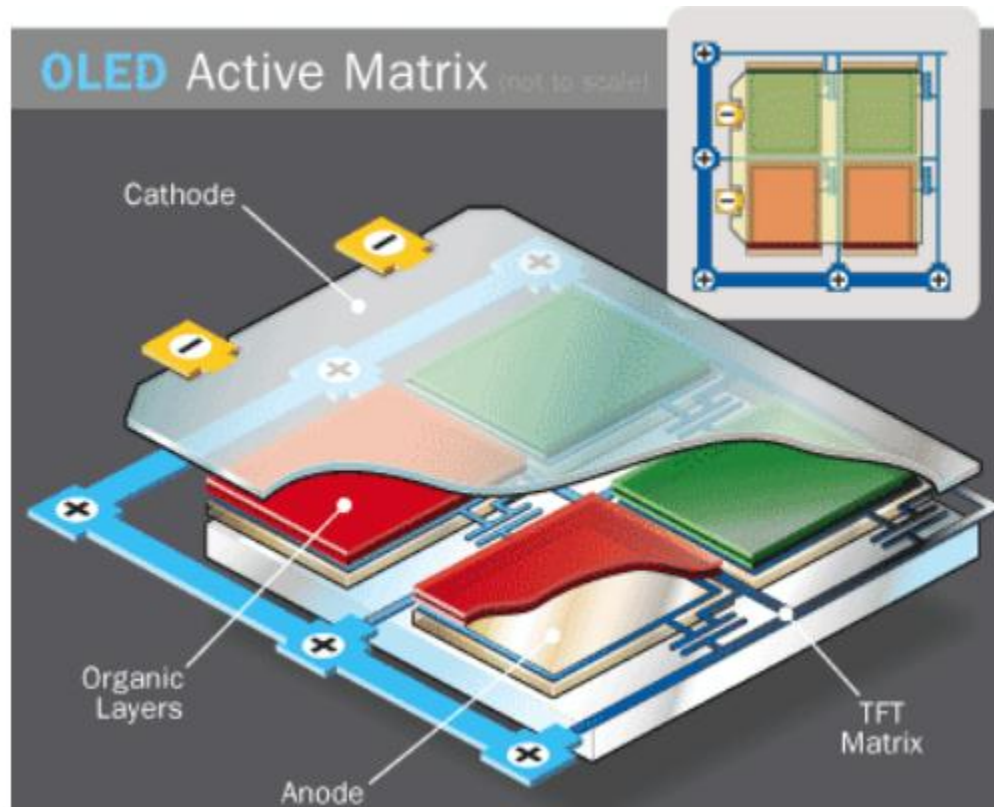
- Simple Structure
- Self-emissive
- Lighting Unit = Pixel Unit

OLED monitori

- Dobre osobine:
 - OLED tehnologija pruža izuzetan kvalitet slike - omogućuje prikaz postojane i jarke boje, duboke crne boje (koja je zaista „crna“)
 - široki ugao gledanja, mogućnost pravljenja savitljivih (*curved*) ekrana
 - mala potrošnja
 - širok spektar boja
 - imaju veoma brz odziv
 - velike frekvencije osvežavanja (npr. 480Hz)
 - slika i boje na ekranu su invarijantne na ugao gledanja
- Loše osobine:
 - skupi,
 - plava komponenta je kritična (traju reda nekoliko godina)
 - osetljivi na UV svetlost
 - koriste se najviše u mobilnim uređajima

