

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra elektrotechniky a automatizace



Bakalářská práce

OLED displeje

Michal Kahoun

© 2019 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Michal Kahoun

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

OLED displeje

Název anglicky

OLED displays

Cíle práce

Z dostupných zdrojů popsat princip OLED, vypracovat přehled současného stavu technologie OLED, popsat způsoby použití OLED. Analyzovat vývoj OLED z hlediska jejich životnosti. Popsat přínosy této technologie oproti alternativním řešením.

Metodika

1. Z dostupných materiálů zpracujte přehledovou studii na téma "Princip a použití OLED".
2. Popište základní princip technologie OLED. Stručně popište strukturu displeje s pasivní matricí – PMOLED, strukturu displeje s aktivní matricí – AMOLED.
3. Provedte analýzu dalších variant OLED: PHOLED (Phosphorescent OLED), WOLED (White OLED), FOLED (Flexibilní OLED), TOLED (Transparentní OLED).
4. Analyzujte problematiku životnosti OLED displeje. Popište strukturu tohoto přístroje.
5. Popište výhody a nevýhody použití OLED a srovnajte s alternativními technologiemi. Zaměřte se na aplikace, ve kterých jsou LED využity.
6. Citujte veškerou použitou literaturu, včetně webových stránek.

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

Klíčová slova

OLED, elektroluminiscenční dioda, organické diody, organický displej

Doporučené zdroje informací

HABEL, Jiří, a kol. Světlo a osvětlování. Praha : FCC Public, 2013. 624 s. ISBN 978-80-86534-21-3. Kapitola Elektroluminiscenční světelné zdroje, s. 201–214.

<http://automatizace.hw.cz/oled-co-je-k-cemu-je-a-jak-funguje>

<http://automatizace.hw.cz/oled-displeje-vyuzivane-principy-a-varianty>

<http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/15.php>

<http://www.svethardware.cz/technologie-oled-tak-kde-vezi/15239>

<http://www.trustedreviews.com/opinions/oled-vs-led-lcd>



Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – TF

Vedoucí práce

Volodymyr Ryzhenko, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

Elektronicky schváleno dne 17. 1. 2017

prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 29. 03. 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „OLED displeje“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne datum odevzdání _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval mému vedoucímu Vladimíru Ryženkovi Ph.D. za cenné rady, dále rodině a svým blízkým, kteří mě po dobu studia podporovali.

OLED displeje

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá OLED displeji. V úvodní části je vysvětlena funkce polovodičové diody a LED diody. Dále se již práce zabývá technologií OLED. Je popsán princip činnosti a výhody a nevýhody technologie. Poslední část práce je věnována porovnání technologie OLED s alternativními technologiemi, ve kterých se používají LED diody.

Klíčová slova: OLED, elektroluminiscenční dioda, organické diody, organický displej, podsvícení, technologie

OLED diplays

Abstract

This bachelor thesis deals with OLED display. The first part explains the function of the semiconductor diode and the LED. The work also deals with OLED technology. The principle of operation and advantages and disadvantages of technology are described. The last part of the thesis is devoted to the comparison of OLED technology with alternative technologies in which LEDs are used.

Keywords: OLED, light emitting diode, organic diodes, organic display, backlight, technology

Obsah

1	ÚVOD	1
2	CÍL PRÁCE A METODIKA	2
2.1	CÍL PRÁCE	2
2.2	METODIKA PRÁCE	2
3	VÝVOJ DIOD	3
3.1	POLOVODIČOVÁ DIODA	3
3.2	LED DIODA	5
3.2.1	Elektromagnetické záření	6
3.2.2	Konstrukce LED.....	7
3.2.3	Barvy světla LED diod	8
3.2.4	Barevná teplota.....	10
4	OBEČNÉ PARAMETRY DISPLEJŮ	12
4.1	ZOBRAZOVACÍ JEDNOTKA - DISPLEJ.....	12
4.2	OBEČNÉ VLASTNOSTI A PARAMETRY DISPLEJŮ	12
5	OLED TECHNOLOGIE	16
5.1	HISTORIE OLED	16
5.2	PRINCIP ČINNOSTI OLED	18
5.3	POUŽITÍ OLED	20
5.4	STRUKTURA OLED DISPLEJE	22
5.5	MATERIÁLY PRO OLED DISPLEJE	24
5.6	VÝHODY OLED	25
5.7	NEVÝHODY OLED	26
6	VARIANTY OLED DISPLEJŮ	28
6.1	PMOLED	28
6.2	AMOLED	28
6.3	PHOLED.....	29
6.4	WOLED	30
6.5	FOLED.....	31
6.6	TOLED	32

7	ALTERNATIVNÍ TECHNOLOGIE VYUŽÍVAJÍCÍ LED A JEJICH POROVNÁNÍ S OLED	33
7.1	LCD.....	33
7.1.1	Tekutý krystal.....	33
7.2	ZÁKLADNÍ PRINCIP LCD DISPLEJE	34
7.2.1	Výhody a nevýhody LCD.....	35
7.2.2	Porovnání LCD s OLED	35
7.3	QLED.....	37
7.3.1	Výhody a nevýhody QLED.....	37
7.3.2	Porovnání QLED s OLED.....	38
7.4	MICRO LED.....	38
7.4.1	Výhody a nevýhody Micro LED	40
7.4.2	Porovnání Micro LED s OLED.....	40
7.5	SHRNUJÍCÍ TABULKA POROVNÁNÍ TECHNOLOGÍ	41
8	ZÁVĚR.....	42
9	CITOVANÁ LITERATURA.....	44
10	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	51
11	SEZNAM TABULEK	53

1 Úvod

OLED je zkratkou slov Organic Light Emitting Diode. Dle překladu se tedy jedná o typ displeje, který pro svou funkci využívá právě technologii organických elektroluminiscenčních diod.

Tato dioda je typem LED diod, která je pro veřejnost lépe známá než samotná OLED. OLED technologie se liší hlavně tím, že základním stavebním kamenem je organický materiál, který po přivedení stejnosměrného napětí vyzařuje viditelné záření. Tato součástka našla svoje uplatnění především v displejích zobrazovacího zařízení. Počátky této technologie se uvádí do roku 1987, kdy se ve firmě Eastman Kodak podařilo vyrobit první funkční zařízení tohoto typu.

OLED panel nevyužívá ke své funkci podsvětlení, jako je tomu například u klasických LCD displejů, a proto by se dalo říci, že body vyzařují světlo samy o sobě. Z důvodu absence podsvětlení je OLED technologie schopná zobrazit zcela jasně černou barvu. To dokáže právě nepodsvícená a vypnutá buňka.

OLED technologie není na trhu žádnou novinkou, využívá se již řadu let. Zpočátku se OLED displeje objevovaly v zařízení, která slouží k zobrazení statické informace, jako jsou například autorádia či MP3 přehrávače. Postupným vývojem je v současné době zcela běžné setkat se s touto technologií u mobilních telefonů a televizních obrazovek. Z důvodu využití organických materiálů, které je možné nanést téměř na jakýkoliv podklad, vznikají obrazovky pružné, průhledné či zahnuté. To do nedávné doby nebylo možné, a pokud ano, šlo o velmi náročný proces.

Je třeba si uvědomit, že tato technologie není zástupcem LCD ani plazmy, ale jedná se o naprosto novou výjimečnou technologii se zcela jiným přístupem k tvorbě obrazu. Už na první pohled je u OLED televizorů vidět obrovský rozdíl v kvalitě.

Každá technologie má svou dobu a nyní je to právě OLED, která naprosto překonává doposud dostupné alternativy. Nebude trvat dlouho a tato technologie se stane pro člověka běžnou a potřebnou záležitostí za přístupnou cenu.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je představit a vypracovat přehled o technologii OLED z dostupných zdrojů. Popsat princip činnosti, představit druhy displejů, uvést způsob využití a vytvořit přehled o současném stavu této technologie.

Vedlejším cílem je porovnání a zhodnocení výhod a nevýhod OLED displejů oproti displejům LCD, QLED a Micro LED, využívajících alternativní technologie LED.

2.2 Metodika práce

Tato bakalářská práce na téma „OLED displeje“ byla sepsána stylem literární rešerše. Vzhledem k tomu, že se technologie OLED stále vyvíjí, bylo zde využito převážně zdrojů z internetových článků v českém a anglickém jazyce. Další informace byly použity z odborné literatury či skript.

Všechny použité zdroje jsou citované a jsou uvedeny v seznamu použité literatury na konci práce.

3 Vývoj diod

3.1 Polovodičová dioda

Polovodičová dioda je elektrotechnická součástka, která propouští elektrický proud pouze jedním směrem. Obsahuje dvě elektrody. Elektroda s kladným nábojem se nazývá anoda (A) a se záporným nábojem katoda (K). Základními materiály pro polovodičové diody jsou křemík a germanium. (1)

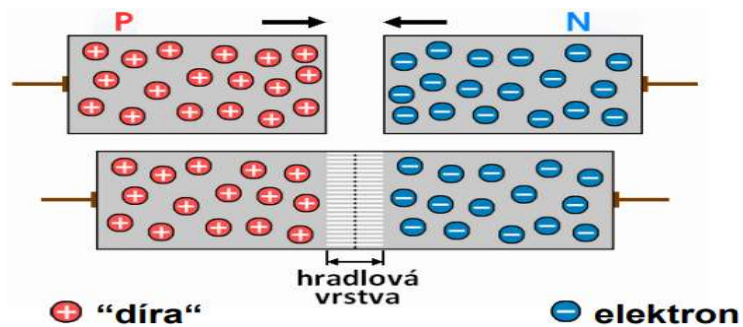
Obrázek 1: Schématická značka polovodičové diody



Zdroj (1)

Dioda je tvořena polovodiči typu P a N. Na rozhraní polovodiče typu P a polovodiče typu N je jeden PN přechod. V oblasti PN přechodu nastane rekombinace kladných děr a záporných elektronů. Dojde ke vzniku hradlové vrstvy. Hradlová vrstva se nachází u přechodu a neobsahuje volné náboje. (2)

