

**UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE**  
**FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY**

**HISTÓRIA, VÝVOJ A POROVNÁVANIE TECHNOLOGIÍ**  
**ZOBRAZOVACÍCH ZARIADENÍ**

**2011**

**Barbara Vozáryová**

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE  
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY



**HISTÓRIA, VÝVOJ A POROVNÁVANIE TECHNOLOGÍÍ  
ZOBRAZOVACÍCH ZARIADENÍ**

Bakalárska práca

**Barbara Vozáryová**

Študijný program : Matematika

Študijný odbor: 9.1.1 Matematika

Školiace pracovisko: Katedra algebry, geometrie a didaktiky matematiky

Vedúci práce: RNDr. Róbert Bohdal, PhD.

Kód: 6b6bf1b7-c9cc-4e53-811b-ca5163b8fa53

Bratislava, 2011



## ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

**Meno a priezvisko študenta:** Barbara Vozáryová  
**Študijný program:** matematika (Jednoodborové štúdium, bakalársky I. st., denná forma)  
**Študijný odbor:** 9.1.1. matematika  
**Typ záverečnej práce:** bakalárska  
**Jazyk záverečnej práce:** slovenský

**Názov :** História, vývoj a porovnávanie technológií zobrazovacích zariadení  
**Cieľ :** Historický vývoj, popis a porovnanie technológií zobrazovacích zariadení vrátane najmodernejších stereoskopických displejov.

**Vedúci :** RNDr. Róbert Bohdal, PhD.

**Dátum zadania:** 28.10.2010

**Dátum schválenia:** 15.12.2010

prof. RNDr. Ján Filo, CSc.  
garant študijného programu

  
.....  
študent  
.....  
vedúci práce

Dátum potvrdenia finálnej verzie práce, súhlas s jej odovzdaním (vrátane spôsobu prístupnosti)

  
.....  
vedúci práce

## **Pod'akovanie**

Touto cestou d'akujem svojmu vedúcemu bakalárskej práce a zároveň aj školiteľovi v jednej osobe RNDr. Róbertovi Bohdalovi, PhD za cenné rady a odborné vedenie pri vypracovávaní tohto školského diela. Ďalej d'akujem všetkým čo ma podporovali a prispeli k skvalitneniu tejto práce.

## Abstrakt

V tejto Bakalárskej práci sme sa zaoberali „Zobrazovacou jednotkou“, inak tiež nazývanou displej (z ang. display – zobrazit') prípadne VDU (Visual Display Unit), ktorá je výstupným zobrazovacím zariadením. Ďalším často používaným pomenovaním zobrazovacej jednotky je monitor. Monitor je základné výstupné elektronické zariadenie slúžiace k zobrazovaniu textových a grafických informácií, pôvodne určené najmä na monitorovanie hlásení o stave a priebehu činnosti systému. Odtiaľ pochádza aj jeho názov monitor. Ten na rozdiel od televízneho prijímača obvykle nie je vybavený vysokofrekvenčným vstupným obvodom (tunerom). Signál je do monitora prenášaný buď analógovo pri CRT, alebo v súčasnosti už digitálne pri všetkých ostatných druhoch. Momentálne je na trhu veľa typov monitorov, ktoré sa líšia technológiou zobrazovania, veľkosťou uhlopriečky, farebnosťou, pozorovacím uhlom, grafickým výkonom a mnohými ďalšími parametrami. My sme sa nimi zaoberali postupne od najstarších k najnovším. Oboznámili sme sa s klasickými CRT monitormi, zistili sme prečo ich LCD úplne vytlačili z trhu a aj ako fungujú. Popísali sme niektoré fakty aj o plazmových displejoch a nezabudli sme ani na nové typy ako SED, FED, OLED... Pri všetkých sme uviedli ich výhody, nevýhody, vývoj a princíp na akom pracujú. Pri jednotlivých typoch monitorov a ich súčiastok sme si v práci pre lepšie pochopenie aj graficky ukázali ich funkčnosť.

Kľúčové slová: monitor, displej, luminofór, elektróda

## **Abstract**

This bachelor's thesis is about “visual unit”, also known as display or VDU (Visual Display Unit), which is device for visual output. Another frequently used name for a visual unit is monitor. Monitor is electronic output device for displaying text and graphical information, formerly used for monitoring state and functioning of the system. Name “monitor” was derived from this function. Opposite to television receiver, monitor does not have high frequency output circuit (tuner). Analogue signal transfer is used for CRT monitors and digital for all other types. Currently there are many types of monitors, that have different visualization technology, diagonal size, color, viewing angle, graphical performance and many other parameters. We studied them chronologically from the oldest to the newest. We studied CRT monitors, how they work and why they were repressed on the market by LCD monitors. Some facts about plasma displays are also mentioned in this paper. We didn't forget about new types of displays e.g. SED, FED, OLED, etc. Advantages, disadvantages and work principles of every display type were discussed. To help us better understand displays, reviewed in this work, we graphically visualized them.

Keywords: monitor, display, phosphor, electrode

## Obsah

<b>Abstrakt</b> .....	<b>4</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>5</b>
<b>Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>1. CRT – Catode ray tube</b> .....	<b>9</b>
1.1 História .....	9
1.2 Konštrukcia.....	9
1.3 Princíp.....	10
1.4 Problémy.....	12
<b>2. LCD - Liquid Crystal Display</b> .....	<b>13</b>
2.1 História .....	13
2.2 Konštrukcia.....	14
2.3 Typy adresovacích matíc .....	14
2.4 Princíp.....	15
2.5 Typy TFT panelov .....	15
2.5.1 TN – Twisted nematic .....	16
2.5.2 IPS – In Plane Switching (Plošné prepínanie).....	16
2.5.3 AFFS – Advanced fringe field switching (zlepšené okrajové prepínanie)...	17
2.5.4 MVA – Multi-Domain Vertical Alignment .....	17
2.5.5 PVA – Patterned vertical Alignment.....	17
2.5.6 ASV – Advance super view.....	17
<b>3 PDP - Plasma display panel</b> .....	<b>19</b>
3.1 História .....	19
3.2 Konštrukcia.....	19
3.3 Princíp.....	20
3.4 Vlastnosti .....	21
3.5 PALC – plazma addressed liquid crystal.....	21
3.6 Alternatívne riešenie .....	21
<b>4. SED - Surface - Conduction electron-emiter display</b> .....	<b>23</b>
4.1 História .....	23
4.2 Princíp.....	23
4.3 Vlastnosti .....	23
<b>5 FED - Field emission display</b> .....	<b>24</b>

5.1 História .....	24
5.2 Princíp.....	24
5.3 Vlastnosti .....	25
<b>6 OLED – Organic Light Emitting Diode.....</b>	<b>26</b>
6.1 História .....	26
6.2 Konštrukcia:.....	26
6.3 Princíp.....	27
6.4 Vlastnosti .....	27
6.5 Využitie.....	28
6.6 Nové technológie .....	28
<b>7. 3D displeje .....</b>	<b>29</b>
7.1. História .....	29
7.2 Rozdelenie 3D displejov .....	29
7.2 Stereoskopia.....	30
7.3 Autostereoskopia .....	31
<b>8 Porovnávanie zobrazovacích zariadení .....</b>	<b>33</b>
<b>Záver .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabuľky .....</b>	<b>37</b>
<b>Zoznam použitej literatúry .....</b>	<b>38</b>



## Úvod

So zobrazovacími zariadeniami sa ľudstvo stretáva už veľa rokov. Monitory sú často spomínaná téma ale aj keď sa s nimi denne stretávame určite o nich nevieme všetko, skôr môžeme povedať, že takmer nič. Preto sme sa rozhodli zaoberať práve touto témou. Veľké množstvo parametrov môže bežného užívateľa skôr vydesiť a nie pomôcť mu pri správnom výbere, aká by mala byť jeho hlavná úloha. Dúfame, že toto prácou sa nám to podarí zmeniť.

Ľudia dlhé roky túžili po veľkých uhlopriečkach, aby si obraz mohli vychutnať doma s rovnakým pôžitkom ako v kine. Plazmové displeje sú na to ako stvorené a rovnako sú však vhodné na exteriérové interaktívne veľkoplošné reklamy. Svojou sýtosťou farieb, jasom a rozlíšením priam lahodia oku, majú však aj veľa nevýhod, ktorými sa budeme zaoberať ďalej v práci.

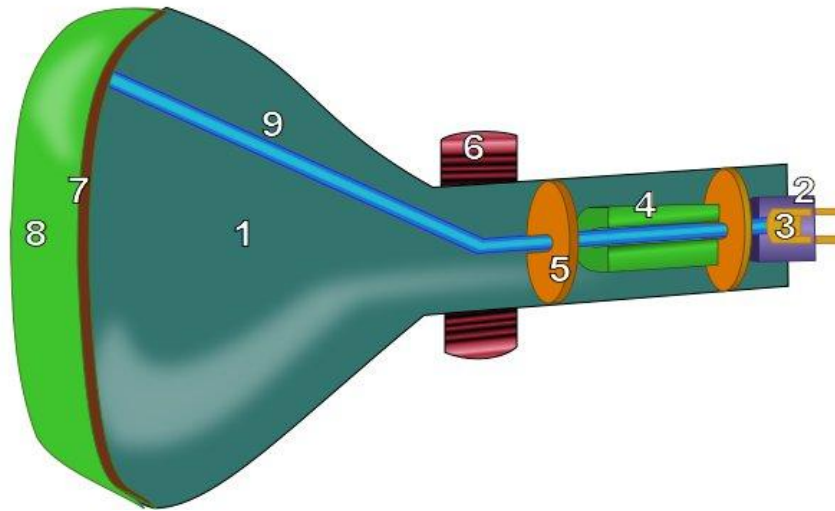
Každý určite pozná LCD displej, veď sa s ním stretávame denne, či už pri svojom osobnom počítači, notebooku prípadne kalkulačke. No princíp na akom funguje tekutý kryštál, kedy a kým bol vynájdený a ako bola táto technológia zdokonaľovaná vie len málokto. Toto a mnoho ďalších zaujímavostí budeme ešte preberať.

Na trh prichádzajú stále nové technológie monitorov ako SED, FED, OLED a niektoré nás už naopak stihli aj opustiť. Takouto technológiu je aj klasický CRT monitor, ktorý nám robil spoločnosť na pracovných stoloch vyše 30 rokov. Možno si ešte niektorí spomínajú na ich monochromatické verzie, čo je už dnes takmer nepredstaviteľné. Táto technológia nebola veľmi ohľaduplná k nášmu zdraviu, ale jej užitočnosť bola neopísateľná. Je preto dôležité byť o takýchto veciach informovaný a poznať vývoj ale aj históriu v tejto oblasti. Veda za veľmi krátke obdobie urobila veľa dôležitých krokov, zlepšil sa vplyv na zdravie človeka a zvýšila sa aj úspora elektrickej energie. Možno práve OLED, ktorý je považovaný za budúcnosť nie len v oblasti zobrazovacích zariadení, ale aj osvetlenia nám jej ušetrí ešte viac, a podľa uvedených parametrov by nemala existovať už lepšia voľba ako OLED.

Kto vie čo donesie budúcnosť, my však žijeme v dnešku a tak by bolo dobré, aby sme si o súčasných technológiách niečo povedali a dozvedeli sa ako sa uberal ich vývoj.

## 1. CRT – Cathode ray tube

Je najznámejším a dlhé roky aj najpoužívanejším zobrazovacím zariadením založeným na katódovej trubici a elektrónovom dele.



Obrázok 1.1

CRT obrazovka, zložená z: 1. vákuová banka, 2. žeraviace vlákno, 3. katóda, 4. urýchľovacia anóda, 5. zameriavacia anóda, 6. vychýľovacie cievky, 7. maska, 8. luminofórová vrstva

### 1.1 História

Experimentovanie s katódovými lúčmi sa zväčša pripisuje anglickému fyzikovi Joseph J. Thomsonovi, ktorý v rozmedzí rokov 1897 - 1899 v jeho troch slávnych experimentoch vychýlil katódové lúče, ktoré tvoria základ činnosti moderných CRT. V roku 1906 získal Nobelovu cenu za prácu ohľadom merania náboja častíc. [1]

V roku 1897 nemecký fyzik Karl Ferdinand Braun vynášiel prvú verziu CRT, známu ako Braunova trubica, ktorá pracovala so studenou katódovou diódou a luminofórom naneseným na obrazovke. [2]

Prvú verziu s horúcou katódou vynášli J.B. Johnson a H.W. Winhart z Western Electric a stala sa komerčným produktom v roku 1922. [3]

Skoršie trubice mali kruhový tvar, pretože to bolo jednoduchšie na výrobu.