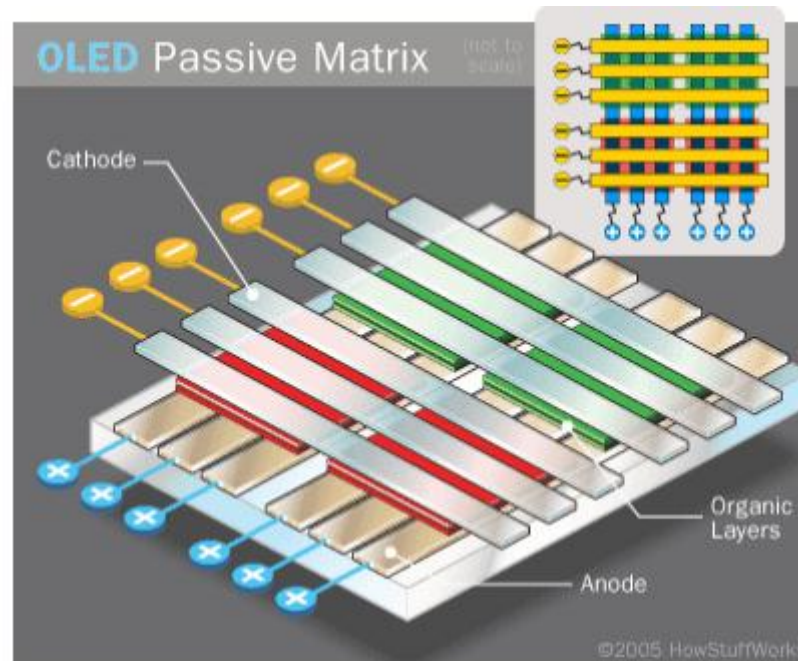
OLED monitori AMOLED

- OLED monitori sa aktivnom matricom **AMOLED** (*Active-Matrix OLED*) sastoje se iz ćelija koje imaju slojeve organskih molekula i anode složene u piksele, koji se nalaze u sendvič-strukturi veće katode i TFT matrice
 - TFT matrica kontroliše koji će piksel biti upaljen a koji ne, propuštanjem struje kroz odgovarajući tranzistor (slično kao kod TFT monitora)



OLED monitori PMOLED

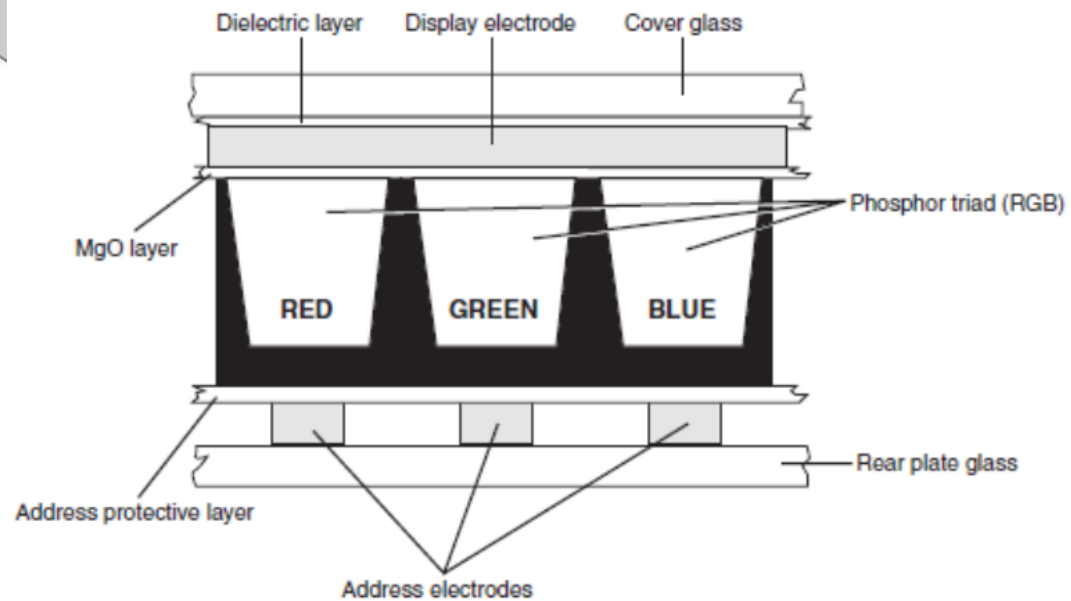
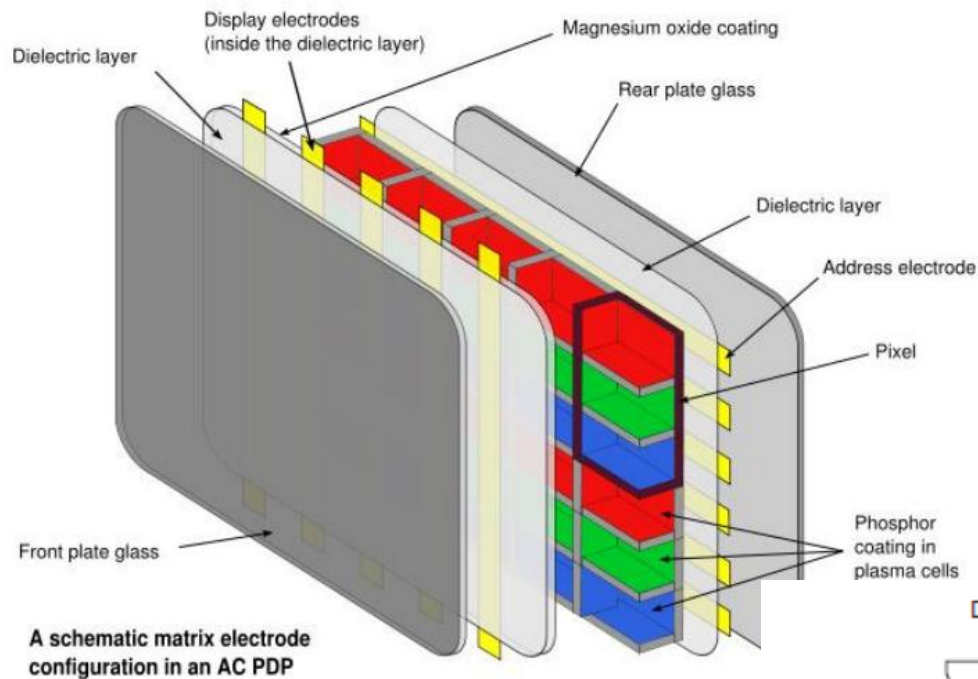
- OLED monitori sa pasivnom matricom **PMOLED** (*Passive-Matrix OLED*) sastoje se iz matrice koju formiraju međusobno ukrštene prozirne anode i neprozirne katode u obliku traka
- Između njih nalaze se slojevi odgovarajućih organskih LED dioda (u boji) i provodnih molekula;
 - dovođenjem napona aktivira se dioda u preseku katode i anode i emituje svetlost određenog intenziteta, boje i oštine