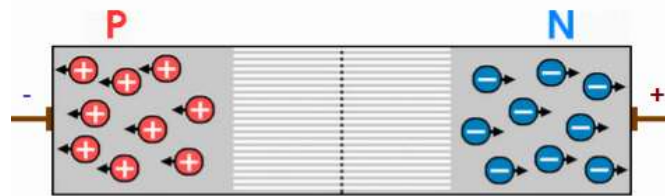
Obrázek 2: Vznik PN přechodu



Zdroj (2)

Připojením polovodiče typu P na záporný pól zdroje (-) a polovodiče typu N na kladný pól zdroje (+) budou díry přitahovány k zápornému pólu a elektrony ke kladnému pólu. Hradlová vrstva bude rozšířena a v obvodu elektrický proud neprochází. (2)

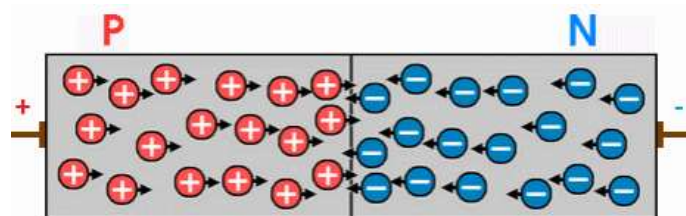
Obrázek 3: PN přechod v závěrném směru



Zdroj (2)

Bude-li kladný pól zdroje připojen k polovodiči typu P a záporný pól zapojen k polovodiči typu N, budou díry přitahovány záporným pólem a kladný pól je bude odpuzovat. Elektrony bude záporný pól odpuzovat a kladný pól přitahovat. Hradlová vrstva se vytratí a v obvodu bude procházet elektrický proud. (2)

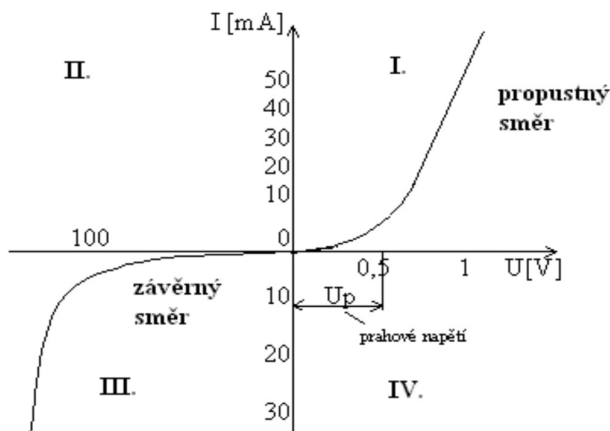
Obrázek 4: PN přechod v propustném směru



Zdroj (2)

Základní vlastnost diody udává Voltampérová charakteristika, kterou lze vidět na obrázku číslo 5. Tato charakteristika popisuje závislost stejnosměrného proudu na napětí. (1)

Obrázek 5: Voltampérová charakteristika diody



Zdroj (1)

V prvním kvadrantu je dioda v přímém směru otevřena. Ve třetím kvadrantu, v závěrném směru, je dioda zavřena. Prahové napětí U_p , které se nachází ve čtvrtém kvadrantu je napětí v propustném směru a to znamená, že diodou začíná procházet proud. (1)

3.2 LED dioda

Obrázek 6: Schématická značka LED diody

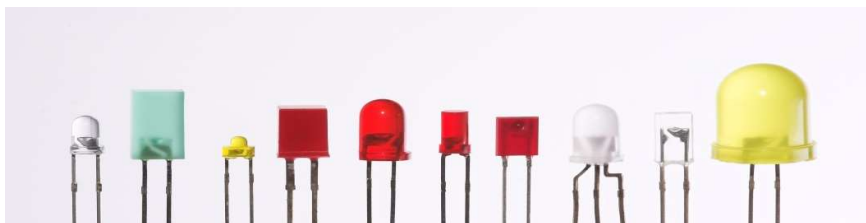


Zdroj (3)

LED je zkratkou z anglického Light Emitting Diode, v překladu světlo vyzařující dioda. Jedná se o polovodičovou součástku, která obsahuje PN přechod, který emituje optické záření, jestliže je buzen průchodem elektrického proudu. LED dioda pracuje na principu elektroluminiscence. V elektroluminiscenčních panelech je světlo buzeno elektrickým polem v pevné látce, která se nazývá luminofor. To je látka, která umí pohlcovat energii

a vyzařovat ji ve formě světla. Jinak řečeno, pokud v propustném směru diodou začne procházet proud, tak dioda vyzařuje viditelné světlo. (4)

Obrázek 7: LED diody



Zdroj (5)

První LED dioda byla vyrobena roku 1962. Tyto první diody měly nízký výkon pro bodové vyzařování. Dalším jejich omezením bylo, že emitovaly pouze červenou barvu. Roku 1971 nastal významný rozvoj, který přinesl nové barvy a tím i rozšíření použití těchto diod. LED diody se rozšířily o zelenou, oranžovou a žlutou barvu. Tyto diody byly zároveň i výkonnější a mohly sloužit třeba jako náhrada u kontrolky za obyčejné žárovky. Roku 1995 byla uvedena na trh první bílá LED dioda na bázi modré LED diody s luminoforem. (6)

3.2.1 Elektromagnetické záření

Záření lze popsat jako přenos energie ve formě elektromagnetických vln či hmotných částic prostorem. Kvantová teorie popisuje záření jako uspořádaný pohyb částic, naopak teorie vlnová říká, že záření se šíří pomocí vln. Teorie se vzájemně doplňují a platí zde dualita jak vln, tak i částic. To znamená, že světlo obsahuje vlnový i částicový charakter. (4)

„Ve světelné technice se však nezkoumá podstata elektromagnetického záření, jeho silové účinky či přetržitost záření, ale v určitých časových úsecích se sleduje rozdělení toků energie při jejich plynulých přechodech mezi uvažovanými místy prostoru.“ Na základě toho je důležité, že libovolné záření lze rozložit na složky, které mají sinusový průběh. Každá složka je charakteristická frekvencí, neboli kmitočtem (Hz)¹ a vlnovou délkou (λ)². (4)

¹ Hz = Hertz, jednotka frekvence

² λ = Lambda, značka vlnové délky

Platí zde následující vztah:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

kde:

λ ... vlnová délka (nm)

c ... rychlost světla (km/s)

f ... frekvence (Hz)

Vlnová délka (λ) je vzdálenost vlny za čas jednoho kmitu a udává se obvykle v nanometrech (nm).

Rychlost světla (c) se zaokrouhleně uvádí 300 000 km/s

Frekvence udává počet opakování periodického děje za daný časový úsek. (7)

A také vztah:

$$E = h \times f$$

kde:

E ... energie záření

h ... Planckova konstanta ($J \times s$)

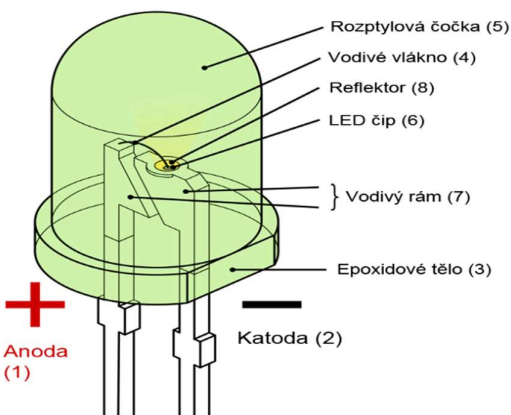
f ... frekvence (Hz)

Planckova konstanta nese hodnotu $6,6252 \times 10^{-34} J \times s$. (8)

3.2.2 Konstrukce LED

LED dioda je tvořena dvěma vodiči (anoda, katoda). Tyto vodiče jsou zataveny v průhledném pouzdře, která se zhotovují převážně z epoxidové pryskyřice, případně z průhledného, akrylového polyesteru. Jsou vyráběny v kruhovém i hranatém průřezu v různých velikostech. Nejvíce používanými jsou pouzdra o průměru 3 a 5 mm. (9)

Obrázek 8: Popis vnitřní struktury LED diody



Zdroj (10)

Výše uvedený obrázek popisuje vnitřní konstrukci LED diody a její funkci. „Kladný náboj je přiváděn vodičem přes anodu (1) LED diody do vlákna (4). Druhá část diody je zapojena k vodivému rámu (7) vedoucímu z katody (2) k zápornému pólu“. Chemické složení LED čipu (6) rozhoduje o barvě vyzářeného světla. Epoxidové tělo (3), ve kterém je světlo uloženo, je navrženo tak, aby jím prošlo maximální množství světla, a zároveň upravuje úhel šíření světla a chrání před vlivy okolí. Zapouzdřená LED dioda je skoro nezničitelná a nejsou v ní žádné volně pohyblivé částice. (10)

3.2.3 Barvy světla LED diod

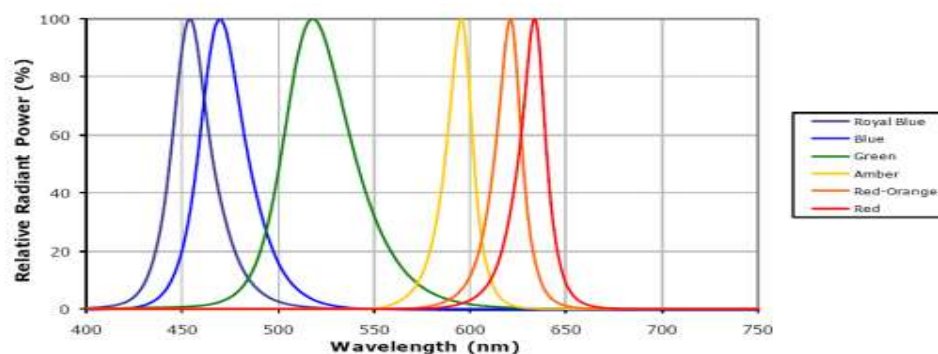
„První diody vyzařovaly světlo červené barvy, po nich se objevily diody se zelenou, oranžovou, žlutou a nakonec modrou barvou.“ (4) Barva vyzářovaného světla závisí na použitém materiálu, který má určitou vlnovou délku. Polovodiče LED jsou vyráběny ze sloučenin fosfidů³ či arsenidů⁴. „Když dojde k rekombinaci nabitých částic, uvolňují se fotony na určitých nespojitých energetických úrovních, které určují konkrétní barvu světla.“ Červené světlo vzniká uvolněním daleko nižší energie oproti modrému světlu. Tímto způsobem vzniká jednobarevné světlo. LED diody mají jednu zajímavou vlastnost a to tu, že emitují světlo ve velmi nízkém rozsahu vlnových délek a dioda tak vyzařuje jen určitou barvu.