V rokoch 2004 - 2006 väčšina veľkovýrobcov klasických CRT monitorov výrobu úplne ukončila z dôvodu, že táto technológia sa stala zastaranou a neziskovou.

### 1.2 Konštrukcia

1. vákuová banka – taktiež nazývaná aj katódová trubica. Je to banka z tenkého skla, z ktorej je odčerpaný vzduch na požadované vákuum.

2. žeraviace vlákno - prechodom elektrického prúdu ním, zohrieva katódu a vyžaruje elektróny
3. katóda - negatívne nabitá elektróda. Horúca katóda spolu so žeraviacim vláknom (2) tvorí základnú časť elektrónového dela. Vytvára sa tu elektrónový lúč.
4. zameriavacia anóda - kladná elektróda nabitá na niekoľko stoviek voltov. Elektróny produkované katódou (3) sú vďaka jej kladnému nabitíu priťahované a následne zaostrené.
5. urýchľovacia anóda - rovnako ako predchádzajúci typ je to kladná elektróda ale nabitá na niekoľko tisíc voltov. Jej úlohou je urýchlenie elektrónov.
6. vychyľovacie cievky - monitor ich obsahuje dve, prvá vychyľuje elektrónové (3) lúče vodorovne a druhá zvisle, preto je cievka schopná pokryť elektrónovými lúčmi celú prednú časť obrazovky.
7. maska – metalizovaná mriežka slúžiaca na presné usmernenie lúčov, dopadajúcich na luminofór.
8. luminofórova vrstva – je nanosená na vnútornej strane predného skla. Tvorí fosforové bunky (plôšky), ktoré zodpovedajú subpixelom pre červenú, zelenú a modrú časť zobrazovaného obrazu (RGB).
9. elektrónový lúč - je tvorený elektrónmi vystrelenými z elektrónového dela (2)

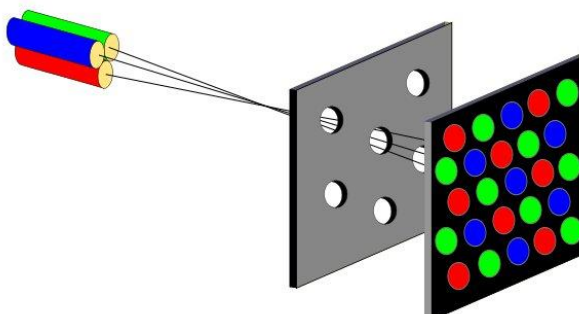
### 1.3 Princíp

Katóda, žeraviace vlákno a anódy spolu tvoria elektrónové delo. Toto delo vyžaruje lúč elektrónov, zaostrený zameriavacou anódou do bodu na luminofórovej vrstve. Ten je ďalej vychyľovacími cievkami usmernenými na masku. Maska spôsobí, že každý elektrónový lúč svieti iba na svoj príslušný bod a nepotrebná časť sa pohltí. Jej úlohou je taktiež zachytávať voľné ióny, aby nedopadali na tienidlo s luminofórmami, lebo ho môžu zničiť. Nakoniec sa elektrónový lúč dostáva k luminofóru a odovzdáva mu svoju kinetickú energiu. Táto energia sa premení na svetlo a vytvára tým svietivý bod. [4]

Tento jav sa nazýva luminiscencia. Luminiscenciu môžeme rozdeliť na dva typy. Prvým je fluorescencia, pri ktorej elektrón luminofóru vyžiari fotón a krátko po excitácii zaniká ( $< 10^{-8}$ s). Druhým je fosforescencia, pri ktorej sa excitáciou niektoré molekuly dostanú do nestabilného stavu, v ktorom môžu dlho zotrvať ( $10^{-8}$ s až niekoľko dní). Po získaní ďalšej energie sa molekuly úplne rozžiaria a po čase svetlo zanikne. [5]

Výsledný obraz, ktorý môžeme na monitore pozorovať sa skladá z veľkého množstva malých bodov, ktoré nazývame pixely. Pri farebných monitoroch je každý pixel tvorený tromi subpixelmi, vtedy sa namiesto jedného elektrónového dela používajú tri, pre každú farbu jeden. [6]

Dopadom elektrónového lúča na luminofór vzniká škodlivé gama žiarenie, preto je pred obrazovkou filter. Na obrazovke býva ďalej nanosený ešte polarizačný filter a antireflexná vrstva na zabránenie odrazom z okolia.



Obrázok 1.2  
Spôsob dopadania lúčov z diel na luminofór cez tieňovú masku

Spôsoby vychyľovania elektrického lúča:

- Elektrostatické - lúč je vychyľovaný elektrostatickým poľom vytvoreným medzi dvoma párami navzájom kolmých vychyľovacích platničiek. Tento spôsob sa používa v osciloskopoch.
- Elektromagnetické - lúč je vychyľovaný elektromagnetickým poľom dvoch vychyľovacích cievok navinutých na hrdlo obrazovky. Používajú sa v TV prijímačoch a monitoroch. Hlavnou časťou elektrónového dela, ktoré vytvára, zaostruje a urýchľuje elektrónový lúč sú: katóda, riadiaca elektróda a niekoľko ďalších elektród. Posledná elektróda má najvyššie kladné napätie a je spojená s grafitovou vrstvou na vnútornej stene obrazovky. Nazýva sa anóda. Veľkosťou napätia na riadiacej elektróde sa ovláda prúd elektrónov a tým aj jas lúča.[7]

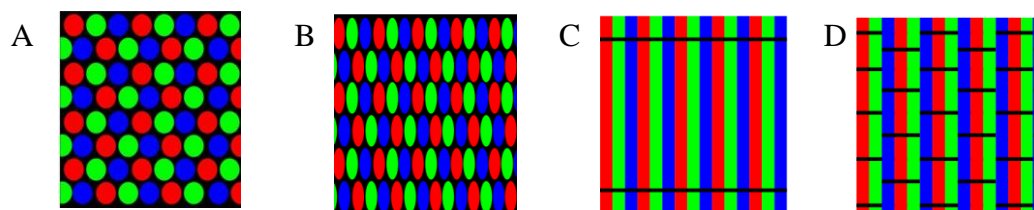
CRT sa delí podľa typu tienidla na:

Invar - asi najčastejšie používaný. Otvory v maske sú vlastne malé prevrtané dierky, pre každý farebný bod jedna trojica v tvare trojuholníka ( $\Delta$ -delta). Dierky sú usporiadané v tvare trojuholníkov cez celú obrazovku.

Enhanced Dot Trio - majú rovnaký princíp ako invar, len otvory v maske majú elipsovité tvar, čo umožňuje využiť väčšiu časť plochy.

Trinitron - s apertúrnou maskou. Luminofór je tu nanosený v zvislých, tenkých pruhoch vo farbách RGB. Tieniaca mriežka má taký istý tvar, je tvorená z tenkých a mechanicky slabých drôtov, a preto sú veľmi citlivé na magnetické pole. Tento nežiadúci efekt je čiastočne odstránený pomocou priečnych, spojovacích ale viditeľných volfrámových drôtov pozdĺž masky.

CromaClear - obrazovka so štrbinovou maskou. Predstavuje kombináciu masiek typu trinitron a invar. Bola vyvinutá spoločnosťou NEC. Využíva zvislé pásy luminofóru z trinitronu, ale ponecháva si pevnú masku s obdĺžnikovými otvormi.[8]



Obrázok 1.3  
Typy tienidiel: A - Invar, B - Enhanced Dot Trio, C - Trinitron, D - CromaClear.

#### 1.4 Problémy

Najväčším problémom je malá plochosť, ktorá prináša problémy s geometriou a homogénnosťou obrazu. Dráha elektrónového lúča sa veľmi mení od stredu ku okrajom, čo spôsobuje skreslenie. Pri tomto type obrazovky je bežný pozorovací uhol  $168,2^\circ$ , výrobcovia však vytvarovali tienidlo tak, že je z vonkajšej strany ploché. Tento typ sa označuje NF (Near Flat - takmer plochý). Konštrukcia úplne plochého tienidla obrazovky je z fyzikálneho hľadiska významný problém, ktorého riešenie sa odzrkadľuje na cene.[8]

Ďalším problémom je vplyv na zdravie používateľa. Medzi nepriaznivé vlastnosti patrí:

- ionizujúce žiarenie prechádzajúce cez obrazovku v dôsledku elektrónových lúčov, vďaka striktným predpisom FDA (Food and drug administration) od roku 2000 má väčšina CRT emisiu oveľa nižšiu ako je limit.[9]
- obsah toxického zmesi nazývanej kadmium nachádzajúcej sa v luminofóre, preto je potrebné tieto monitory špeciálne recyklovať.[10]
- blikanie je spôsobené nízkou rýchlosťou obnovy obrazu, čo je okolo 50Hz, ľudské oko potrebuje rýchlosť nad 72Hz.[11]
- CRT monitor pracuje pri frekvencii 15 734 Hz (NTSC systém) alebo 15 625 Hz (PAL systém) čo je zvuk vysokej frekvencie, ktorý väčšina ľudí nepočuje.[12]
- implózia – ak sa vonkajší obal poškodí a do vákuovej trubice sa dostane vzduch, kúsok skla vyletia veľkou rýchlosťou von. Preto lepšie CRT monitory majú spevnené sklo.[13]
- vznik tepla na povrchu obrazovky spôsobený pohlcovaním elektrónov tieniacou maskou.

## 2. LCD - Liquid Crystal Display

### 2.1 História

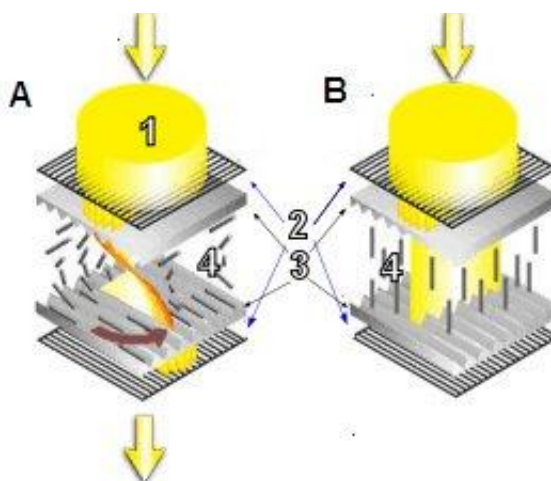
V roku 1888 Friedrich Rienitzer objavil prírodný tekutý kryštál v cholesterole získanom z mrkvy. Pri rozpúšťaní cholesterolu benzoátu pozoroval pri zvyšovaní teploty zmenu zakalenej tekutiny na číru. Pri schladzovaní sa táto tekutina zmenila najskôr na modrú farbu, potom sa opäť zakalila a nakoniec skryštalizovala. [14]

V roku 1922 istý Francúz menom Georges Freidel vložil tekutý kryštál do elektrického poľa a prišiel na to, že kryštál mení svoju orientáciu súhlasne s ním. Rozdelil tieto kryštály na tri typy podľa štruktúry a vlastností na nématické, sématické a cholesterické.[15]

V roku 1927 Vsevolud Frederiks vynášiel elektricky prepínateľný svetelný prvok, ktorý má zásadný vplyv na všetky LCD technológie.[16] Marconi Wireless Telegraph company si o deväť rokov na to dala patentovať praktické využitie tejto technológie.[17]

V roku 1962 Richard Wiliams z RCA zistil niektoré zaujímavé elektro-optické vlastnosti tekutého kryštálu.[18] O dva roky neskôr George H. Heilmeier sa v návaznosti na Wiliamsovu prácu zaoberal ladením farieb indukovaným poľom, rozptyľujúcimi účinkami tekutých kryštálov. Nakoniec vytvoril prvý displej z tekutých kryštálov na báze režimu dynamického rozptylu (DSM). [19]

V roku 1970 si firma Hoffmann-LaRoche v Švajčiarsku dala patentovať TN (twisted nematic) povrchový efekt a o dva roky bola vytvorená prvá aktívna matica Westinghousom v Pittsburghu. [20][19] V roku 1996 firma Hitachi vytvorila novú technológiu IPS a v roku 2007 LCD displeje prekonal v predaji CRT monitory. Momentálne majú väčšinový predaj na trhu. [21][22]



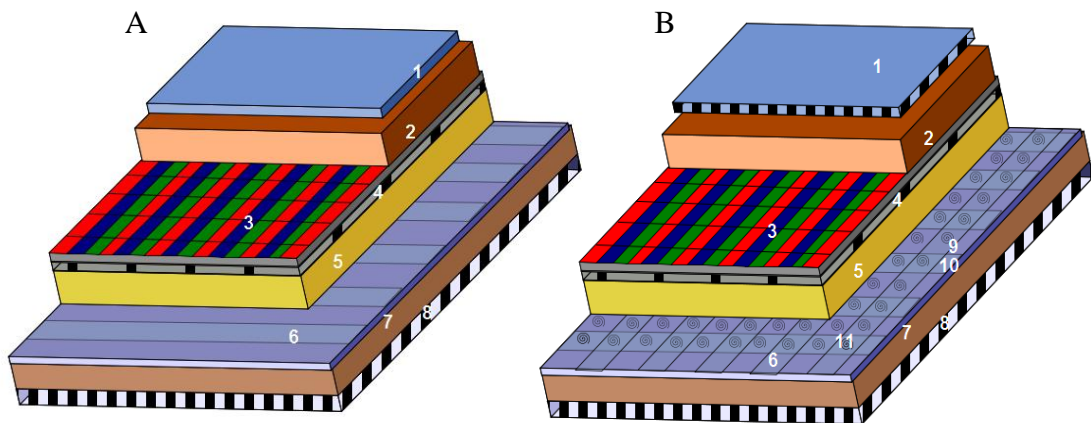
Obrázok 2.1

Princíp fungovania LCD TN panelu: A - obrazový bod svieti B - obrazový bod nesvieti; 1. svetelný lúč, 2. polarizačné filtre, 3. vyrovnávacie vrstvy, 4. vrstva tekutých kryštálov.