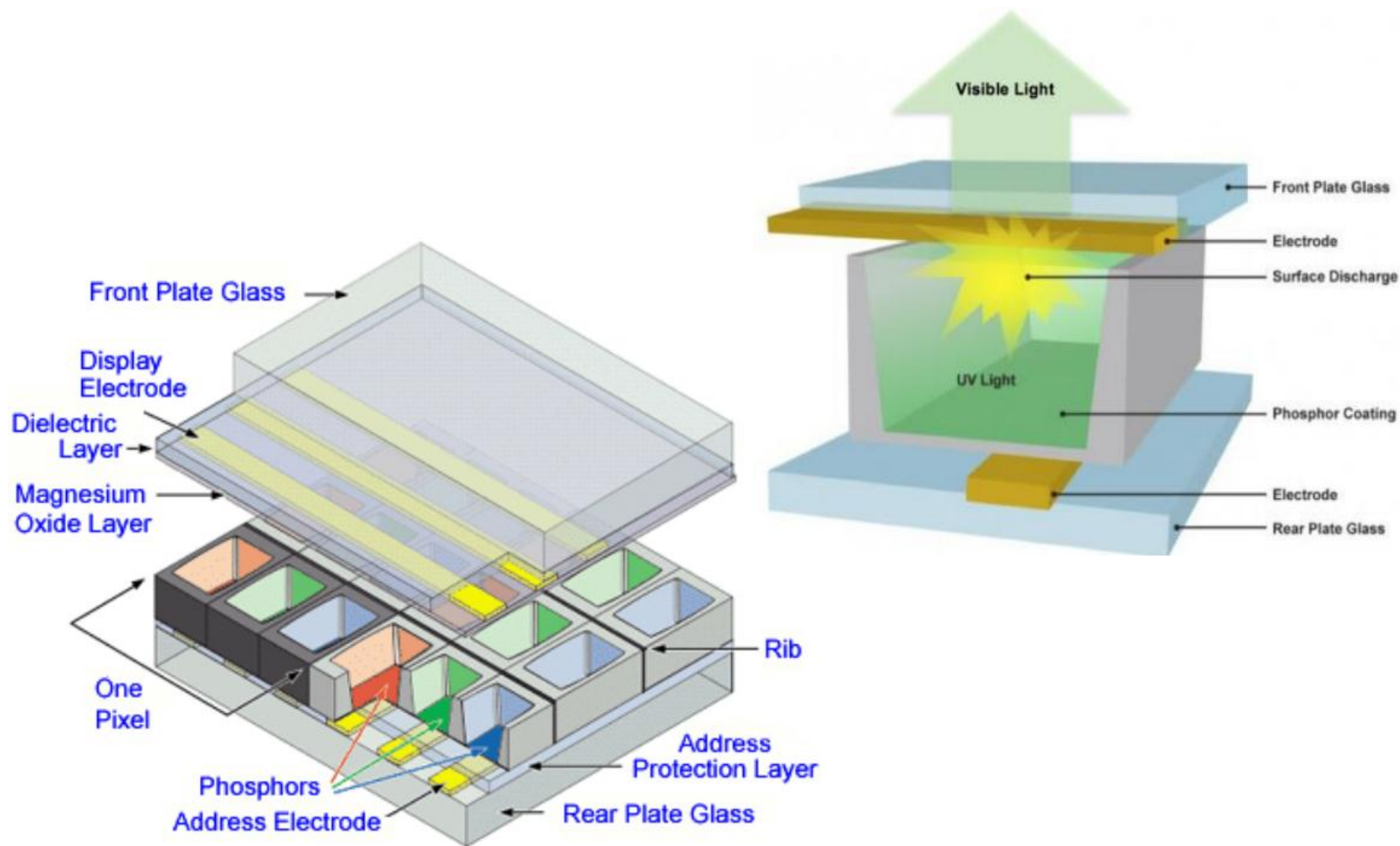
Plazma monitori

- Plazma predstavlja agregatno stanje **jonizovanog gasa** na visokoj temperaturi.
 - Inertni gasovi se pri visokom naponu jonizuju (prelaze u stanje plazme) postaju provodni i emituju svetlost.
- Ekran ima sitne ćelije napunjene gasom (plemeniti gasovi (**neon**, **argon**, **ksenon**) i malo **žive**). Kada se adresiraju date elektrode kroz gas prolazi struja, gas se "pali" i emituju se fotoni koji pogađaju fosfor na prednjoj strani panela i on isijava svetlost.
- Druge dve staklene ploče sadrže električne provodnike poredane u redove, odnosno kolone. Provodnici čine ortogonalnu mrežu i povezani su sa svakom od ćelija ekrana.
- Svaka ćelija u mreži zasvetli određenim intenzitetom na osnovu dobijenog signala u preseku njenih provodnika, čime se formira slika na ekranu.
- Koristi se fosforni sloj (kao kod CRT monitora) i matrice elektroda odvojenih dielektrikom (**MgO**) da bi se adresirali posebni delovi slike (kao kod TFT ekrana).
- Ne koriste se kao tehnologija računarskih monitora jer imaju određene nedostatke:
 - Može da dođe do trajnog „zamrzavanja“ slike ("zapečena slika"),
 - Ne mogu postići glatku linearnu promenu od potpuno belog do potpuno tamnog,
 - Velika dimenzija tačke.
- Koriste se kao TV paneli dijagonale veće od 40" i veliki zidni monitori.

Plazma monitori



Plazma monitori



Plazma monitori

- Moguće je precizno kontrolisati sliku u maksimalnoj rezoluciji boje
 - Displej i adresne elektrode formiraju mrežu kojom se može aktivirati svaki subpiksel zasebno uz naponsku regulaciju intenziteta svakog subpiksela.
- Plazma ekrani najbolje prikazuju svoju prirodnu rezoluciju (kao i ostali ekrani sa fiksiranim pikselima (LCD, OLED)).