³ Fosfidy = sloučeniny fosforu s nějakým jiným prvkem

⁴ Arsenidy = sloučeniny arsenu s nějakým jiným prvkem

Bílé světlo, jako jediné, neumí LED emitovat přímo. A to z toho důvodu, že bílé světlo je směsí všech barev světla. Vznikne aditivním mísením RGB nebo obvyklejším způsobem, kombinací modré LED a luminoforu (fosforu). „Část modrého světla se tak přeměňuje na bílé světlo. Barevný tón bílého světla se mění podle množství fosforového luminoforu, díky čemuž lze vytvářet odlišné barevné tóny, jako je teplá bílá, neutrální bílá nebo studená bílá.“ (11)

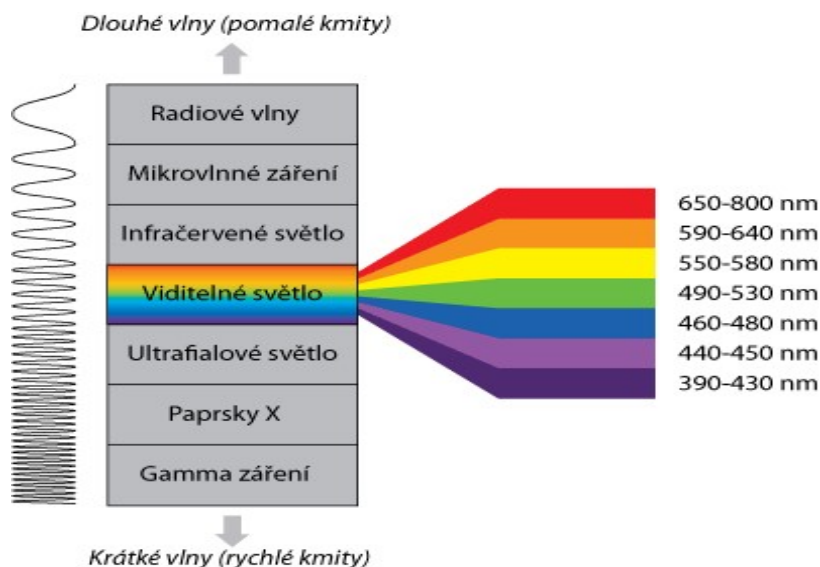
Obrázek 9: Vlnové délky barev LED diody



Zdroj (11)

Barva neboli vlnová délka je určena podle chemického složení polovodiče. Lidské oko považuje za viditelné spektrum vlnové délky přibližně od 380 nm do 760 nm.

Obrázek 10: Přehled elektromagnetického záření



Zdroj (12)

Barvu světla udává použitý materiál s vhodným poměrem přidané směsi. Červené, oranžové, žluté a zelené diody vznikají ze sloučenin materiálu GaAsP, GaAs, AlGaAs, GaP, AlGaInP. Modré a fialové jsou ze sloučenin GaN, InGaN, ZnSe a SiC. (4) (13)

Tabulka 1: Tabulka barev podle napětí

Barva	Napětí (V)	Vlnová délka (nm)	Materiál
infračervená	< 1,9	> 760	sloučeniny materiálu GaAs
Rudá	1,63; 2,03	610 – 760	sloučeniny materiálu GaAsP a AlGaInP
Oranžová	2,03; 2,10	590 – 610	sloučeniny materiálu GaP a GaAsP
Žlutá	2,10; 2,18	570 – 590	sloučeniny materiálu AlGaInP a GaP
Zelená	1,9 – 4	500 – 570	sloučeniny materiálu AlGaInP
Modrá	2,48 – 3,7	450 – 500	sloučeniny materiálu InGaN, ZnSe, SiC
Fialová	2,76 – 4	400 – 450	sloučeniny materiálu InGaN
Ultrafialová	3,1 – 4,4	< 400	sloučeniny materiálu AlGaN a AlGaInP
Bílá	3,5	celé spektrum	

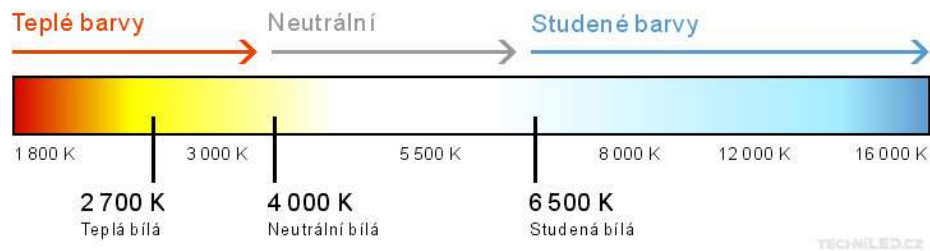
Zdroj vlastní zpracování (4) (12) (13)

3.2.4 Barevná teplota

Různé světelné zdroje mají různé odstíny světla. Tomu se říká barevná teplota neboli chromatičnost. Jednotkou je Kelvin [K].

Na následujícím obrázku lze vidět, že hodnoty, které mají méně jak 2 700 Kelvinů, vyzařují žlutočervené světlo a vyšší hodnoty jsou naopak studenější a zbarvené do modra. (14)

Obrázek 11: Teplota chromatičnosti



Zdroj (14)

U bílých LED diod rozlišujeme tři základní skupiny barevné teploty – teplá bílá, přirozená bílá a studená bílá. Každá teplota je vhodná pro jiný účel použití. Například teplejší bílá se používá do obývacích pokojů, naopak studená bílá do kuchyní či kanceláří.

- 1) Teplá bílá
 - 2700 – 4000 K
 - barva lehce nažloutlá
 - použití: v místnostech – obývací pokoj, dětský pokoj

- 2) Přirozená bílá
 - 4000 – 6500 K
 - připomíná denní světlo
 - použití: v kuchyni, v obchodech

- 3) Studená bílá
 - 6500 – 9000 K
 - studená barva lehce do modra
 - použití: ve skladech a výrobních halách (14)

4 Obecné parametry displejů

4.1 Zobrazovací jednotka - displej

Displej v přístrojích slouží jako výstupní zařízení, které zobrazuje výsledek činnosti mezi zařízením a koncovým uživatelem v podobě textu či obrazu.

První zařízení zobrazující informaci byly různé žárovičky nebo LED diody. Dalším stupněm vývoje byly číselné zobrazovače, které dovedly zobrazit číselnou informaci za pomoci rozžhavených drátků. Postupem času bylo třeba propracovanější a náročnější technologie v zobrazovací technice. Začaly vznikat panely tvořené maticemi bodů neboli displeje. (15)

Podle množství současně zobrazované informace se displeje dělí na:

- Displeje s malou hustotou zobrazované informace - využívají se pro alfanumerické měřicí přístroje, které zobrazují písmena či číslice. Jedná se o výstupy kalkulaček, pokladen, anebo například digitálních hodin.
- Displeje s velkou hustotou zobrazované informace – jsou to například obrazovky, světelné maticové panely či plošné LCD panely. (16)

Podle principu zobrazování lze displeje dělit na:

- aktivní - generují optické záření samy,
- pasivní – potřebují cizí osvětlení, produkují světlo samy, ale řídí jeho odraz nebo průchod. (13)

4.2 Obecné vlastnosti a parametry displejů

Rozlišení

Rozlišení displeje je jeden z parametrů, ovlivňujících kvalitu zobrazení požadovaného obsahu. Je definován jako počet sloupců krát počet řádků. Vynásobením těchto dvou hodnot dostaneme celkový počet pixelů na displeji.

V současné době existuje řada standardů rozlišení displejů. Níže jsou vypsány některé z nich:

- monitor u stolního počítače
 - 1920×1080 (Full HD)
 - 2560×1440 (QHD)
 - 3840×2160 (4K)
- chytrý telefon
 - 1280×720 (HD)
 - 1920×1080 (Full HD)
 - 3840×2160 (4K)
- televize
 - 1280×720 (HD)
 - 1920×1080 (Full HD)
 - 3840×2160(4K)
 - 7680×4320 (8K) - nejvyšší kategorie rozlišení. Tyto displeje jsou tak jemné, že lidské oko není schopné rozeznat rozhraní jednotlivých pixelů. (17)

Úhlopříčka

Úhlopříčka je vzdálenost mezi levým spodním a pravým horním rohem displeje. Velikost úhlopříčky se běžně udává v palcích, kdy jeden palec se rovná 2,54 centimetrů. (18)

Obnovovací frekvence

Je schopnost displeje zobrazit určitý počet snímků za jednu sekundu. Čím je obnovovací frekvence vyšší, tím je obraz plynulejší. Složením snímků a časových úseků vznikne pro lidský mozek plynulý obraz. Jednotka frekvence je Hertz [Hz]. (19)

Jas

Jas je fotometrická veličina, která určuje, jakou intenzitou displej vyzařuje světlo. U displejů je požadavek na co největší rozdíl mezi minimálním a maximálním jasem. Udává se v jednotkách cd/m^2 . (20)

Barevná hloubka

Vyjadřuje počet bitů potřebných k popisu barvy na jeden pixel. Čím větší barevná hloubka je, tím se zvětšuje uspořádání barev. Určuje kolik bitů je potřeba k zobrazení konkrétní barvy. Čím vyšší bude, tím bude obraz kvalitnější. Při míchání barev se využívá kombinací barev RGB – red (červená), green (zelená) a blue (modrá). Pixel nabývá jedné barvy z určité palety barev. Tyto palety mohou obsahovat 256 barev nebo přibližně 16 milionů. (21)

Tabulka 2: Barevná hloubka displeje

Barevná hloubka	Počet barev
8 bitů	256
16 bitů	65 536
18 bitů	262 144
24 bitů	16 777 216
32 bitů (s alfa kanálem)	4 294 967 296

Zdroj (21)

Pozorovací úhel

Pozorovací úhel je úhel, pod kterým je možné sledovat obrazovku a nedojde ke zkreslení kontrastu či sytosti barev. Měří se ve stupních. (22)

Doba odezvy

Údaj, který udává, za jak dlouho se změní pixel z černé barvy na bílou a zpět. Doba, která je potřeba k rozsvícení pixelu do bílé se nazývá „rise“ a doba potřebná pro zhasnutí do černé „fall“. Součet obou hodnot se rovná celkové době odezvy. Častěji se vyskytuje změna z jednoho odstínu do druhého. Právě z toho důvodu se bere jako důležitější hodnota „grey to grey“ (šedá - šedá). Změna z tmavě šedé do světle šedé a zpět. Pokud se zdá obraz rozmazaný, tak se doba odezvy jeví jako pomalá. Doba odezvy se udává v milisekundách (ms). (23)

Spotřeba energie

Spotřeba energie je důležitý parametr při výběru zařízení. Spotřeba je vyjádřena součinem příkonu a doby používání. Je udávána ve watthodinách.