## 2.2 Konštrukcia

LCD pozostáva z tenkej vrstvy tekutých kryštálov. Tieto kryštály sú materiál, ktorý vplyvom elektrického napätia mení svoju molekulárnu štruktúru a vďaka tomu určuje množstvo prechádzajúceho svetla. Táto vrstva je umiestnená medzi dvomi vrstvami polarizovaného skla (substrátu). Ďalej obsahuje zdroj svetla, keďže tekuté kryštály nevyžarujú svetlo priamo. Ako zdroj sa používali neónové trubice, ktoré boli veľmi nepraktické kvôli ich tvaru. V dnešných monitoroch je to už len LED osvetlenie, ktoré rovnomerne pokrýva celý panel. LCD má využitie v širokom rade výrobkov od kalkulačiek, cez telefóny až k počítačovým monitorom.[23]

## 2.3 Typy adresovacích matic



Obrázok 2.2

A . pasívna matica LCD, B. aktívna matica LCD

1. polarizačný filter, 2. vrchný sklenený substrát, 3. farebný filter, 4. priesvitné elektródy, 5. tekutý kryštál,
6. priesvitné elektródy, 7. spodný sklenený substrát, 8. polarizačný filter, 9. signálne elektródy,
10. skenovacie elektródy, 11. tenká vrstva tranzistorov.

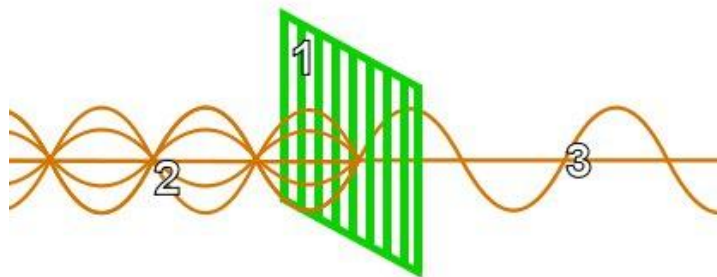
- Pasívna matica – sa používa pri LCD s malým počtom pixelov, každý rad pixelov má samostatný elektrický kontakt. Vonkajší elektrický okruh dodáva náboj na riadenie každého segmentu. Štruktúra tohto displeju je nepraktická pre zobrazovanie viacerých prvkov. Používa sa pri náramkových hodinkách, kalkulačkách, displejoch na osobných váhach a mnohých ďalších zariadeniach. Prvé laptopy boli tvorené práve takouto maticou. Pixely sa nachádzajú nad mriežkou tvorenou vodičmi. Elektrické pole neaktivuje len požadovaný pixel ale dodá energiu aj nežiadúcim okolitým pixelom. Nastáva teda problém pri zobrazovaní šikmých čiar, ktorý bol odstránený postupným vykresľovaním riadkov. Táto metóda spôsobuje pomalé zobrazovanie obrazu. Pasívna matica sa nepoužíva pri moderných počítačových monitoroch, takže sa ňou nebudeme ďalej zaoberať.[24]

- Aktívna matica – TFT ( Thin film transistor) – obsahuje tenkú vrstvu tranzistorov, pre každý subpixel jeden, ktorá sa nachádza medzi substrátom pri tekutých kryštáloch. Tranzistor vedie napätie do pixelu, ktoré určuje jeho intenzitu. [25]

## 2.4 Princíp

Zobrazovacia plocha LCD displeja je rozdelená na pixely umiestené do riadkov a stĺpcov. Pri farebných RGB displejoch je pixel rozdelený na tri subpixely, pre každú farbu jeden. Vďaka nedokonalosti ľudského oka, môžeme vidieť výslednú farbu tvorenú súčtom hodnôt červenej, zelenej a modrej zložky.

Jasné svetlo bielej farby produkované externým podsvietením, prechádza prvým polarizačným filtrom a následne farebným filtrom, ktorý mu priradí jednu zo základných farieb RGB. Medzi priesvitnými elektródami taktiež nazývanými vyrovnávacie vrstvy sa nachádza tekutý kryštál. Do týchto vrstiev je privádzaný elektrický prúd ktorý ovplyvňuje natočenie kryštálu. Pri aktívnych maticiach sa tu nachádzajú aj tranzistory. Úlohou tranzistoru je kontrolovať napätie, čím ovplyvňuje natočenie kryštálov. Týmto spôsobom môžeme kryštál regulovať v niekoľkých desiatkach až stovkách stavov. Svetlo teda prejde ešte týmito vrstvami a natočí sa v smere kryštálov. Poslednú dôležitú vrstvu tvorí druhý polarizačný filter. Svetlo ním môže byť úplne zablokované (obrázok 2.1-B), prípadne prechádzať v rôznej intenzite, ktorá je závislá od smeru jeho natočenia. V plnom jase to bude vyzeráť ako na obrázku 2.1-A.[26]



Obrázok 2.3

1. Polarizačný filter, 2. lúč svetla, 3. vertikálne polarizovaný lúč svetla

Polarizačný filter prepustí z mnohošírnicových sa navzájom kolmých zložiek svetla (elektromagnetického žiarenia) iba jednu. Tieto filtre sú LCD paneli naorientované tak, že prvý z nich prepúšťa iba vodorovnú zložku, druhý je pootočený o  $90^\circ$  a teda prepúšťa len zvislú zložku svetla.

## 2.5 Typy TFT panelov

LCD panely s aktívnou maticou môžeme ďalej deliť vzhľadom na princíp otáčania tekutého kryštálu na viacero typov.[25][27][28][29]

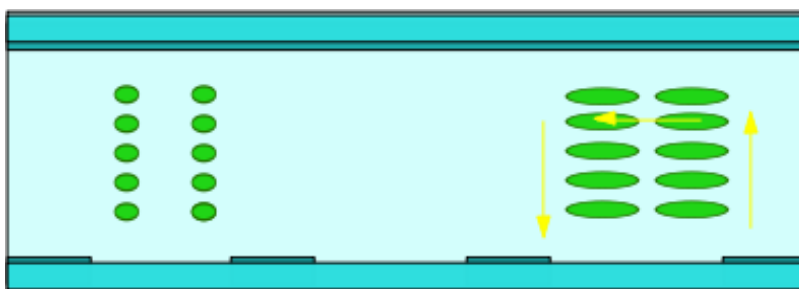


### 2.5.1 TN – Twisted nematic

Využívajú chirálnu nematickú štruktúru (Obrázok 2.1). V TN displejoch je chirálny nematický kryštál umiestnený medzi navzájom pootočenými polarizačnými filtrami. Ich vnútorný povrch je špeciálne upravený drážkovaním tak, aby molekuly na povrchu ležali rovnakým smerom ako polarizačné filtre. Pokiaľ by medzi polarizačnými filtrami tekutý kryštál nebol, svetlo by nimi neprechádzalo. Takže točiaci sa štruktúra molekúl vedie svetlo (mení uhol natočenia prechádzajúceho svetla), ktoré môže následne prejsť aj druhým polarizačným filtrom. Po pripojení napätia sa skrutková štruktúra rozpadne a väčšina molekúl sa zarovná v smere elektrického poľa. Jeho veľkou chybou je svietenie mŕtveho resp. poškodeného pixelu jednou zo základných farieb RGB a navyše zvislý pozorovací uhol je menší ako vodorovný, ktorý tiež nie je veľmi veľký.

- TN+film - Je to TN panel s dodatočnou optickou vrstvou, ktorá zlepšuje pozorovacie uhly. Keďže všetky dnešné TN panely obsahujú túto vrstvu, nezvykne sa špeciálne spomínať.

### 2.5.2 IPS – In Plane Switching (Plošné prepínanie)



Obrázok 2.4  
Otáčanie kryštálov v IPS paneli.

Už jeho názov určuje hlavný rozdiel oproti TN panelu. Molekuly kryštálov sa pohybujú súbežne s rovinou namiesto kolmo na ňu, ako možno vidieť na obrázku 2.4. Mŕtve pixely sú čiernej farby, čo predstavuje jednu z jeho hlavných výhod.

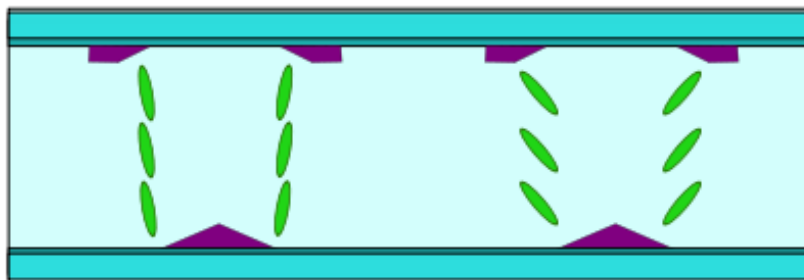
- S-IPS – Super IPS – má všetky výhody IPS technológie a navyše zlepšený čas rýchlosti zobrazovania pixelov.
- AS-IPS – Advanced Super IPS -podobne ako predošlý typ vyvinutý firmou Hitachi Ltd. Jeho zlepšenie pozostáva v podstatne lepšom kontraste než tradičné IPS.
- IPS-Pro – IPS Provectus – obohatený širším gamutom faríem, väčším kontrastným pomerom a dobrými pozorovacími uhlami.

### 2.5.3 AFFS – Advanced fringe field switching (zlepšené okrajové prepínanie)

Technológia odvodená z IPS s lepším výkonom, gamutom farieb a vysokým jasom. Minimalizuje skreslenie farieb a zároveň udržuje vysoký pozorovací uhol. Farebná nepresnosť a odchýlky zapríčinené rozptylom svetla sú opravené optimalizáciou bieleho gamutu, ktorý okrem iného zvyšuje bielo/šedú obnovu.

### 2.5.4 MVA – Multi-Domain Vertica Alignment

Bola vytvorená v roku 1998 ako kompromis medzi TN a IPS. Kryštály sú orientované vertikálne na plochu. Oproti klasickému TN má rýchlejšiu odozvu, dobré podanie čiernej, vynikajúci kontrast, lepšie zobrazovanie farieb a hlavne širší pozorovací uhol. Nemení sa farebný odtieň pri pozorovaní z rôznych uhlov



Obrázok 2.5  
Orientácia kryštálov v MVA paneli.

### 2.5.5 PVA – Patterned vertical Aliginmert

Predstavuje alternatívnu verziu MVA. Má podobnú charakteristiku ako MVA ale vyšší kontrastný pomer dokonca až 1:3 000. Využíva modifikáciu farieb a jasú s technológiou FRC. Je mierne rýchlejšia s mierne obmedzenými pozorovacími uhlami.