- Imaju primenu za prezentaciju multimedijalnog sadržaja većem broju gledalaca.
- Proizvodnja je jednostavnija nego kod TFT ekrana jer se PDP displeji mogu proizvoditi u manje čistim fabrikama, uz niske temperature i jeftine direktne procese štampanja.
 - Plazma ekrani su jako osetljivi na **pregorevanje fosfora** zbog visoke temperature gasa (na starijim modelima fosfor je dosta sklon propadanju, ali današnji modeli imaju vek trajanja duži i od CRT ekrana).
 - Plazma ekrani **troše** mnogo **više struje** od LCD ekrana.
 - **Problem** je prikazivanje **tamnih nijansi** sive boje (posledica nedovoljne kvantizacije ili digitalnog uzorkovanja nivoa osvetljaja).

Plazma displej

- Da bi se stvorile nijanse boja, intenzitetom R, G i B boje upravlja se nezavisno impulsnom kodovanom modulacijom (PCM - *Pulse Code Modulation*).
 - Impulsni težinski faktor u 8-bitnoj reči postiže podešavanje širine adresiranih impulsa u 256 nivoa.
- Kako je ljudsko oko mnogo sporije od impulsne kodovane modulacije ono će integrisati intenzitet u vremenu.
- Modulisanje širina impulsa na ovaj način prevodi se u 256 različitih intenziteta svake boje - dajući ukupan broj kombinacija od $256 \times 256 \times 256 = 16\,777\,216$.
- Činjenica da su PDP displeji emisijni i da koriste fosfor znači da oni imaju izvanredan vidni ugao i performansu boje.
- U početku, PDP displeji su imali problem sa poremećajima prouzrokovanim međusobnim uticajem impulsne kodovane modulacije i brzo pokretnih slika.
 - Ovaj problem je eliminisan finim podešavanjem šeme PCM.
- Konvencionalni plazma ekrani su imali mali kontrast jer su se ćelije "pripremale" priključenjem konstantnog niskog napona na svaku od njih.
 - Bez ove pripreme, plazma ćelije bi imale loše odzivno vreme.