Platí zde matematický vzorec: $E = P \times t$, kde

E ... spotřeba elektrické energie

P ... příkon

t ... čas (24)

Kontrast

Kontrast popisuje poměr nejsvětlejší bílé barvy a nejtmaší černé barvy, které obrazovka dokáže zobrazit při stejné hodnotě podsvícení. Výslednou hodnotou je podíl bílé a černé barvy. Čím vyšší kontrast, tím lepší zobrazení displeje. (25)

5 OLED technologie

OLED je zkratkou z anglického spojení Organic Light Emitting Diode využívající pro svoji funkci technologie LED s organickou vrstvou. Slovo Organic je v této technologii velice důležité, neboť odlišuje OLED od běžných svítících LED diod. (26)

5.1 Historie OLED

První pozorování elektroluminiscence v organických materiálech zadokumentovali André Bernanose a jeho kolegové z Nancy-Université ve Francii na počátku padesátých let. Použili vysoké střídavé napětí ve vzduchu na akridinovou oranž. Roku 1960 Martin Pope společně se svými kolegy z Newyorské univerzity vynalezl ohmické kontakty tmavých injekčních elektrod do organických krystalů. Dalším jejich pozorováním bylo pozorování elektroluminiscence při stejnosměrném proudu.

Rozmach OLED obrazovek nastal, když bylo vyrobené první funkční zařízení, které obsahovalo dvě odlišné vrstvy pro přenos elektronů a děr, kde došlo k rekombinaci a emitování světla. Toto zařízení se podařilo zhotovit ve firmě Eastman Kodak v roce 1987 americkým fyzikům Ching. W. Tang a Steve Van Slyke. V roce 1990 Jeremy Burrough se svými spolupracovníky v laboratoři na Cambridské univerzitě objevili elektroluminiscenční schopnost polymerů a započali tak novou generaci plochých obrazovek.

První světovou ukázkou svítících polymerů představila společnost CDT v roce 1996. V roce 1998 představily firmy Kodak a Sanyo ukázkou plnobarevného OLED displeje s aktivní maticí. Počátkem roku 2001 společnost Sony přišla s prvním OLED displejem o úhlopříčce 13 palců a rozlišením 800×600 pixelů. V roce 2003 Kodak představil první digitální fotoaparát s displejem s aktivní maticí s názvem – the Kodak EasyShare LS633, který lze vidět na obrázku číslo 12. (26) (27)

Obrázek 12: The Kodak EasyShare LS633 (první digitální fotoaparát)



Zdroj (28)

První OLED televizi na světě představila společnost Sony v roce 2007 a nese název XEL-1. Televize byla plnobarevná s úhlopříčkou 11 palců (251 × 141 mm), nabízela rozlišení 960 × 540 pixelů. Doporučená koncová cena této televize byla 32 000 Kč. (27)

Obrázek 13: XEL-1 (první OLED televize)



Zdroj (27)

Vývoj této technologie rostl a v letech 2012 a 2013 byla společnostmi Samsung, LG a Sony představena OLED televize s velikostí úhlopříčky 55 a 56 palců s rozlišením 2K a 4K. (27) Na obrázku číslo 13 lze vidět 56 palcový plnobarevný OLED displej s aktivní maticí vyvinutý společnostmi Sony v roce 2013. (27)

Obrázek 14: První OLED televize velikosti 56"



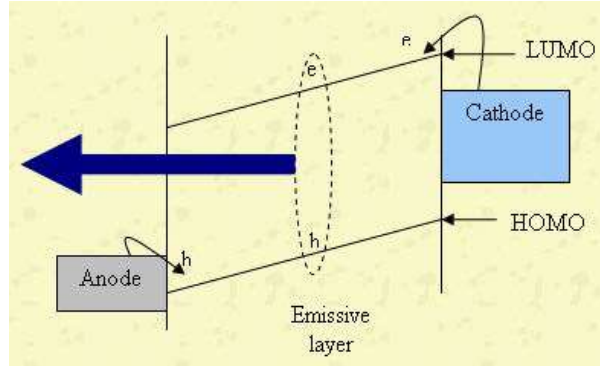
Zdroj (27)

5.2 Princip činnosti OLED

OLED jsou organické diody, které fungují na principu elektroluminiscence. Obsahují organický materiál, který je umístěn mezi dvěma elektrodami. Organický materiál obsahuje molekulární strukturu, která se nazývá luminofor. V této struktuře přechází elektrony z energetické hladiny LUMO (excitovaný stav) do volného stavu na HOMO hladině (základní stav). Energie, která je během tohoto procesu ztrácí, je vyzářena v podobě fotonu.

Anoda se nejčastěji vyrábí z materiálu, který se nazývá ITO (Indium Tin Oxide). Materiál je průhledný pro viditelné světlo a podporuje vstřikování děr do organické vrstvy HOMO. Při výrobě katody jsou použity materiály jako hliník, baryum a vápník. Zmíněné materiály mají nízkou výstupní práci, to podporuje vstřikování elektronů na hladinu LUMO v emisní vrstvě. (27) (29)

Obrázek 15: „Zjednodušený princip emise světla rekombinací páru elektron-díra“

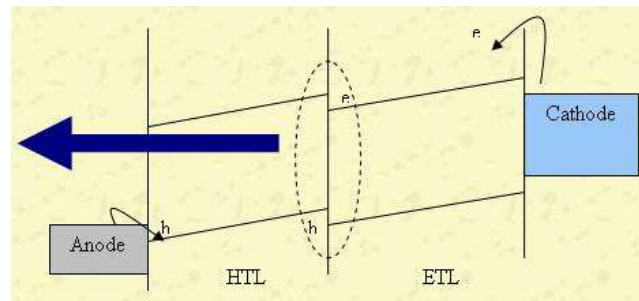


Zdroj (29)

„Současné OLED jsou většinou tvořené z více vrstev. Jsou voleny nejen vodivé materiály, ale také materiály napomáhající transportu elektronů a děr.“

Mezi oběma elektrodami a emisní vrstvou jsou vloženy materiály, jejichž cílem je podpora pohybu děr (hole transport layer – HTL) nebo zadržující elektrony (electron transport layer – ETL). Tím je dosaženo větší účinnosti rekombinace a také větší účinnost při generování světla. (29)

Obrázek 16: Struktura s přidavnými vrstvami HTL a ETL



Zdroj (29)

Celá struktura je umístěna mezi dvě vrstvy skla případně na plastovou či kovovou podložku. (29)

5.3 Použití OLED

Hlavní použití OLED technologie je jednoznačně v displejích. Technologie pracuje s organickým materiálem, který byl zpočátku nanášen především na pevné skleněné substráty. V současné době však lze materiál nanášet i na pružné substráty a je tedy možné vytvářet displeje tenké, ohnuté, pružné či transparentní. *„Pomocí tenkovrstvého zapouzdření lze realizovat ještě tenčí a zároveň flexibilnější displeje OLED založené na kovu a skle.“* Vzhledem ke stálému vývoji, je možné v budoucnosti očekávat nové tvary. (30)

OLED displeje mají určitě čím zaujmout, neboť mají spoustu předností. *„Vynikají zejména širokým rozsahem barev, nízkou spotřebou a vysokým jasem. Díky tomu je na displej dobře vidět i na přímém slunci. Zároveň věrně reprodukuje černou barvu. Úctyhodná je i širší pozorovacího úhlu, který dosahuje téměř 180 stupňů.“* Displeje nevyužívají žádného podsvícení, organické elektroluminiscenční diody generují světlo samy. (31)

Mezi displeje s menší úhlopříčkou se nejvíce OLED displej využívá u mobilních telefonů. Displeje jsou k dispozici u telefonů značek Samsung, Sony a LG. Počátkem roku 2019 byla vyvinuta nová kategorie telefonů, označována jako „skládací telefony“. Tyto zařízení se otevírají podobně jako kniha. Otevírání a zavírání je možné díky pantovému mechanismu, kde do sebe zapadají ozubená kolečka. Celý tento mechanismus je umístěn v pouzdře.

Samsung představil skládací telefon s názvem Galaxy Fold. Telefon je vybaven dvěma displeji, vnější malý displej o velikosti 4,6“ a po otevření lze získat tablet, který má úhlopříčku 7,3“. Zařízení bude dostupné na trhu od 26. dubna 2019 a částka se bude pohybovat okolo 45 000 Kč.

Obrázek 17: Mobil Galaxy Fold



Zdroj (32)

Mezi displeje s větší úhlopříčkou se v současné době řadí především televizní obrazovky. Televize se zatím pohybují od velikosti úhlopříčky 55 až 75 palců. V tabulce lze vidět současný přehled OLED televizorů a cen k 24. 2. 2019.