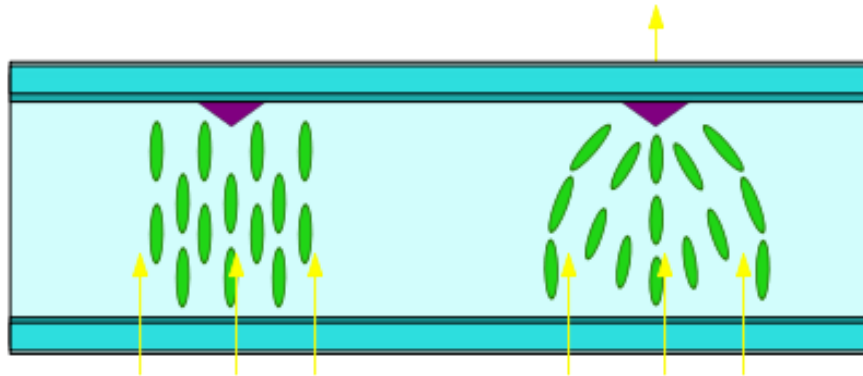
- S-PVA – Super patterned PVA - používa minimálne 8-bitové farby. Má výborné pozorovacie uhly a redukuje uhlový posun gamy.

MVA a PVA panely sú vhodné najmä na používanie v pootočenom režime (o 90°).

### 2.5.6 ASV – Advance super view

Vo vypnutom stave sú tekuté kryštály orientované kolmo. Spodok subpixelov je spojitou pokrytý elektródami zatiaľ čo vrchná časť má menšiu plochu elektródy v strede

subpixelu. V zapnutom stave sa molekuly tekutých kryštálov začnú nakláňať do stredu subpixelu kvôli elektrickému poľu. Výsledkom je formovanie súvislého vrtuľkovitého zoskupenia označovaného CPA (continuous pinwheel alignment). Uhol azimutu sa otočí o  $360^\circ$ , čo vedie k vynikajúcemu pozorovaciemu uhlu. ASV technológia je tiež nazývaná CPA.



Obrázok 2.6  
Otáčanie kryštálov v ASV paneli.

## 3 PDP - Plasma display panel

Pod pojmom plazma chápeme štvrté skupenstvo hmoty, zložené z iónov a elementárnych častíc. V plazmových displejoch sa nachádza zmes vzácnych plynov, ako neón, xenón či argón. Do plynu sa privedie elektrický prúd a tým sa vytvorí mnoho elektrónov, ktoré sa zrážajú s časticami plynu. Rovnako funguje aj klasická neónová trubica používaná na osvetlenie. To spôsobí, že atómy strácajú svoje elektróny a vzniká mnoho kladne nabitých iónov, ktoré tvoria plazmu. V elektrickom poli sa nabité častice začnú pohybovať k opačne nabitým elektródam. Jednotlivé častice sa začnú zrážať, a preto sa plynové ióny dostávajú do excitovaného stavu a uvoľnia fotón. Fotón, ktorý je uvoľnený má často vlnovú dĺžku ultrafialového žiarenia. Jeho prevod na viditeľné svetlo zabezpečuje luminofórna vrstva.[30]

### 3.1 História

Kálman Tihanyi v roku 1936 popísal princíp plazmovej televízie a predstavil prvý plochý televízny systém.[31] V roku 1964 skupina vedcov z univerzity v Illinois vynašla monochromatický plazmový displej.[32]

V 60-tych rokoch minulého storočia si Larry F. Weber v spolupráci s Donaldom Bitzerom a H. Gene Lottowom vyslúžil 15 patentov týkajúcich sa plazmových displejov. Jeden z jeho úspechov bol v oblasti úspory elektrickej energie. Vyvinul „využitie energie v udržiavacom okruhu“ dnes používanom v každom farebnom PDP.[33]

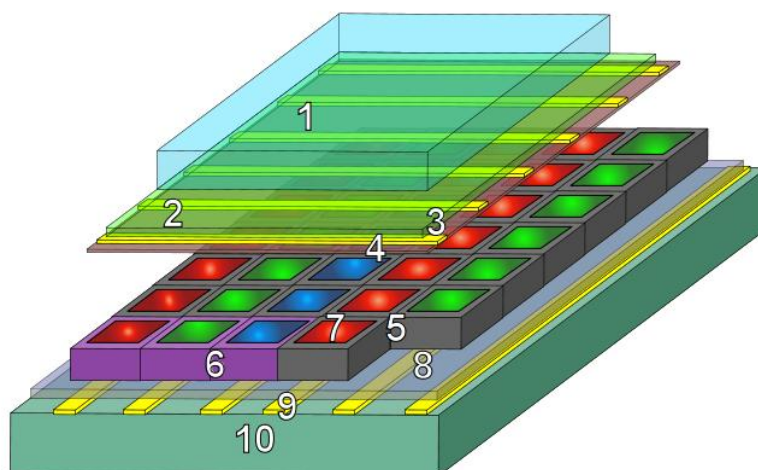
Oranžový monochromatický Digivue displej bol zostrojený začiatkom 70-tych rokov firmou Owens-Illinois a zakrátko uvedený do predaja. Neónové trubice svietiace jasno oranžovou farbou boli inšpiráciou pri jeho tvorbe. Neónový plyn bol umiestnený v maticovom tvare medzi elektródami a substrátom.[34] Na tomto princípe Burroughs Corporation vytvorila Panaplex - sedem segmentový monochromatický displej, ktorý používal rovnakú technológiu ako súčasný plazmový displej.[35]

V roku 1984 bola vyvinutá firmou Fujitsu technológia ADS.[36] Panaplex bol veľmi populárny do 90-tych rokov.[35] V roku 1994 Weber predviedol farebný plazmový displej a o tri roky na to Philips predstavil prvý PDP pre verejnosť.[37][34] Mal 42 palcov a rozlíšenie 852 x 480. V súčasnosti je na trhu vytláčaný LCD technológiou, aj keď pri veľkých uhlopriečkach si stále drží prvenstvo.

### 3.2 Konštrukcia

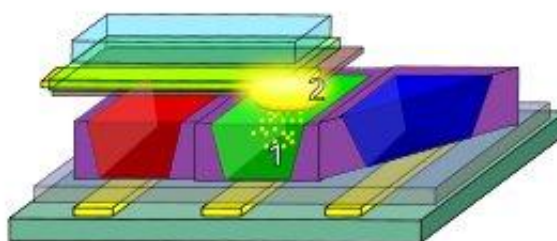
Podľa schémy zobrazenej na obrázku 3.1 môžeme vidieť, že plazmový displej je zložený z matice malých fluorescenčných buniek nazývaných subpixel, ktoré sú ovládané sieťou elektród. Subpixely sú uzavreté medzi dvomi tenkými sklenenými tabuľkami, z

ktorých každá obsahuje malý kondenzátor a tri elektródy. Adresovacia elektróda je umiestnená na zadnej strane pixelu, zvyšné dve transparentné zobrazovacie elektródy ležia na prednej strane displeja. Tieto dve elektródy sú izolované dielektrikom a chránené vrstvou oxidu horečnatého (MgO). [30]



Obrázok 3.1

Schéma plazmového displeja: 1. horná vrstva skla, 2. vrstva dielektrika, 3. zobrazovacia elektróda, 4. vrstva MgO, 5. rebro, 6. pixel, 7. luminofór, 8. adresovacia elektróda, 9. ochranná vrstva, 10. spodná vrstva skla.



Obrázok 3.2

Pixel Plazmového displeja: 1. UV nachádzajúce sa v luminofóre, 2. povrchový výboj.

### 3.3 Princíp

Do zobrazovacích elektród sa privádza striedavé napätie. Keď je napätie inicializované, indukovaný výboj začne ionizovať plyn. Dielektrikum a oxid horečnatý výboj hneď zastavia, ale po zmene polarity ionizácia pokračuje a je tak dosiahnutý stály výboj. Napätie na elektródach je udržiavané tesne pod hladinou vzniku plazmy, preto k ionizácii dochádza pri veľmi nízkom zvýšení napätia na adresovacej elektróde. Po vzniku plazmy získajú nabité častice vďaka elektrickému poľu kinetickú energiu a začnú do seba vrázať. Atómy vzácnych plynov sú prevedené do excitovaného stavu a po návrate

elektrónu na svoj orbitál uvoľnía ultrafialové žiarenie (fotóny). Toto žiarenie uvoľnené iónmi je prevedené na viditeľné svetlo excitáciou atómov luminofóru, nanesenom medzi elektródami. Každý pixel obsahuje tri subpixely s luminofórom vo farbách RGB, vďaka čomu získavame požadovanú farbu pixelu.

Ovládanie intenzity farieb pri plazmových displejoch je založené na princípe modulácie pulzného kódu, tiež označovaného PCM (Pulse Code Modulation), ktorý prevádza analógový signál s nekonečným rozsahom na binárny kód pevne danej dĺžky. Toto zabezpečuje plnú digitalizáciu plazmového displeja. Počtom a dĺžkou napät'ových pulzov je určená intenzita každého subpixelu. Trvanie každého snímku je rozdelené a niekoľko kratších častí, v priebehu tejto periódy sú pixely, ktoré majú svietiť prednabité pomocou zobrazovacích elektród. V priebehu zobrazovacej fázy, vďaka adresovacej elektróde je napätie aplikované na celý displej. Štandardnou metódou je určených 256 úrovní nabitia každého subpixelu, pretože každý subpixel rozdelujeme na 8 podsnímok ovládaných 8-bitovým kódom. Celá táto technológia sa nazýva ADS (Address/Display Separated). [38]

### **3.4 Vlastnosti**

Medzi výhody PDP patria vynikajúce pozorovacie uhly 170-178° a samozrejme malá hrúbka aj pri veľkých uhlopriečkach. Zo začiatku mal veľa nevýhod, ako je nízka životnosť: okolo (20 000 pozorovacích hodín), veľká vzdialenosť bodov (0,15 – 0,3 mm) a slabé rozlíšenie spôsobené veľkými pixelmi. Dnes už sú tieto parametre porovnateľné s LCD technológiou. Medzi ďalšie nevýhody patrí vyššia spotreba elektrickej energie ako pri LCD s LED podsvietením.[39]

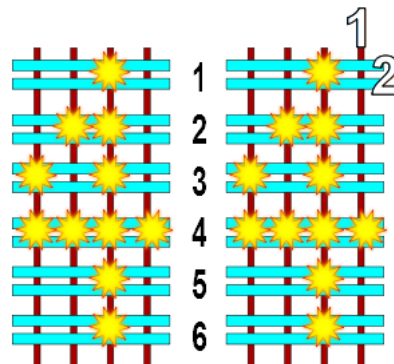
### **3.5 PALC – plazma addressed liquid crystal**

Taktiež nazývané plazmatronické displeje. Už z názvu možno vidieť že je to kombinácia dvoch technológií. Skladá sa z aktívnej LCD matice, ktorá namiesto tranzistorov používa plazmové kanály. Displej zostáva tenký, je jasnejší a výrobné náklady sú nižšie. Určený je pre väčšie uhlopriečky a kvôli svojej konštrukcii nie je vhodný pre stolové monitory.[40]

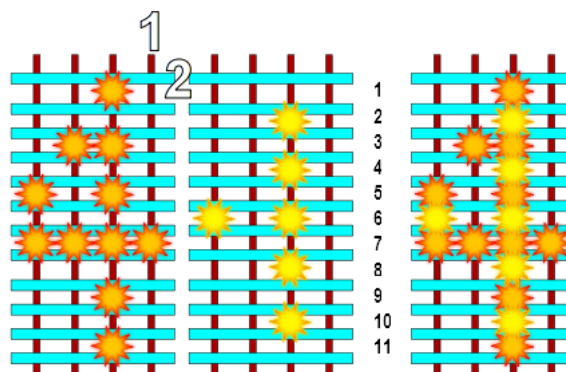
### **3.6 Alternatívne riešenie**

Alis technológia – bola vytvorená kvôli obmedzenému rozlíšeniu plazmového displeja. Vychádza z metódy prekladania. Elektródy na rozdiel od klasickej PDP majú rovnaké rozostupy, čo minimalizuje plochu, ktorú zaberajú. Preto musí každá elektróda pracovať pre dva riadky ako môžeme vidieť na obrázku 3.4. Vždy sa musí vystriedať zobrazenie párneho a nepárneho riadku. Každá medzera medzi dvomi elektródami je použitá na zobrazenie raz za snímok, čo zdvojnásobuje rozlíšenie. Vďaka tejto metóde je

každá bunka použitá len polovicu času oproti klasickému PDP, a to predlžuje životnosť panelu. Náklady na výrobu sú rovnaké ako pri klasickom PDP.[41]



Obrázok 3.3  
Elektródy v klasickej PDP: 1. adresovacia elektróda, 2. zobrazovacia elektróda.



Obrázok 3.4  
Metóda prekladania pri Alis technológii. 1. adresovacia elektróda, 2. zobrazovacia elektróda. Prvý obrázok zobrazuje každý nepárny riadok, druhý každý páry a tretí zobrazuje jeden celý snímok.

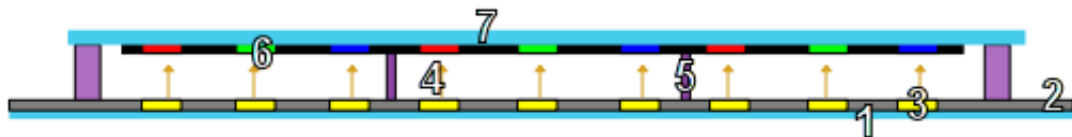
## 4. SED - Surface - Conduction electron-emiter display

Jeho konštrukcia je veľmi podobná CRT. Základ konštrukcie tvorí vodivá vrstva emitujúca elektróny. [42]

### 4.1 História

V roku 1986 firma Canon začala výskum s použitím PdO elektród bez uhlíkového filmu na vrchu.[43] V roku 2004 spoločnosti Canon a Toshiba začali spoločne pracovať na vývoji SED. Prvé prototypy uviedli na veľtrhoch v roku 2006.[44]

Uvedenie SED monitorov na trh je už dlho odkladané, zo začiatku z dôvodu súdnych sporov kvôli licenčným právam s firmou Nano Proprietary a neskôr hospodárskou krízou.[45] Firma Canon v auguste 2010 nasledovala Toshiba a obe skončili s vývojom SED z finančných dôvodov.[46]



Obrázok 4.1

Schéma SED displeja: 1. spodná vrstva skla, 2. kovová mriežka 3. SEC - tenká vrstva emitujúca elektróny, 4. elektrónové lúče, 5. medzerník, 6. luminofórová vrstva, 7. vrchná vrstva skla.

### 4.2 Princíp

Na generovanie obrazu využíva emisiu elektrónov vytvorených v tenkej vrstve elektród (pre každý pixel jedna), pokrytých oxidom paládia (3). Tieto elektródy sú umiestnené na sklenenej platničke (1). Elektróny (4) vypudené vrstvou SEC potom dopadajú na tienidlo (7), pokryté luminofórovou vrstvou (6), ktoré následne vyžaruje svetlo.[47]

### 4.3 Vlastnosti

SED vytvára svetlo jednotlivo pre každý pixel, vďaka čomu má vynikajúci kontrast, vysoký gamut a sýtosť farieb. Má taktiež široké pozorovacie uhly, nízku spotrebu a malú hrúbku. Doba odozvy je oveľa menej než 1ms. Jeho výroba nie je až tak náročná na prostredie ako pri plazmových alebo LCD displejoch.[48][49]



## 5 FED - Field emission display

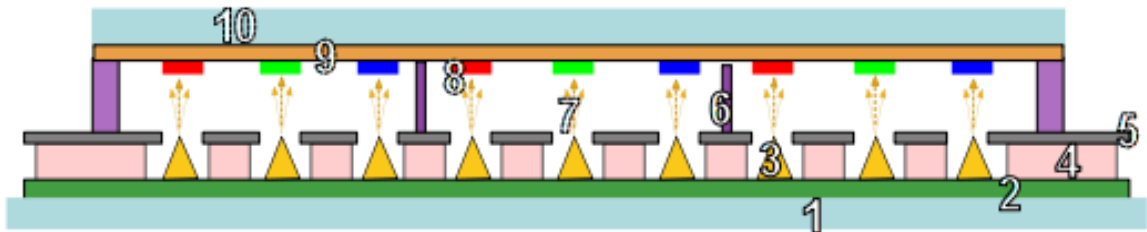
Je to plochá obrazovka založená na princípe emisie poľa, vyrábaná pomocou fotolitografie. Rovnako ako predošlá technológia je taktiež veľmi podobná technológii klasických CRT monitorov.[42]

### 5.1 História

Silicon Video Corporation<sup>1</sup> (neskôr Candescend Technologies) ako prvá začala s vývojom FED v roku 1991.[50] Ich najväčším problémom bola erózia spôsobená nutnosťou vysokého napätia pre urýchlenie elektrónov. O sedem rokov neskôr sa spojila so Sony ale kvôli neúspechom v roku 1999 vývoj FED pozastavili.[51]

Ďalšou firmou ktorú táto technológia zaujala bola spoločnosť Motorola, ktorá prišla s nápadom využitia uhlíkových nanotrubic. V roku 2005 ich prototyp predviedla na výstave avšak potom vývoj tejto technológie tiež opustila.[52]

V roku 2009 firma Sony ukončila práce na vývoji FED a predala práva firme AU Optronics, ktorá plánuje ďalej pokračovať v jej vývoji.[53] Tento rok sa predpokladá začiatok masového predaja FED displejov.



Obrázok 5.1

Schéma FED displeja: 1. spodná vrstva skla, 2. riadkové elektródy, 3. emitory (mikrokatódy), 4. izolant, 5. stĺpcové elektródy, 6. medzerník, 7. elektróny, 8. luminofórové pásy, 9. vodivá vrstva ITO (Indium tin oxide), 10. vrchná vrstva skla.

### 5.2 Princíp

FED má na celom poli obrazovky rozmiestnených niekoľko miliónov emitov (3) vyžarujúcich elektróny. Je to zariadenie so studenou katódou: elektróny (7) použitím vysokého napätia (10 kV) sú z emitov doslova vystreľované na luminofórovú vrstvu (8), ktorá sa následne rozžiari príslušnou farbou. Pole vysokého napätia vzniká medzi katódou (3) a anódou (9). Celý tento proces prebieha vo vákuovom prostredí rovnako ako u CRT.[54]

Rozdelenie podľa spôsobu vysielania elektrónov mikrokatódami:

- Systém prepínacej anódy - jednotlivé farebné prúžky luminofóru sú rozsvetované postupne všetkými emitormi. Znamená to, že pre vykreslenie pixelu je potrebné tento proces trikrát zopakovať jednotlivo pre každú farbu. Toto spôsobuje nižšiu rýchlosť, výborné zobrazenie základných farieb, avšak je možné zaregistrovať rozpad farieb pri nižšej frekvencii obnovovania obrazu.
- Systém pevnej anódy - pri tomto režime je každému luminofórovému prúžku priradená jedna katódová elektróda. Má síce vyššiu frekvenciu, ale zároveň aj väčšiu náročnosť na výrobu. Pri súčasných vysokonapäťových FED sa používa už len táto metóda.

### 5.3 Vlastnosti

V porovnaní s veľmi podobným SED spotrebuje menej energie a ponúka širší pozorovací uhol, má menší predpoklad mŕtvych pixelov a je vhodnejší pre väčšie profesionálne obrazovky. Má tiež veľmi nízku dobu odozvy. Vyžaduje však vysoko vákuové prostredie, ktoré je ťažko dosiahnuteľné a s jeho nečistotou klesá aj životnosť tohto monitoru, ktorá je už aj tak dosť nízka, priemerne 15 000 prevádzkových hodín.

## 6 OLED – Organic Light Emitting Diode

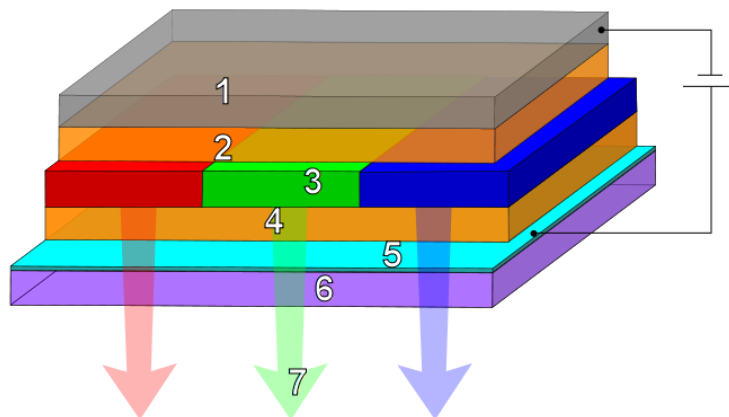
Je to ďalšia a zároveň najnovšia technológia pre ploché obrazovky, ktorá sa momentálne len dostáva do povedomia verejnosti. Už z názvu možno vidieť že ide o diódy vytvorené z organického materiálu, ktoré sú umiestnené na nejaký základný materiál.[59]

### 6.1 História

Za začiatok vývoja môžeme považovať prvé predvedenie svietiacich polymérov firmou CDT v roku 1996. O rok na to UDC predviedlo technológiu flexibilných plochých panelov.

Zlepšenie efektivity svietiacich zelených subpixelov nastalo v roku 1998. Od roku 2000 začalo mnoho firiem plánovať masovú výrobu.

Motorola si zaregistrovala túto technológiu v Universal Display a tým na ňu získala nárok. Prvé displeje sa dostali na trh v roku 2001 a od vtedy sa na nich už len minimalizujú chyby. Preto v roku 2006 mohol prísť na trh prvý OLED televízor od firmy Sony.[55]



Obrázok 5.1

Schéma jedného pixelu OLED monitoru: 1. kovová katóda, 2. vrstva pre prenos elektrónov, 3. organické emitory, 4. vrstva pre prenos elektrónových dier, 5. anóda, 6. sklenená doska, 7. emitované svetlo

### 6.2 Konštrukcia:

1. Katóda - slúži na dodanie napájania pre vrstvu (2).
2. Vrstva pre prenos elektrónov - vodivá vrstva, zabezpečuje aby sa napätie dostalo k správne subpixelu. V tejto vrstve prúdia elektróny smerom k anóde.
3. Organické emitory - sú zodpovedné za vyžarovanie RGB zložiek svetla.
4. Vrstva pre prenos elektrónových dier - špeciálna organická vrstva.
5. Anóda - vytvárajú sa v nej elektrónové diery, ktoré sú prenášané cez špeciálnu organickú vrstvu (4) až do jednotlivých subpixelov (3).

### 6.3 Princíp

Kovová katóda (1) napája samostatné organické emitory (3) cez vodivú vrstvu (2). Organické molekuly (diódy) sú uzavreté medzi dvoma elektródami v extrémne tenkých vrstvách, pričom vyžarujú svetlo pri prechode elektrického prúdu cez ne. Presnejšie na katódu a anódu treba priviesť napätie 2 až 10V, dôsledkom čoho začne jeden subpixel svietiť. Je to zapríčinené tým, že elektróny prúdia z katódy cez elektrónovú vrstvu do samostatného organického materiálu, pod ktorými sa zase nachádzajú elektrónové diery. V okamihu keď elektrón zapadne do diery organický materiál emituje fotóny, vďaka čomu svieti potrebnou vlnovou dĺžkou. Tento proces sa nazýva rekombinácia elektrónov. Tieto emitory svietia tromi farbami (RGB), čo určuje ich chemické zloženie. Každý pixel sa skladá z troch subpixelov, ktoré pri dostatočne malej veľkosti spoločne zobrazia pre oko viditeľnú a požadovanú farbu.[56]

Rozdelenie OLED displejov podľa typu matice:

- Aktívna - využívajú sa na displeje s vysokým rozlíšením. Majú jasnejší a presnejší obraz. V substráte má integrovanú prepojovaciú elektrickú vrstvu, ktorá obsahuje tranzistory (pre každý subpixel jeden) a kondenzátor. Pri použití tranzistorov môžeme v podstate adresovať každý subpixel samostatne. Takto je dosiahnutá rýchlejšia odozva a nižšia spotreba. Tento typ matice je využívaný a zdokonaľovaný pri AMOLED displejoch (Active matrix OLED).
- Pasívna - displeje s touto maticou sú označované PMOLED (Pasive matrix OLED), majú oveľa jednoduchšiu štruktúru ako predošlý typ, teda sú aj lacnejšie. Na zobrazenie jedného subpixelu je do príslušného riadku a stĺpca privedené napätie. Zabezpečujú to ovládače displeja. Riadiaci mechanizmus usmerňuje videosignál a zaisťuje multiplexné prepínanie. Dátový signál je privádzaný do stĺpcov matice a je synchronizovaný s práve vykresľovaným riadkom. Používa sa pri zobrazovaní jednoduchších aplikácií, napríklad textu.[59]

### 6.4 Vlastnosti

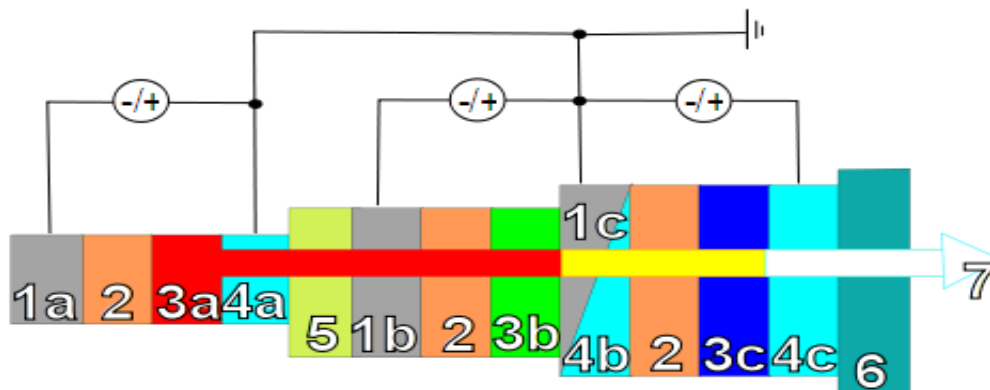
Výhodou pri jednoduchej konštrukcii je, že nevznikajú zbytočné náklady, takže výrobná cena je veľmi nízka. Vďaka organickému zloženiu sa dá vyrobiť priehľadný OLED displej, prípadne aj zrkadlový, v podstate záleží len na farbe podkladového materiálu. Na výrobu sa používajú materiály ako polyphenylen-vinylen, prípadne polyfluoren. Pri využití technológie nanášania tlačením si aj po nanosení zanechávajú pružnosť, preto tento displej môže byť ohybný a akéhokoľvek tvaru. Veľkou výhodou je, že vo vypnutom stave nesvieti, preto je možné zobraziť dokonalú čiernu farbu. Prispieva to k výbornému kontrastu, farebnej hĺbke a má tiež veľký farebný gamut. Pozorovací uhol je obmedzený len rámom displeja. Doba odozvy sa počíta v mikrosekundách, čo znamená, že je vynikajúca.