Tabulka 3: Přehled současných OLED TV (k 24. 2. 2019)

Značka	Úhlopříčka	Rozlišení	Cena
LG	55"	3840 × 2160 pixelů	od 34 990 Kč
	65"	3841 × 2160 pixelů	od 59 990 Kč
	77"	3842 × 2160 pixelů	od 159 990 Kč
Philips	55"	3844 × 2160 pixelů	od 44 990 Kč
	65"	3845 × 2160 pixelů	od 69 990 Kč
Sony	55"	3847 × 2160 pixelů	od 42 990 Kč
	65"	3848 × 2160 pixelů	64 990 Kč
Panasonic	55"	3850 × 2160 pixelů	od 39 990 Kč
	65"	3851 × 2160 pixelů	59 990 Kč

Zdroj - vlastní zpracování (33)

Absolutní novinkou je nyní televize s názvem Signature OLED TV, kterou představila společnost LG. „Rozhodně sice nejde o první OLED televizi, každopádně ale překvapí vlastností vyplývajících z možností této technologie. Tato televize se totiž dokáže srolovat a zmizet.“ Televize je dodávána společně s velkým stojanem, do něhož lze obrazovku

srolovat. Stojan vypadá spíše jako menší TV stolek. Televize disponuje třemi režimy. Full view, kdy se vyroluje celá televize ze stojanu, Line view, kdy se vyroluje jen část televize, vhodné například pro zobrazení hodin a Zero view, kdy je celá obrazovka schovaná ve stojanu. Výrobce udává, že televize by měla zvládnout 50 tisíc srolování. (34)

Obrázek 18: Signature OLED TV (první rolovatelná televize)

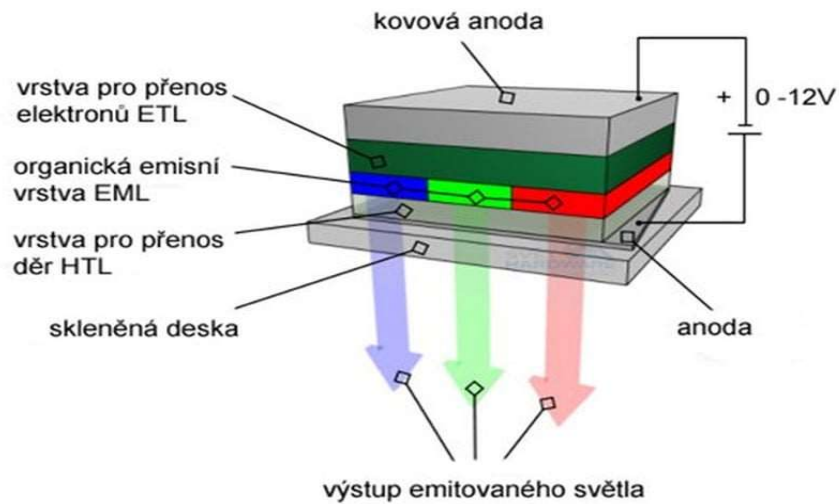


Zdroj (34)

5.4 Struktura OLED displeje

Níže uvedený obrázek popisuje strukturu OLED technologie. Displeje zde pracují s klasickým RGB modelem (červená, zelená, modrá). To znamená, že každý pixel je složen ze tří subpixelů a „pokud jsou tyto subpixely dostatečně malé, lidské oko si je spojí a vznikne tím výsledná barva“. „Základní myšlenkou je organický materiál, který emituje světlo určité barvy, pokud se na něj přivede stejnosměrné napětí.“

Obrázek 19: Schéma jednoho pixelu



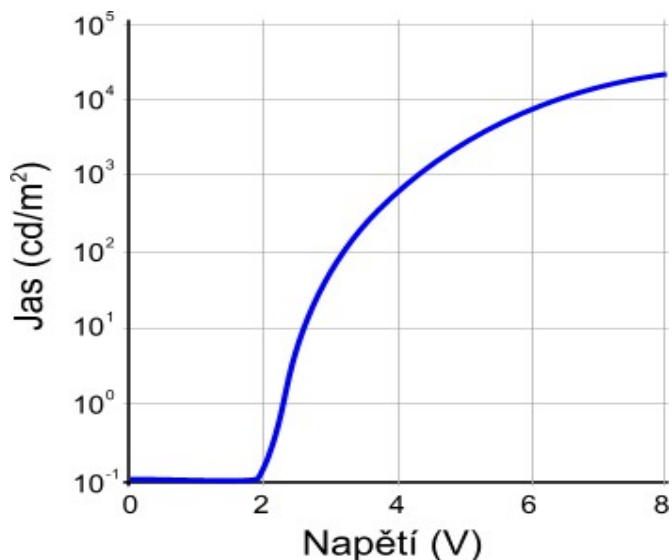
Zdroj (35)

Přivedením stejnosměrného napětí správné polaroty na anodu a katodu ve velikosti od dvou do deseti voltů, začnou rekombinovat elektrony a díry a dojde ke vzniku viditelného světelného záření ve světlo emitující vrstvě a subpixel začne svítit. OLED pracuje tedy konkrétně tak, že elektrony proudí z katody přes vodivou vrstvu do organického materiálu, který tak emituje fotony a svítí o určité barvě. Vodivá vrstva je zde pouze z důvodu, aby se napětí dostalo ke správnému subpixelu.

Hlavní výhodou této technologie je to, že při absenci napěťového signálu na subpixelu je tento ve vypnutém stavu, tedy nevyzařuje žádné světlo, což je vnímáno jako hluboce černá barva. To je velký rozdíl od LCD panelu, kde i přesto, že je subpixel úplně zavřený, skrze něj se stále nějaké světlo dostane, a proto pak vidíme víceméně šedou barvu místo černé.

(35)

Obrázek 20: Křivka závislosti jasu na napětí



Zdroj (35)

Na obrázku číslo 20 lze vidět graf, který popisuje závislost jasu na napětí. Tento vztah není lineární. Od nuly do dvou voltů se neemitují žádné fotony, to znamená, že zbytkové napětí nebude mít vliv na výslednou kvalitu obrazu. Je důležité upozornit, že tento graf se vztahuje všeobecně na organický materiál, nikoliv na displeje. „U nich totiž musíme počítat s tím, že pixely resp. subpixely nezabírají celý povrch obrazovky, ale mají mezi sebou mezery (jak pixely tak subpixely). To znamená, že hodnota jasu se výrazně sníží. Stále je zde však obrovská rezerva.“ (35)

5.5 Materiály pro OLED displeje

Základní složkou pro výrobu organického displeje je Polyphenylevevinylen (R-PPV) nebo Polyfluoren (PF). Materiály jsou využívány pro samotné svítící buňky. Velká výhoda těchto materiálů spočívá v jednoduché montáži do displeje. Dají se vytisknout pomocí speciálních tiskáren na základní matici, tou je obvykle katoda. Po tisku na základní materiál jsou zakryty Polyanilinem nebo Polythylenedioxythiophnem tj. vrstvou pro přenos děr. V posledním kroku už jen zbývá tyto součásti pokrýt anodou a krycím sklem či plastem. (35)

Obrázek 21: Ukázka ohebného displeje



Zdroj (35)

Z důvodu, že zde není problém tisku materiálu na základní matici, je možné vytvářet velmi tenké, pružné, ohebné či průhledné displeje. Tloušťka vrstvy nanášených organických materiálů je přibližně 200krát menší než tloušťka lidského vlasu. (35)

5.6 Výhody OLED

Pružnost

Obrovská výhoda těchto displejů spočívá v tom, že mohou být vyrobeny z pružných plastových podkladů, na které jsou nanášeny organické vrstvy. A tak mohou být vyráběny displeje, které mohou dosahovat tloušťky 5 - 10 mm, mohou být různě tvarované či případně rolovatelné. Displeje jsou podobně pružné jako PET. Vzhledem k pružnosti by tak například při pádu měl být displej odolnější a nemělo by docházet k jeho popraskání. (36)

Kontrast

Další z výhod je také kontrast obrazu, který dosahuje 100 000 : 1. (37) (38)

Rychlost zobrazení

OLED panel nabízí maximální odezvu 0,01 ms při maximální obnovovací frekvenci 100 000 Hz. (37)

Skvělé pozorovací úhly

OLED displej je možné sledovat z libovolného úhlu a kvalita obrazu bude stále stejná bez zhoršení kvality barev. Pozorovací úhel dosahuje téměř 180°. (37)

Hluboce černá barva

OLED je aktivní zobrazovací prvek, nevyžaduje podsvětlení, jednotlivé body svítí samy, tím lze dosáhnout opravdu černé barvy, protože když má být zobrazena černá barva, tak se jednotlivé buňky vypnou. (37)

Úspornost

Co se týká úspornosti, tak lze OLED obrazovky označit za úsporné. Záleží na tom jaký obsah panel zobrazuje. Pokud jsou promítány tmavé scény, tak jsou buňky vypnuté, neprochází jimi žádný proud a spotřeba je tak minimální. Při sledování běžně barvených scén jsou OLED o několik desítek procent úspornější. Problém s úsporností nastává při zvýšeném jasu, to nastane, když panel bude zobrazovat bílou barvu. Příkladem může být hokejové utkání. V tomto případě se udává spotřeba energie tři krát vyšší než u LCD panelu, ale i tak se průměrná spotřeba udává od 20 % nižší oproti LED. (37)

5.7 Nevýhody OLED

Vypalování displeje

U OLED obrazovek může docházet bohužel i k nežádoucím jevům. Jedním z nich je takzvané vypalování. Vypálení neboli retence obrazu je stav, kdy nastane nenávratná změna zobrazovacího panelu. Je narušena homogenita obrazu a na obraze jsou zobrazovány zbytky jiného obrazu. K vypálení dochází při zobrazení statického obrazu, například při sledování sportovního utkání, kde je po celou dobu v jednom místě zobrazováno skoré utkání. (39)

Obrázek 22: Ukázka vypáleného obrazu



Zdroj (39)

Životnost

Dalším pojmem vyskytující se u OLED televizorů je životnost. Životnost je čas udávaný výrobcem, kdy nastane pokles celkového jasu na 50 % své původní hodnoty. V současné době mají obrazovky životnost řádově 100 000 hodin. To znamená, že při svícení osm hodin denně, bude trvat více než třicet let než klesne jas obrazovky na úroveň 50 %.

(40)

Zhoršení barev při zvýšeném jasu

Nevýhodou OLED technologie je narušení barev při zvyšování jasu. Barvy se začnou stávat nepřesnými a rozplývají se.

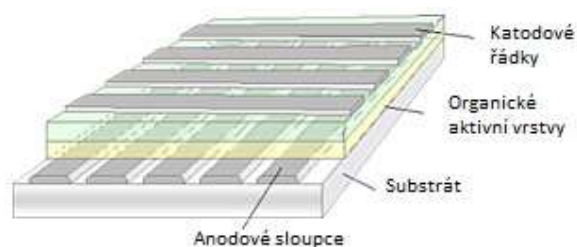
6 Varianty OLED displejů

V této kapitole jsou představeny všechny OLED displeje a je zde vysvětleno na jakém principu pracují. Mezi dvě základní kategorie OLED displejů lze zařadit PMOLED a AMOLED. (38)

6.1 PMOLED

Název PMOLED vychází z anglického Passive Matrix Light Emitting Diode a je to displej, který je svou strukturou nejjednodušší. Jednotlivé body jsou řízeny pasivně mřížkovou maticí vzájemně překříženými vodiči. Vodiče jsou v místě překřížení zapojeny k elektrodám a začínají vznikat jednotlivé body displeje. Pomocí přepínačů je na anodu a katodu některých bodů přivedeno elektrické napětí a organická látka začne vyzařovat světlo. Signály jsou dodávány postupně do sloupců a řádků. Světelný výstup je tvořen z postupného skládání řádků. Každý řádkový vodič musí být nabíjen $1/N$, kde N je počtu řádků displeje, aby došlo k úplnému zobrazení. Tyto displeje jsou využívány tam, kde postačí statické zobrazení textu a menší úhlopříčka. Příkladem jsou zařízení jako je MP3 přehrávač či displeje u palubních počítačů, případně autorádií. (29) (41) (42)

Obrázek 23: Základní struktura PMOLED displeje



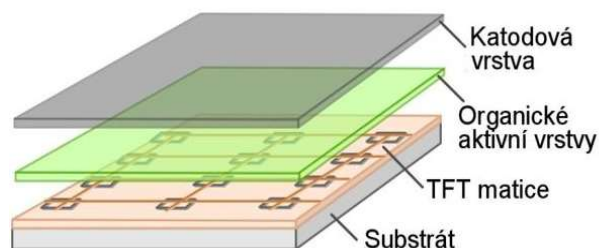
Zdroj (29)

6.2 AMOLED

AMOLED (Active Matrix Organic Light Emitting Diode) neboli OLED displeje s aktivní maticí. Jedná se o displeje, u nichž je spínání řízeno vlastním tranzistorem, který přesně řídí proud do struktury pixelu. Struktura je tvořena dvěma tranzistory a kondenzátorem pod každým pixelem. Jeden tranzistor slouží k řízení proudu pro nabíjení a vybíjení

kondenzátoru, druhý je využívám jako napěťový stabilizátor, který zajišťuje konstantní velikosti proudu. Tímto způsobem je možné přesně regulovat jas pixelů. Displeje AMOLED jsou nejčastěji k vidění u mobilních telefonů. (29)

Obrázek 24: Základní struktura AMOLED displeje



Zdroj (29)

Kromě těchto dvou základních struktur displejů existují ještě další vylepšené technologie OLED:

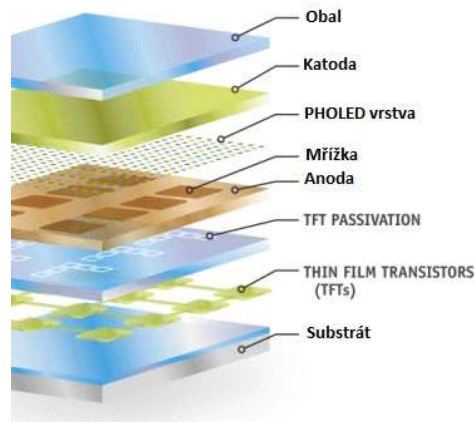
- PHOLED (Phosphorescent OLED) – vyznačují se větší světelnou účinností
- WOLED (White OLED) – vyzařují světlo bílé barvy
- FOLED (Flexible OLED) – struktura je umístěna na pružném materiálu
- TOLED (Transparent OLED) – zobrazení na průhledných displejích. (38)

6.3 PHOLED

PHOLED, anglickým názvem Phosphorescent Organic Light - Emitting Diodes, je další technologií OLED. Pracuje na základě elektrické fosforescence, která přeměňuje téměř 100 % energie na světlo. Dosahuje až čtyři krát větší účinnosti oproti klasické OLED technologii, ta dosahuje účinnosti pouze přibližně 25 %.

Aktivní PHOLED displeje pracují s jasnem 200 cd/m^2 a spotřebou jen 125 mW, takový jas se využívá k sledování videa. Z důvodu nízké spotřeby na jeden pixel, se dají využít u osvětlení a u monitorů či televizí s velkou úhlopříčkou. (29)

Obrázek 25: Základní struktura PHOLED displeje

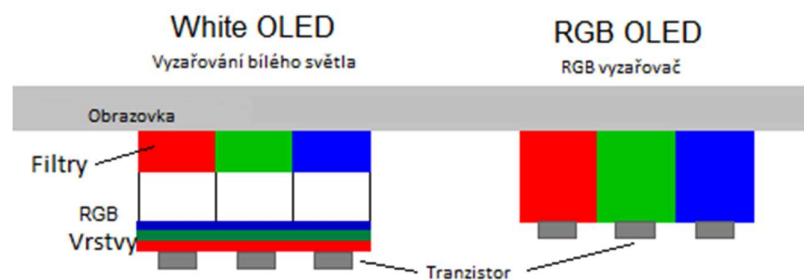


Zdroj (43)

6.4 WOLED

WOLED (White Organic Light Emitting diodes) jsou diody vyzařující světlo bílé barvy. Při výrobě je využito fosforeskních materiálů, které umožňují regulaci barevné teploty a tak se dají využít pro osvětlení.

Obrázek 26: Porovnání vyzařování bílého světla s RGB



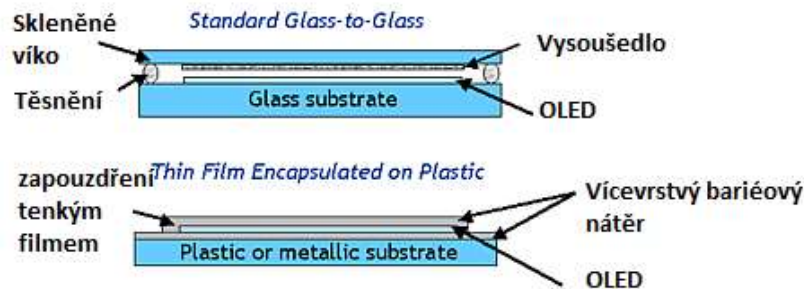
Zdroj (44)

U displejů White OLED je bílé světlo generováno kombinací záření červené, zelené a modré vrstev s následným promítnutím na obrazovku prostřednictvím barevných filtrů. Oproti tomu technologie RGB OLED používá oddělené červené, zelené a modré zářiče. (29) (44)

6.5 FOLED

Flexible Organic Light Emitting Diodes (zkráceně FOLED) neboli flexibilní OLED se vyrábí tak, že na základním pružném podkladu, který je tvořen z kovových, nebo plastických folií jsou položeny součástky emitující organické světlo. Jednou z výhod těchto flexibilních displejů oproti klasickým OLED je, že je lze libovolně tvarovat a tak je možné FOLED přizpůsobit dle materiálu, na který budou umístěny. Díky pružné struktuře jsou při pádu méně náchylné k přelomení či popraskání. Tento typ displejů je využíván u mobilních telefonů, či u velkých obrazovek. (29)

Obrázek 27: „Porovnání struktury klasického OLED displeje se skleněnou podložkou - substrátem (nahore) a plastickou podložkou (dole)“



Zdroj (29)

Na obrázku 27 je popsán rozdíl mezi strukturou se skleněnou podložkou a strukturou s plastickou podložkou.

Obrázek 28: Příklad flexibilního displeje



Zdroj (45)

V budoucnu by struktura FOLED mohla být využita pro různé elektronické etikety, které by obsahovaly měnící se nápisy. (45)

6.6 TOLED

TOLED neboli transparentní OLED je variantou displeje obsahující kombinaci plně průhledného displeje a směru, kterým je světlo emitováno. Výrobce si může tedy vybrat směr, kterým bude displej světlo generovat. Dle obrázku může být světlo vyzařováno buď horní i spodní stranou, anebo pouze horní stranou displeje. TOLED obsahují transparentní katodu, anodu a podložku, která je tvořena ze skleněné destičky či plastové folie. Díky této struktuře lze dosáhnout průhlednosti a emitovat tak světlo z volitelných stran. (29)

Obrázek 29: Porovnání oboustranně a jednostranně emitující TOLED struktury



Zdroj (29)

“TOLED mohou být transparentní v rozsahu 70 až 80 % v místech, kde není zrovna generováno světlo, tzn. skoro jako čisté sklo.” (29)

Díky průhlednosti lze TOLED displeje využívat v aplikacích, kde je potřebné zobrazovat informace v zorném poli uživatele a to například v brýlích, čelních i bočních sklech dopravních prostředků nebo ve stíhačkách využívaných armádou. (46)

7 Alternativní technologie využívající LED a jejich porovnání s OLED

Mezi alternativní technologie, které ke své funkci využívají LED diody lze zařadit technologii LCD, QLED a mikro LED.

7.1 LCD

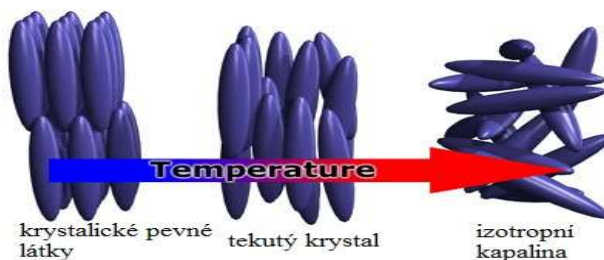
Displej z tekutých krystalů neboli LCD vychází z anglické zkratky Liquid Crystal Display. Tato technologie ve vývoji zobrazovací techniky úspěšně nahradila displeje CRT. Historie je zde velice obsáhlá. Její součástí je dlouhodobý výzkum v oblasti chemie, fyziky a biologie. První displej s tekutými krystaly byl zhotoven roku 1968 Georgem H. Heilmeierem a Richardem Williamsem. Zpočátku se LCD využívalo pro menší zařízení a roku 1973 se s tímto displejem celkem běžně vyskytovala kalkulačka.