Nevýhodou bola zo začiatku nižšia životnosť displeja, ktorá je pre kupujúceho určite dôležitá. Modré bunky vydržali približne len 20 000 pozorovacích hodín, dnes so 62 000 hodinami je to oveľa lepšie. Navyše nie je možné hardvérovo regulovať kontrast. Výrobcovia obe tieto chyby riešia, a pokiaľ sa monitory dostanú k masovému predaju, mali by byť určite vyriešené.[57]

## 6.5 Využitie

OLED displeje majú veľkú budúcnosť, je možné ich použiť ako zobrazovaciu jednotku od malej uhlopriečky pre mobilné telefóny až po veľké pri domácich kinách, nástenných plátnach, alebo dokonca aj na osvetlenie miestnosti. Vzhľadom k nízkym nákladom na výrobu by nebol problém vytvoriť celkové osvetlenie miestnosti bez nepríjemného ostrého tieňa.[58]

## 6.6 Nové technológie



Obrázok 5.2

Schéma SOLED monitoru: 1. katóda, 2. vrstva pre prenos elektrónov, 3. emisná vrstva, 4. anóda, 5. izolačná vrstva, 6. krycia vrstva, 7. emitované svetlo; a) červená, b) zelená, c) modrá.

Vývoj sa nezastavuje a prichádza vylepšenie v podobe SOLED (Stack-OLED) technológie. Základným rozdielom oproti obvyčajnému OLED displeju, je že farebné subpixely nie sú umiestnené vedľa seba, ale nad sebou. Výsledná farba sa zmieša, čo umožňuje zobrazenie vernejších farieb. Jeho konštrukcia vyzerá približne ako na obrázku 5.2. Je to síce lacnejšie ako zložiť tri OLED displeje na seba, ale aj tak oveľa drahšie než pôvodná technológia.[59]

Super AMOLED plus je momentálne najprepracovanejšie vylepšenie OLED displejov. Oproti klasickému OLED má oveľa lepšiu čitateľnosť, vernejšie farby, je štíhlejší a navyše má o 18 percent nižšiu spotrebu elektrickej energie. Na jeden palec obsahuje o tridsať percent viac pixelov ako predošlá technológia. Oproti bežnému IPS-LCD má dvojnásobne vyšší farebný gamut a neporovnateľný kontrastný pomer až 150 954 : 1. [59]

## 7. 3D displeje

Je to zobrazovacie zariadenie schopné preniesť hĺbku obrazu k pozorovateľovi rôznym spôsobom.[60]

### 7.1. História

Louis Jules Duboscq vylepšil stereoskop, vďaka čomu v roku 1851 bol na veľkej výstave vystavený slávny obraz kráľovnej Viktórie. O štyri roky neskôr bol vynájdený kinematoskop.

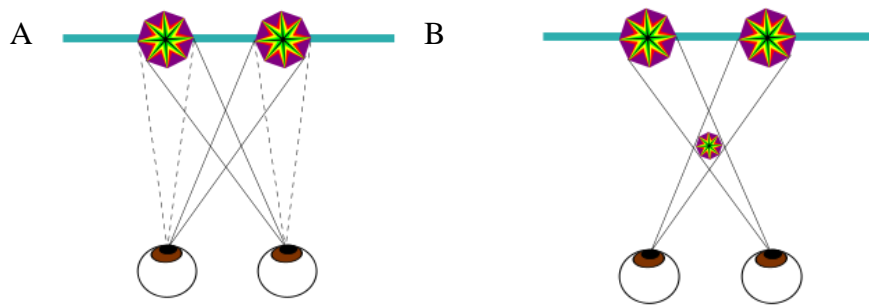
V roku 1890 si filmový priekopník William Friese-Greene podal patent na princíp 3D filmu. 10. júna 1915 Edwin S. Porter a William E. Waddell spravili testovaciu ukážku stereoskopický obrazov verejnosti v Astorskom divadle v New Yorku, jednalo sa o čierno-zelený anaglyf predstavený v troch rôznych prezentáciách. Avšak po týchto testoch nič nezostalo.

Prvý poloreliéfny film s použitím modro-červených okuliarov bol predvedený v roku 1915 a verejnosti až o sedem rokov neskôr. 3D televízor bol vynájdený Johnon Logie Bairdom 10. augusta 1928. V roku 1935 bol prvýkrát premietnutý 3D farebný film.

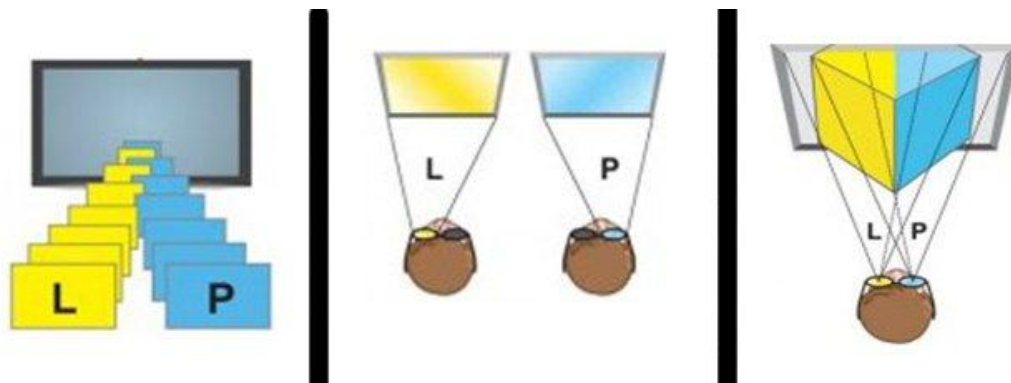
Po druhej svetovej vojne boli už bežné 3D osobné kamery. V roku 1950 sa 3D televízie stali v USA veľmi populárne a začalo sa s veľkovýrobou 3D filmov a seriálov. [61]

### 7.2 Rozdelenie 3D displejov

- Stereoskopický - vytvára ilúziu hĺbky tým, že zobrazuje dva obrazy cez seba pre každé oko jeden. Obidva sa v mozgu spájajú a vytvárajú dojem 3D obrazu. Chybou tejto zobrazovacej techniky je potreba okuliarov so špeciálne nastavenými filtrami. Ďalej sa budeme zaoberať hlavne týmto typom.[62]
- Autostereoskopický - používa optické komponenty v displeji, preto nie sú pri ňom potrebné okuliare na zobrazenie 3D obrazu a má širšie pozorovacie uhly na rozdiel od klasickej stereoskopie. Efekt je veľmi podobný pohľadu cez okno.[63]
- Počítačom generovaná holografia - funguje na báze zariadenia, ktoré je schopné vyvárať svetelné pole podobné tomu, ktoré sa nachádza na pôvodnej scéne[64]
- Volumetrický displej - taktiež nazývaný: priestor vyplňajúci displej. Používa fyzikálny mechanizmus na zobrazenie svetelných bodov v rámci priestoru (vyplnením alebo rýchlym prechádzaním priestoru displeja). Pri tomto type používame pojem voxely namiesto pixelov. Je vhodný iba na zobrazovanie obrysov vektorových objektov.[65]



Obrázok 7.1  
A-normálny pohľad človeka, B-stereoskopický efekt



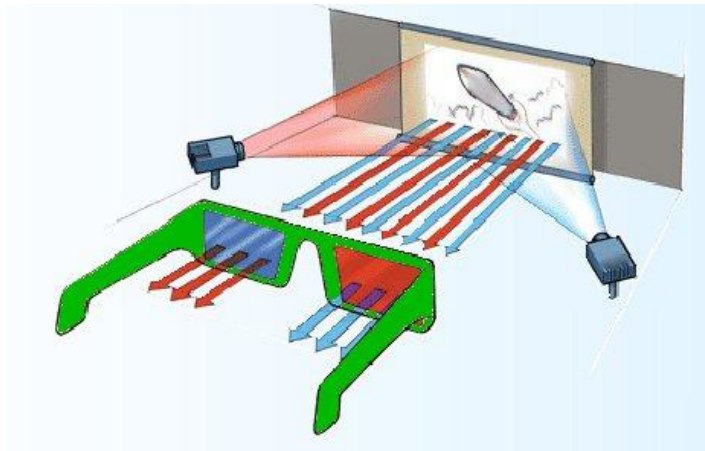
Obrázok 7.2  
Princíp fungovanie stereoskopickéj obrazovky s aktívnymi okuliarmi

## 7.2 Stereoscopia

V nasledovnom texte rozoberieme o stereoskopii trochu podrobnejšie. K tomu, aby sme zo zloženia dvoch obrázkov dosiahli 3D efekt sú nutné základy z optiky. Ako je vidno na obrázku 7.1, pozorovateľ vidí dva objekty vedľa seba. Na získanie požadovaného efektu je nutné eliminovať pozorovacie uhly očí (znázornené prerušovanou čiarou), čo skôr zabezpečovala „bariéra“ medzi očami a dnes sú to špeciálne okuliare. Zobrazované obrázky nie sú identické, jedná sa o objekt nasnímaný z dvoch uhlov a následne premietnutý na obrazovku. Ako možno vidieť na obrázku 7.2, a ako sme si už skôr spomenuli k stereoskopii, sú potrebné špeciálne okuliare, ktoré zabraňujú prelínaniu týchto dvoch obrazov. Delia sa na:[62]

- Aktívne - obsahujú elektrický obvod, ktorý v synchronizácii s monitorom zabezpečuje striedanie zobrazovania obrazu pre ľavé a pravé oko mnohokrát za sekundu. Pri zobrazení obrazu pre jedno oko je druhá časť okuliarov zatienená. Táto metóda veľmi unavuje oči a nie je vhodná k dlhodobému sledovaniu.
- Pasívne okuliare - dva projektory vytvárajú obraz na jednom plátne, jeden polarizovaný vertikálne a druhý horizontálne. Okuliare eliminujú obraz s opačnou polarizáciou. Pozorovateľ vďaka opačnej polarizácii môže vnímať 3D obraz obidvoma

očami naraz. Prípadne je obraz premietaný len v dvoch rôznych farbách a tu je postačujúci na okuliaroch farebný filter ako môžeme vidieť na obrázku 7.3.