Během vývoje se displeje postupně začaly zdokonalovat a objevovat se v různých měřicích zařízeních. Stále se ale jednalo pouze o displeje černobílé. Až v 80. letech se začaly vyrábět první displeje, které byly barevné a pracovaly na modelu RGB. (47)

7.1.1 Tekutý krystal

Základním prvkem LCD displejů jsou kapalné krystaly. Tekutý krystal je specifický tím, že může být jak v kapalném, tak i v pevném skupenství současně a vytvořit tak krystalickou strukturu. „Existenci fáze tekutých krystalů objevil v r. 1888 rakouský botanik Friedrich Reinitzer při pokusech s látkou podobnou cholesterolu. Zjistil, že látka roztavená na 145,5°C tvoří mezifázi a kapalná je teprve až při teplotě 178,5°C.“ To znamená, že se v této látce při narůstající teplotě uvolňují její molekuly a látka přechází z pevného stavu do kapalně krystalické struktury. To lze vidět na obrázku číslo 29. LCD se tedy mění v závislosti na teplotě. (48)

Obrázek 30: Tekutý krystal a jeho změna do kapalně krystalické struktury



Zdroj (48)

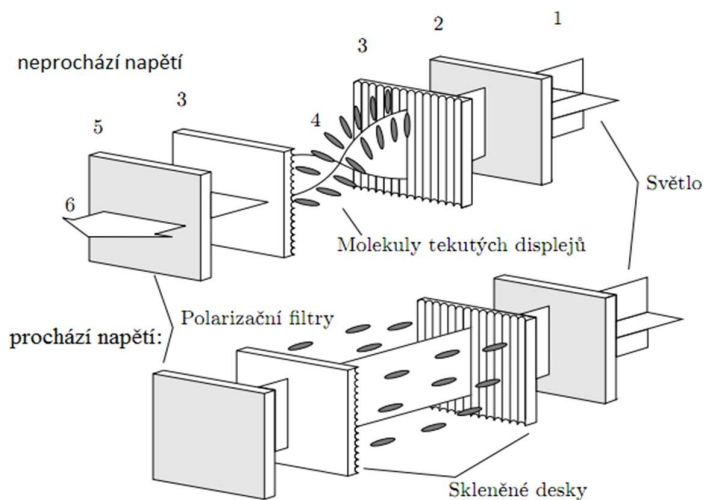
7.2 Základní princip LCD displeje

Hlavním úkolem LCD displeje je správně zpracovat světlo. LCD jsou pasivní zobrazovací prvky, které potřebují k zobrazení optického záření cizí zdroj, to znamená podsvícení. Podsvícení může být barevné a to pomocí LED diod, elektroluminiscenční fólie, anebo pomocí fluorescenčních lamp s chladnou katodou.

Princip funguje na základě propuštění a blokování světla, které je způsobeno právě tímto podsvícením. Základním prvkem jsou tekuté krystaly, které dokážou vytvořit krystalickou strukturu. „*To vše je závislé na elektrickém náboji, který je krystalu dodáván. Tyto krystaly jsou vloženy mezi průhledné elektrody a polarizační filtry, jak je vidět na obrázku číslo 30. Elektrickým nábojem je řízeno natočení těchto krystalů, a díky tomu dochází k řízení průchodu a polarizaci světla.*

Obraz monitoru je složen z jednotlivých pixelů. Každý pixel se skládá ze subpixelů, které jsou v každém pixelu vždy tři (RGB). *Kombinací rozsvěcování těchto subpixelů lze dosáhnout vykreslení všech barev spektra. K odfiltrování nežádoucích barev zde slouží i polarizační filtry, které dovolují filtrovat barvy, které jsou nežádoucí.*“ (49) (13)

Obrázek 31: Princip činnosti LCD displeje



Zdroj (48)

Obrázek číslo 31 je rozdělen do dvou částí. Rozdíl je v prostupu světla polarizačními filtry v případě kdy prochází napětí a kdy ne. Polarizační filtr je zařízení, které umožní pouze vstup optického záření, které má určitý úhel kmitání. Pokud mají tyto filtry stejnou orientaci, záření projde bez problému. Pokud je ale jeden filtr pootočen o 90 stupňů, tedy filtry budou v pravém úhlu, optické záření projde pouze prvním filtrem, kdežto ten druhý jej už nepropustí. (13)

7.2.1 Výhody a nevýhody LCD

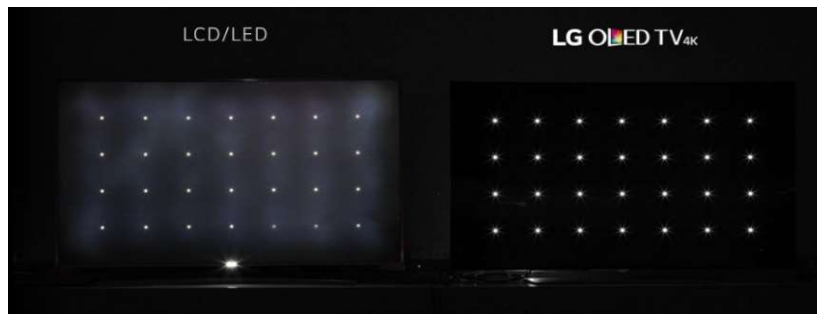
LCD je dnes stále nejběžnější a nejpoužívanější technologií. Vyznačuje se mnoha výhodami. Jedním z nich je nízká a dostupná cena, hlavně v malých úhlopříčkách. Doba odezvy je zhruba 2 – 16 ms při obnovovací frekvenci 60 až 480 Hz. Další výhodou LCD je nízká hmotnost, možnost vyrábět i v malých rozměrech a v neposlední řadě je to nízká spotřeba energie a vysoká doba životnosti. LCD zobrazuje vysoký jas a dosahuje vysokého kontrastu. Navíc zde nehrozí vypalování obrazů do panelu.

Nevýhodou této technologie je pozorovací úhel. Na jeho základě může dojít ke změně barvy a narušení kontrastu. Navíc LCD vyžaduje podsvícení a tím narušuje zobrazení černé barvy. (50)

7.2.2 Porovnání LCD s OLED

Prvním a základním rozdílem těchto dvou technologií je jednoznačně podsvícení. Pixely v LCD displejích samy nesvítlí a jsou schopny světlo pouze propouštět. A právě proto, aby byl obraz vidět, musí být tyto pixely podsvícené LED diodami a s tím je spojena i vyšší spotřeba energie. Zatímco jednotlivé body v OLED obrazovce vyzařují světlo samy o sobě a žádné podsvícení tak nepotřebují. Úroveň podsvícení lze u LCD ovládat pouze pro celý panel, maximálně pro určité oblasti, ale u OLED lze ovládat každý pixel jednotlivě zvlášť.

Obrázek 32: Porovnání LCD a OLED displeje



Zdroj (51)

Vzhledem k rozdílnému přístupu u podsvícení, OLED technologie vyniká oproti LCD dalším faktem. Z důvodu svítících LED diod, prosvítá světlo i skrze černé body, barvu tím zkreslí a výsledkem je šedivá barva. Kdežto u OLED bodu žádné podsvícení není, jednotlivé body jsou fyzicky zhasnuté a proto černá barva na obrazovce je skutečně černá a není nijak zkreslená světlem.

Další rozdíl je v kontrastu. Kontrast je rozdíl mezi nejjasnějším světlem a nejtmaším stínem. „Pro porovnání se používá kontrastní poměr, který vypovídá o tom, o kolik jasnější jsou bílé body ve srovnání s černými. Dobrá obrazovka LCD může mít kontrastní poměr 1000:1, což znamená, že bílé body jsou tisíckrát jasnější než černé.“ Ale při zobrazení černé barvy u OLED se žádné světlo nevyzařuje. OLED kontrast je tedy mnohem vyšší až extrémní.

Cena je určitě jedním z dalších rozdílů. LCD obrazovky mají výrazně levnější výrobu. Stojí okolo dvaceti tisíc, kdežto OLED stojí od padesáti tisíc výš.

U OLED obrazovek hrozí takzvané vypalování, zatímco u LCD se nic takového stát nemůže. Dalším rozdílem je životnost. LCD ji má podstatně vyšší, dalo by se říci, že až dvojnásobnou.

Tyto technologie navíc mají rozdílné mezní pozorovací úhly. I přesto, že LED televizory nabízí pozorovací úhly až 178°, stačí změna směru pohledu a barvy sledovaného objektu se už většinou změní. To se u OLED nestane. Lze se na ní dívat z jakéhokoliv úhlu a kvalita obrazu zůstává pořád stejná. (52) (53) (54)

7.3 QLED

V anglické terminologii Quantum Dot Light Emitting Diode znamená diodu s použitím kvantových bodů. Mohlo by se zdát, že QLED je variantou OLED, ale není tomu tak. Mají pouze podobné názvy, ale jedná se o zcela odlišné technologie. QLED pracuje na principu technologie LCD, která využívá k zobrazení podsvícení v podobě LED diod. Jen s tím rozdílem, že využívá Quantum Dot technologii. (55)

Základním prvkem Quantum Dot jsou diody, které pohlcují a následně vyzařují světelný paprsek. Zkráceně QD jsou nanokrystaly utvořené z polovodičových materiálů o minimální tloušťce. Krystaly jsou fotoaktivní a emitují specifické barvy podle vlnové délky. (56)

Displeje dosahují toho nejvyššího jasů, který je možno nabídnout v současné době. Tuto unikátnost má na starosti kombinace využití vysoce odolných kvantových teček a speciálně modře zbarveného LED světla, díky kterému obrazovka vyzařuje bílé světlo. (55)

QLED představila společnost Samsung, která ji jako jediná vyrábí. Nejedná se o žádnou novou revoluční technologii, ale pouze o perfektní inovaci starých LCD televizí s LED podsvícením. (55)

7.3.1 Výhody a nevýhody QLED

Největší výhodou QLED je až výjimečně vynikající obraz. Jas se pohybuje v rozmezí 1500 – 2000 cd/m². Navíc tyto displeje vynikají kvalitou barev, neboť pokrývají 100 % objemu barev⁵ dle standardů DCI-P3. Z toho vyplývá, že nedochází ke ztrátě barev při narůstajícím jasu. Na základě toho získala navíc QLED jako jediná certifikát VDE⁶, který je zaručenou značkou té nejvyšší kvality obrazu. Displeje jsou kromě toho energeticky úsporné. Na základě těchto předností poskytnou televizory s touto technologií nejvíce zářivé a živé barvy v porovnání se všema dostupnými TV na trhu. Díky vysokému

⁵ Barevný objem = vyjádření všech barev, které jsou viditelné při všech úrovních jasu obrazovky

⁶ VDE = technickovědecká německá organizace zaměřující se na elektrotechniku, elektroniku a informační technologie

jasu se dají televize sledovat jak v přítmí, tak i ve světelných místnostech. Další výhodou QLED je vysoká životnost displejů vzhledem ke složení panelu.