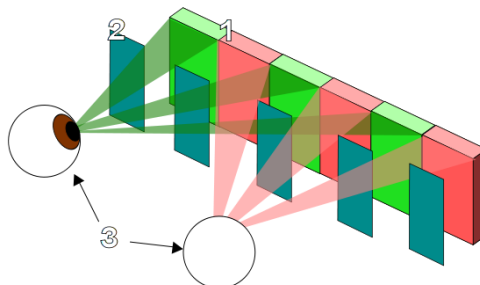


Obrázok 7.3  
Pasívne okuliare s farebnými filtrami [60]

### 7.3 Autostereoskopia

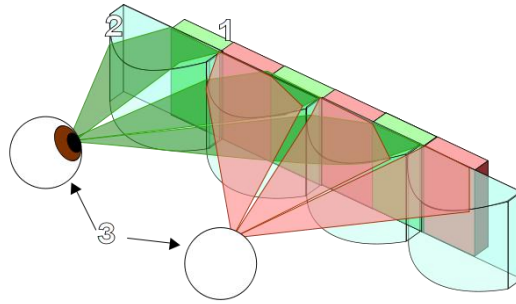
Je to ďalšia metóda na zobrazovanie stereoskopického obrazu, ktorá nevyžaduje použitie okuliarov. Medzi autostereoskopické displeje patria: parallaxová bariéra a lentikulárny (šošovkový) displej.[63]

- Parallaxová bariéra - je zariadenie umiestnené na prednej časti napríklad LCD monitoru, vďaka čomu môže pozorovateľ uvidieť 3D obraz bez použitia okuliarov. Skladá sa z vrstvy materiálu s radou presných štrbín, aby každé oko mohlo vidieť inú množinu pixelov. Obraz musí byť pripravený na zobrazenie tak, aby nepárne stĺpce predstavovali celý obraz pre ľavé oko a párne stĺpce pre pravé oko (pozri obrázok 7.4), čím sa ale redukuje rozlíšenie vo vodorovnom smere. Nevýhodou sú slabé pozorovacie uhly. Používa sa pri hrách, molekulárnom modelovaní, navádzacích systémoch a mnohých ďalších aplikáciách.
- Lentikulárne šošovky - je zoskupenie zväčšovacích šošoviek, navrhnutých tak aby pri pohľade z mierne odlišných uhlov sa zobrazoval odlišný obraz.



Obrázok 7.4  
Princíp fungovania parallaxovej bariéry. 1. obrazovka, 2. parallaxová bariéra, 3. oči





Obrázok 7.5

Princíp fungovania lentikulárnych šošoviek. 1. obrazovka, 2. lentikulárne šošovky, 3. oči

Veľkou nevýhodou sú obmedzené pozorovacie uhly. Vo väčšine prípadov musí pozorovateľ sedieť iba na určitom mieste bez pootáčania hlavy. Pri vykonaní tejto činnosti je možné zahliadnuť dva pixely naraz prípadne až vymenenie obrazu pre obe oči.

## 8 Porovnávanie zobrazovacích zariadení

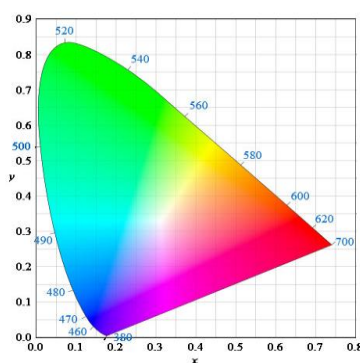
Na koniec sme sa dostali k najdôležitejšej časti tejto práce a to je porovnávanie už spomenutých zobrazovacích technológií podľa parametrov. Je dobré vedieť čo ktorý parameter znamená a aké jeho hodnoty sú najlepšie. Všetky tieto informácie sme čerpali z tabuliek 1.1 a 1.2 ktoré boli inšpirované stránkou [54] a doplnené podľa aktuálne dostupných informácií. [66]

**Jas** - určuje svietivosť displeja. CRT monitory majú túto hodnotu veľmi nízku. Najlepšie sú na tom PDP ktoré majú jas neuveriteľných 1200cd/m<sup>2</sup>. Pri tejto hodnote si však treba dať pozor, lebo nie vždy vyšší jas zaručuje aj vyššiu kvalitu obrazu, čo možno ľahko pozorovať pri LCD, kde s vysokým jasom sa na displeji čierna mení na šedú.

**Pozorovací uhol** - je uhol z ktorého sa môžeme pozerat' na monitor a farby s kontrastom zostávajú nezmenené. Medzi najslabšie patrí TFT LCD monitor s TN technológiou, jeho pozorovací uhol je len 160° - 170°. Za najlepšie sú považované SED a OLED pri ktorých je pozorovací uhol obmedzený len rámom, pri priesvitný OLED to môžeme brať doslovne. Posledné klasické CRT monitory mali tiež vynikajúci pozorovací uhol, aj vďaka tomu vydržali tak dlho na trhu.

**Doba odozvy** - veľmi dôležitý parameter, určujúci čas za ktorý sa obnoví zobrazovacia plocha. CRT a LCD monitory sú na tom dnes približne rovnako, pretože vďaka vývoju v posledných rokoch LCD túto dobu výrazne znížilo. Oveľa lepšie sú na tom PDP ktorým obnovenie obrazu trvá maximálne 0,15 ms. Nová technológia však zatieni aj tie. OLED displejom to trvá necelú 0,01 ms.

**Kontrast** - mnohé typy panelov mali problémy práve s kontrastom, ktorý sa počíta z pomeru svietivosti bielej a čiernej farby. Logicky sa očakáva, že čím bude táto hodnota väčšia, tým je to lepšie. V podstate je to tak, ale pri lacnejších modeloch si na to treba dávať veľký pozor, pretože je to skôr na škodu. OLED sú na tom najlepšie s 1 000 000 : 1 a z momentálne komerčne dostupných displejov existujú LCD s 1 000 : 1. Dostatočný kontrast majú aj CRT a PDP. V momentálnej dobe je veľmi náročné zistiť skutočný kontrast monitoru, všade je uvádzaný len dynamický kontrast, ktorého hodnotu ovplyvňuje vypnuté podsvietenie a preto má také vysoké hodnoty (napríklad LCD 80 000 : 1).



Obrázok 8.1  
Farbené spektrum CIE 1931[23]

**Farebný gamut** - táto hodnota vyjadruje akú veľkú časť výrezu z farebného spektra (obrázok 8.1), ktorý môže ľudské oko vnímať je monitor schopný zobraziť. Všetky momentálne dostupné displeje sú na to veľmi dobre - zobrazujú až 16 miliónov odtieňov farieb.

**Rozlíšenie** - plazmový displej nikdy nepatril medzi monitory s najlepším rozlíšením, dnes je to už oveľa lepšie. Je možné získať PDP televízor s rozlíšením 1920 x 1080 pri uhlopriečke 42" (106 cm). Pri jeho vývoji nastalo aj zmenšenie pixelov, ktoré je približne rovnako veľké ako pri LCD. OLED technológia je však znova najúspešnejšia aj pri tomto parametri 1280 × 768 (12,1"). Zvyšné typy monitorov majú dostatočné rozlíšenie, vzhľadom na nedokonalosť ľudského oka.

**Spotreba** - v dnešnej dobe, keď sa všade rozpráva o šetrení a úspore elektrickej energie je veľmi dôležité, aby tento parameter bol čo najnižší. Pri takom uvažovaní plazmové displeje so slabším rozlíšením, ale navyše aj s vysokou spotrebou danou ich princípom fungovania ani neberieme do úvahy. Vysokú spotrebu mali aj CRT monitory, ktoré sa aj vďaka viacerým nedostatkom už nevyrábajú.

**Veľkosť** - dôležitá nie je len dĺžka uhlopriečky monitora meraná v palcoch ale aj jeho hrúbka. Tento parameter je najväčším plusom u plazmových displejov, je možné vytvoriť obrovskú uhlopriečku 152" a pri tom ponechať hrúbku len niekoľko centimetrov. Stále je snaha o zväčšovanie uhlopriečky. Plazmový displej má však problémy pri malých uhlopriečkach. Tu je momentálne najpoužívanejší LCD displej a nové technológie ako OLED a SED s ňou tiež nemajú problém. Najtenším displejom s možnosťou dostatočne veľkej uhlopriečky pre počítačový monitor je OLED (pri 50" majú hrúbku menej než 0,5 cm).

**Životnosť** - určuje dobu, počas ktorej zobrazovacia jednotka funguje, udáva sa v hodinách. Životnosť dnešných monitorov určujeme ich schopnosťou zobrazovať čo najdlhšie verné farby. OLED displej mal zo začiatku veľký problém práve s týmto parametrom. Životnosť modrého luminofóru bola len 20 000 pozorovací hodín, teda porovnateľná s už zastaraným CRT monitorom. Najnovší model už dobieha aj zvyšné technológie so 62 000 pozorovacích hodín. Momentálne používané technológie s týmto parametrom nemajú problémy, jeho hodnota je okolo 100 000 hodín.

**Náročnosť na výrobu** - ďalšou veľkou výhodou OLED displejov je nízka náročnosť na výrobu oproti zvyšným typom. FED potrebuje vákuovo čisté prostredie, LCD a plazma má pre zmenu omnoho komplikovanejšiu konštrukciu.

**Cena** - momentálne dostupné technológie sú už na trhu dlhšie, takže ich cena sa už ustálila a je primeraná ich kvalite. Ako to býva pri všetkých výrobkoch, vždy si priplatíme za značku, ale s tým môžeme očakávať aj lepšiu kvalitu. S príchodom novej technológie je možné očakávať ešte pokles už teraz dosť nízkych cien. Najlacnejší nový 15,6" LCD monitor je možné na Slovensku v internetovom obchode kúpiť už za 68,8 € a naopak najdrahší 22" až za 7 896,00 € vrátane DPH.

## Záver

V celej práci sme sa zaoberali zobrazovacími zariadeniami ktoré sa v priebehu rokov používali ako počítačové monitory a aj technológiami ktoré sa nimi pravdepodobne stanú.

CRT monitor bol používaný dlhé roky a vďaka tomu sa pri ďalšom vývoji môžeme vyvarovať mnohým chybám a vziať si príklad z kladných vlastností ktoré mal.

LCD displeje sú stále najpredávanejšími monitormi aj keď majú množstvo nedostatkov. Pri TN to boli len 6-bitové farby a veľmi malý vertikálny pozorovací uhol, MVA malo pri skorších typoch tiež problémy s farbami a IPS zas neprimeranú cenu a slabý čas odozvy. Tieto nedostatky boli však v priebehu času vo väčšine prípadov odstránené a dnes si môžeme vyberať z kvalitných LCD displejov s nízkou spotrebou, vysokým kontrastom a širokými pozorovacími uhlami.

Plazmový displej si od svojho začiatku prešiel veľkou kritikou. Problémom boli veľké rozmery pixelov, zlé rozlíšenie, slabý kontrast a hlavne zlé zobrazovanie odtieňov šedej. Vďaka firme Fujitsu, ktorá dosiahla pri PDP veľký technický pokrok sa môžeme doma tešiť z plazmových domácich kín s tenkými uhlopriečkami bez potreby podsvietenia s úžasným jasom a krásnymi farbami.

Technológie SED a FED sú veľmi podobné, obe fungujú podobným spôsobom ako klasická CRT obrazovka. Zatiaľ neboli uvedené do masového predaja a väčšina spoločností sa vývojom ich technológií nezaobrá, takže musíme počkať, čo im budúcnosť prinesie.

OLED displeje prechádzali zo začiatku veľkými problémami so životnosťou a hardvérovou reguláciou jasu. Oproti tomu majú neskutočne veľa výhod ako neexistujúce pozorovacie uhly, veľmi nízku dobu odozvy a široký farebný gamut. Využitie OLED tiež zahŕňa viac oblastí od zobrazovacích zariadení až po osvetlenie.

Ešte sme sa zaoberali 3D displejmi, hlavne stereoskopickou a autostereoskopickou technológiou. V dnešnej dobe sa ešte pracuje na ich zdokonaľovaní, hlavne kvôli veľmi zlým pozorovacím uhlom a nízkom rozlíšení pri autostereoskopii. Pre zmenu stereoskopia vyžaduje špeciálne okuliare s polarizačnými filtrami, ktoré vďaka vývoju tekutého kryštálu môžeme mať v aktívnej forme.

Do budúcnosti môžeme určite rátať s OLED displejmi, ktorých technológia bola za posledné roky dostatočne zdokonalená na to, aby sa už s masovou výrobou dostali na trh a vytlačili momentálne najpredávanejšie LCD monitory.

Vzhľadom k tomu ako vývoj technológií SED a FED opustila väčšina veľkovýrobcov monitorov, pravdepodobne o nich v najbližšej dobe nebudeme počuť. Navyše komplikovaná výroba spojená s vysokými nákladmi určite nie je do budúcnosti perspektívna.

Túto prácu by sme mohli v budúcnosti rozšíriť hlavne v oblasti 3D displejov, ktoré sa v dnešnej dobe stávajú stále populárnejšími a môžeme sa s nimi stretnúť v každodennom živote. OLED displeje by bolo tiež v blízkej dobe vhodné spomenúť, pretože s jeho masovým príchodom na trh sa určite príde na jeho skryté chyby a množstvo ďalšieho využitia v praxi. Ešte by bolo vhodné povedať si niečo o síce nespomenutých ale tiež veľmi zaujímavých laserových displejoch, ktorých fungovanie pripomína laserovú show. Rovnako ako volumetrické displeje zobrazujú obrisy vektorových objektov.

Dúfame, že touto prácou sme na tému zobrazovací zariadení zodpovedali dostatok často kladených otázok, ohľadom najlepšieho výberu už či z hľadiska spotreby, vplyvu na zdravie alebo dobrého obrazu. Snahu o dobré pochopenie danej tematiky sme podložili dostatočným množstvom obrázkov vytvorených v grafickom prostredí programov Inkscape a GIMP, ktoré podrobne znázorňujú funkčnosť jednotlivých technológií.

## Tabuľky

Charakteristika	CRT	TFT-LCD	Plazmový displej
Typ emisie	úzkovrstvový luminofor	-	fotoluminescencia
Jas [cd/m <sup>2</sup> ]	350	550	1200
Pozorovací uhol [°]	170	160-175	178
Doba odozvy [ms]	8	2 - 4	0,01 - 0,15
Kontrast	700:1	80 000:1	90 000:1
Počet farieb	16 mil.	16 mil.	16 mil.
Počet pixelov	1024 x 768 (17")	1920 x 1080 (42")	1920 x 1080 (42")
Priemerná spotreba (uhlopriečka)	54,1 W (17")	6,3 W (18,5")	117 W (42")
Uhlopriečka ["]	9 - 23	0,61 - 108"	32 - 152 "
Hrúbka	30 - 50 cm	3 - 4 cm	5,2 - 8,5 cm
Prevádzková teplota	-25 - 65°	-20 - 80°	0 - 40°
Zobrazovacia frekvencia	56 - 130 Hz	100 Hz	600 Hz
Životnosť (pozorovacie hodiny)	10 000 - 20 000	100 000	100 000

Tabuľka 1.1  
Parametre CRT, LCD a plazma displejov. [54]

Charakteristika	SED	FED	OLED
Typ emisie	úzkovrstvový luminofor	nízkovoltové a vysokovoltové luminofory	organická vrstva
Jas [cd/m <sup>2</sup> ]	450	150 low-V >600 high-V	400
Pozorovací uhol [°]	180	180	180
Doba odozvy [ms]	<1	0,01 - 0,03	<0,01
Kontrast	100 000:1	20 000 : 1	1 000 000:1
Počet farieb	16 mil.	16 mil.	16 mil.
Počet pixelov	1024x768 (17")	1280 x 960 (19,2")	1 280×768 (12,1)
Priemerná spotreba (uhlopriečka)	4,1 W (18,5")	0.8 W (100 cd/m <sup>2</sup> )	125mW (200cd/m <sup>2</sup> )
Uhlopriečka ["]	1 - 55"	4 - 19,2"	2,5 - 50"
Hrúbka	1 cm	1 cm	<0,5 cm
Životnosť (pozorovacie hodiny)	20 000	20 000	62 000

Tabuľka 1.2  
Parametre novej technológie displejov: SED, FED, OLED. [54]

## Zoznam použitej literatúry

- [1] [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1906/thomson-bio.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1906/thomson-bio.html)
- [2] "Cathode Ray Tube". *Medical Discoveries*. Advameg, Inc.. 2007. Retrieved 2008-04-27.
- [3] [http://wwwusers.ts.infn.it/~milotti/Didattica/Segnali/noise\\_papers/Johnson\\_1971.pdf](http://wwwusers.ts.infn.it/~milotti/Didattica/Segnali/noise_papers/Johnson_1971.pdf)
- [4] <http://www.circuitstoday.com/crt-cathode-ray-tube>
- [5] <http://en.wikipedia.org/wiki/Phosphorescence>
- [6] <http://monitory.ic.cz/crt.html>
- [7] <http://www.tv.webzdarma.cz/index.php?x=principycrt>
- [8] <http://svetit.wz.cz/html/monitor.html>
- [9] "SUBCHAPTER J--RADIOLOGICAL HEALTH (21CFR1020.10)". U.S. Food and Drug Administration. April 1, 2006. Retrieved 2007-08-13.
- [10] "Final Rules on Cathode Ray Tubes and Discarded Mercury-Containing Equipment". Retrieved 2009-10-04.
- [11] "CRT Monitor Flickering?". Retrieved 2009-10-04.
- [12] "The monitor is producing a high-pitched whine". Retrieved 2009-10-04.
- [13] Bali, S.P. (1994-06-01). *Colour Television: Theory and Practice*. Tata McGraw-Hill. p. 129. ISBN 0074600249, 9780074600245.
- [14] Tim Sluckin: *Ueber die Natur der kristallinen Flüssigkeiten und flüssigen Kristalle (About the Nature of Crystallised Liquids and Liquid Crystals)*, Bunsen-Magazin, 7.Jahrgang, 5/2005
- [15] [http://www.svethardware.cz/art\\_doc-FDF21C4AC209B3EDC1257045002C86E3.html?lotus=1&Highlight=0,tekute,krystaly](http://www.svethardware.cz/art_doc-FDF21C4AC209B3EDC1257045002C86E3.html?lotus=1&Highlight=0,tekute,krystaly)
- [16] A.S. Sonin & V.Ya. Frenkel (1995) *Vsevolod Konstantinovich Fréedericksz*, Moscow: Nauka Publishing House.
- [17] <http://history-computer.com/ModernComputer/Basis/lcd.html>
- [18] R. Williams, "Domains in liquid crystals," *J. Phys. Chem.*, vol. 39, pp. 382–388, July 1963
- [19] Heilmeyer, George; Castellano, Joseph; Zanoni, Louis (1969). "Guest-Host Interactions in Nematic Liquid Crystals". *Molecular Crystals and Liquid Crystals*
- [20] Castellano, Joseph A. (2006). "Modifying Light". *American Scientist*

- [21] [IPS-Pro \(Evolving IPS technology\)](#)
- [22] "Worldwide LCD TV shipments surpass CRTs for first time ever". engadgetHD. 2008-02-19. Retrieved 2008-06-13.
- [23] [http://www.svethardware.cz/art\\_doc-59B0B21624FBA168C12571BD002A0891.html](http://www.svethardware.cz/art_doc-59B0B21624FBA168C12571BD002A0891.html)
- [24] <http://electronics.howstuffworks.com/lcd4.htm>
- [25] [http://www.svethardware.cz/art\\_doc-7ADDD23432464B19C12571BD002A4AC4.html](http://www.svethardware.cz/art_doc-7ADDD23432464B19C12571BD002A4AC4.html)
- [26] [http://www.svethardware.cz/art\\_doc-72E593AEF388EE8BC1256CE700442B8D.html](http://www.svethardware.cz/art_doc-72E593AEF388EE8BC1256CE700442B8D.html)
- [27] [http://pctuning.tyden.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=4509&catid=31&Itemid=68](http://pctuning.tyden.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=4509&catid=31&Itemid=68)
- [28] "TN Film, MVA, PVA and IPS - Panel Technologies". TFT Central. Retrieved 9 September 2009.
- [29] "AFFS & AFFS+". *Technology*. Vertex LCD Inc..
- [30] [http://www.svethardware.cz/art\\_doc-32FC7D81661B848CC1256DD9003EB1A9.html](http://www.svethardware.cz/art_doc-32FC7D81661B848CC1256DD9003EB1A9.html)
- [31] [http://www.scitech.mtesz.hu/52tihanyi/flat-panel\\_tv\\_en.pdf](http://www.scitech.mtesz.hu/52tihanyi/flat-panel_tv_en.pdf)
- [32] [Bitzer Wins Emmy Award for Plasma Screen Technology](#)
- [33] [Weber, Larry F.](#) (April 2006). "History of the plasma display panel". *IEEE Transactions on Plasma Science* **34**(2): 268–278. doi:10.1109/TPS.2006.872440
- [34] <http://preher-tech.com/plasmadisplay.aspx>
- [35] "What is gas-plasma display?". Webopedia. Retrieved 2009-04-27.
- [36] <http://itv.webnode.cz/news/technologie-plazma-displeje/>
- [37] Mendrala, Jim, "Flat Panel Plasma Display", *North West Tech Notes*, No. 4, June 15, 1997, retrieved 2009-01-29.
- [38] [http://www.svethardware.cz/art\\_doc-FC5AE7BADEDC2D2BC1256DD9003EDE25.html](http://www.svethardware.cz/art_doc-FC5AE7BADEDC2D2BC1256DD9003EDE25.html)
- [39] [http://www.svethardware.cz/art\\_doc-42FA841C86228B0CC1257212004EB5B4.html?lotus=1&Highlight=0,oled](http://www.svethardware.cz/art_doc-42FA841C86228B0CC1257212004EB5B4.html?lotus=1&Highlight=0,oled)
- [40] <http://www.pctechguide.com/flat-panel-displays/palcd-flat-panels>
- [41] CNET UK - [ALiS \(alternate lighting of surfaces\)](#)
- [42] [http://www.1touchmovie.com/flat\\_panel\\_displays.html](http://www.1touchmovie.com/flat_panel_displays.html)
- [43] [http://www.spacemart.com/reports/Canon\\_And\\_Toshiba\\_Delay\\_Launch\\_Of\\_New\\_SED\\_Televisions\\_999.html](http://www.spacemart.com/reports/Canon_And_Toshiba_Delay_Launch_Of_New_SED_Televisions_999.html)



- [44] Vincent Nguyen, SED Next-Generation Flat-Screen Display, *SlashGear*, 19 October 2006
- [45] Robin Harding, "[Canon clear to launch new type of TV](#)", *Financial Times*, 2 December 2008
- [46] "Notice regarding liquidation of subsidiary", Canon Inc., 18 August 2010
- [47] <http://news.teamxbox.com/xbox/12506/Canon-Toshiba-May-Be-Forced-to-Delay-SED/>
- [48] [http://en.wikipedia.org/wiki/SED\\_display#cite\\_note-closer-2](http://en.wikipedia.org/wiki/SED_display#cite_note-closer-2)
- [49] [http://www.tvfreak.cz/art\\_doc-A20EE4ADA8BB984CC1257737003DB711.html](http://www.tvfreak.cz/art_doc-A20EE4ADA8BB984CC1257737003DB711.html)
- [50] [http://en.wikipedia.org/wiki/Field\\_emission\\_display#cite\\_note-candescent1999-7](http://en.wikipedia.org/wiki/Field_emission_display#cite_note-candescent1999-7)
- [51] Jerry Ascierio, "Candescent Delays Plant, Replaces CEO", *Electronic News*, 1 March 1999
- [52] <http://www.encyclo.co.uk/define/Nano-emissive%20display>
- [53] <http://www.digitimes.com/news/a20101117PD210.html>
- [54] <http://stembep.wz.cz/skola/nse/>
- [55] [http://www.svethardware.cz/art\\_doc-2A6B83AF0F598E4FC1257215007ACE15.html](http://www.svethardware.cz/art_doc-2A6B83AF0F598E4FC1257215007ACE15.html)
- [56] [http://www.svethardware.cz/art\\_doc-42FA841C86228B0CC1257212004EB5B4.html](http://www.svethardware.cz/art_doc-42FA841C86228B0CC1257212004EB5B4.html)
- [57] [http://www.svethardware.cz/art\\_doc-3AAB34FBA79AD5C4C125721900019307.html](http://www.svethardware.cz/art_doc-3AAB34FBA79AD5C4C125721900019307.html)
- [58] [http://www.svethardware.cz/art\\_doc-B357024B86789D6BC12572190001EFFC.html](http://www.svethardware.cz/art_doc-B357024B86789D6BC12572190001EFFC.html)
- [59] <http://www.oled-display.net/>
- [60] <http://www.sccg.sk/~kg/bohda/architektura/subory/3DZobrazovacieZariadenia.pdf>
- [61] "How Stereoscopic Television is Shown". Baird Television website. Retrieved September 18, 2010.
- [62] Dodgson, Neil A. (2003). "Variation and extrema of human interpupillary distance" (PDF). *Stereoscopic Displays and Applications*
- [63] Dodgson, N.A. (August 2005). "Autostereoscopic 3D Displays". *IEEE Computer*
- [64] Ch. Slinger, C. Cameron, M. Stanley (Aug. 2005), "Computer-Generated Holography as a Generic Display Technology", *Computer (IEEE)*
- [65] Blundell, B. & Schwarz, A. (2000). *Volumetric Three-Dimensional Display Systems*, John Wiley & Sons.
- [66] <http://www.pctechguide.com/crt-monitors>