Nevýhodou je opět lehké zkreslení černé barvy, které je způsobeno podsvícením neboť QLED pracuje na principu LCD/LED displeje, kde je podsvícený celý displej a proto i ten nejtmavší bod nedokáže úplně zhasnout. (55)

7.3.2 Porovnání QLED s OLED

Prvním rozdílem je opět, jako v případě porovnání LCD a OLED, podsvícení. QLED funguje na principu podsvícení displeje, kdežto OLED pixely svítí samy o sobě.

Kvalita barev je o něco lepší u QLED technologie, která pokrývá 100 % barevného objemu. Ale ty nejlepší OLED displeje dosahují hodnot až k 90 %. Na základě podsvícení je rozdíl v zobrazování černé barvy. OLED ji má jasně černou.

QLED navíc nabývá vyššího jasů a to přes 1500 cd/m². OLED displeje dosahují pouze poloviny. To znamená, že u QLED technologie je lepší obraz ve světelných místnostech bez potřeby zatemnění. (55)

Dalším rozdílem je stálost materiálu. OLED panel je složen z organických sloučenin, které se při zobrazování statických obrazů velice zatěžují a rychle ztrácí své vlastnosti. Na displeji se to poté projeví jako vypálené pixely, které narušují displej i během jejich vypnutého stavu. Kdežto QLED panel je složen z anorganických nanokrystalů z kovových materiálů, kde vypalování displeje nemůže nastat. Navíc zásluhou svého složení dosahují vysoké životnosti.

7.4 Micro LED

Micro LED je nově vznikající technologie, kterou na trhu uvedla společnost Samsung. Je to technologie, která posunuje hranici zase výše. Jedná se o zobrazovací panely, inteligentní a přízřusobitelné displeje, které vynikají ve všech ohledech.

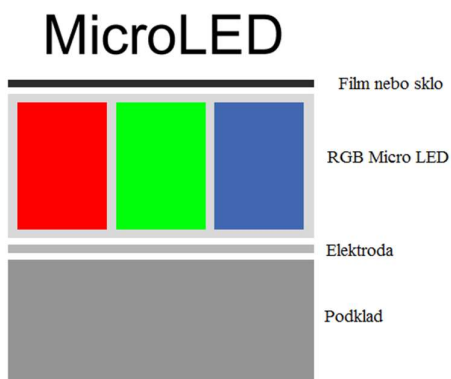
Micro LED jsou diody o velikosti přibližně 100 mikrometrů. Displeje obsahují miliony těchto extrémně malých čipů, z nichž každý obsahuje anorganický červený, zelený a modrý LED, který může poskytnout své vlastní světlo. Tudíž není potřeba žádné podsvícení a tím lze dosáhnout skutečně černé barvy. (57)

Technologie nabízí nyní bezkonkurenční kvalitu obrazu. Displeje jsou složeny na základě modulárního systému, kdy jednotlivé moduly lze libovolně poskládat a vytvořit si tak vlastní pláno o chtěné velikosti a dokonce i tvaru.

Nejdříve byla představena televize „The Wall“, kterou lze vzhledem ke své úhlopříčce nazývat spíše obrazovou stěnou. Dosahuje 219" a to je v přepočtu 5,56 metrů. Technologický pokrok umožnil zmenšit rozestupy mikro čipů a tak vznikla televize představená začátkem roku 2019, která má úhlopříčku pouhých 75 palců a najde tak větší uplatnění v domácnostech.

Tato technologie byla zatím pouze představena a lze očekávat, že v prodeji bude až v roce 2020.

Obrázek 33: Struktura displeje Micro LED



Zdroj (58)

7.4.1 Výhody a nevýhody Micro LED

Výhodou této nové technologie je modularita displeje. Lze si navolit flexibilní obraz a libovolně měnit poměry stran bez narušení kvality obrazu. Navíc nejsou vidět žádné zlomy mezi moduly.

Technologie Micro LED sjednocuje všechny klady LCD, QLED a OLED. Proto snad předčí všechny stávající technologie, neboť zde nejsou žádné problémy s pozorovacími úhly, je zde okamžitá odezva a to v řádu nanosekund. Dále vysoký kontrast a dlouhá životnost až sto tisíc hodin, to je až jedenáct let nepřetržitého svícení. Další výhodou je absence vypalování a hluboce černá barva.

Jediným a zároveň největším problémem jsou u Micro LED vysoké výrobní náklady. (57)

7.4.2 Porovnání Micro LED s OLED

Micro LED je založen na konvenční technologii, která nabízí až třicetkrát vyšší celkový jas, než produkuje OLED, stejně jako vyšší efektivitu v podobě lux/W. Také netrpí kratšími životnostmi OLED.

Velmi malé LED diody na displejích Micro LED jsou účinnější při přeměně elektřiny na fotony. V podstatě vytvářejí více "jasu na watt" než tradiční LCD nebo OLED displeje.

Je to stále nový produkt, který ještě nebyl plně komercializován, ale některé odhady říkají, že Micro LED by měl používat zhruba polovinu energie jako OLED, aby získal ekvivalentní jas. Ostatní odhady uvádějí, že úspory energie budou mnohem větší.

Displeje Micro LED nabízejí také delší životnost než současné panely OLED. (58)

7.5 Shrnující tabulka porovnání technologií

V následující tabulce jsou porovnány displeje televizorů s třemi typy technologie, a to LCD, QLED a OLED. Aby mohly být televizory porovnány, byly vybrány stejné či podobné parametry.

Tabulka 4: Tabulka porovnání televizí

Parametry	Samsung UE55NU8002	Samsung QE55Q67RA	LG OLED55E8PLA
Typ technologie	LCD	QLED	OLED
Technologie displeje	LED	LED	OLED
Technologie zobrazení	Dynamic Crystal Color	Quantum Dot (QLED)	OLED
Úhlopříčka obrazovky	138 cm (55")	139 cm (55")	139 cm (55")
Rozlišení displeje	3840×2160 px	3840×2160 px	3840×2160 px
Index zpracování obrazu	2 500 PQI	3 200 PQI	PMI neomezeně
Typ podsvícení	Edge LED	Edge LED	Nemá
Spotřeba v běžném režimu	165 W	111 W	113 W
Odhadované náklady na provoz TV za 1 rok	867 Kč	583 Kč	594 Kč
Odhadované náklady na provoz TV za 5 let	4 336 Kč	2 917 Kč	2 970 Kč
Odhadované náklady na provoz TV za 10 let	8 672 Kč	5 834 Kč	5 939 Kč
Cena	19 990 Kč	34 990 Kč	49 990 Kč

Zdroj – vlastní zpracování (Datart)

8 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá představením technologie OLED (Organic Light Emitting Diode). Byl proveden rozbor principu fungování OLED displejů včetně popisu výhod a nevýhod této technologie. Dále byly uvedeny varianty OLED displejů, jejich parametry a příklady použití. Práce byla sepsána tak, aby i neznalý čtenář získal po přečtení přehled a porozuměl této problematice. Práce by mohla posloužit i při výběru televizních obrazovek či mobilních telefonů.

Vedlejším cílem práce bylo představit alternativní technologie využívající LED diody a porovnat je s OLED. Alternativními technologiemi byly LCD, QLED a Micro LED panely.

LCD displeje využívající tekutý krystal jsou na svém vrcholu a v blízké budoucnosti už se s nimi budeme setkávat méně a méně. Vylepšenou variantou LCD jsou panely QLED, které využívají technologie Quantum Dot, tedy nanokrystaly utvořené z polovodičových materiálů o mikroskopické velikosti (jedna desetitisícina tloušťky lidského vlasu). Tím tato technologie nabízí tenké displeje s vynikající kvalitou barev a vysokým jasem.

Z technologického hlediska, je dle mého názoru, v současné době nejzajímavější OLED technologie, která se neustále vyvíjí. Tato technologie představuje něco doposud nevídaného. OLED oproti předchozím displejům nevyžaduje podsvícení. Organické diody vyzařují světlo samy o sobě a je možné u nich ovládat každý pixel zvlášť. Další předností, co OLED nabízí oproti alternativám, je možnost organický materiál nanést na téměř kterýkoliv materiál. Displeje tak získávají pružnost, možnost tvarování, je téměř nemožné je zlomit a při pádu by nemělo docházet k popraskání. Dnes je již možné se setkat s kuriozitami, jako je telefon, který se otevírá jako kniha, s televizí, kterou je možné srolovat či s průhledným displejem, kdy obraz může být zobrazen pouze na jedné či na obou stranách.

Micro LED je technologie, která by z dosud zveřejněných informací mohla v budoucnu nahradit OLED. Tato technologie by měla totiž dohromady disponovat se všemi výhodami, které jsou u ostatních alternativních technologiích. Displeje jsou složeny z extrémně

malých čipů, které poskytují své vlastní světlo, takže není nutné podsvícení a displeje mohou dosahovat skutečné černé barvy podobně jako OLED. Displeje jsou tvořeny na základně modulárního systému, tudíž je možné moduly libovolně poskládat a sestavit tak panel o vlastním tvaru a rozměru.

Z ekonomického hlediska záleží na finančních možnostech toho, který mezi těmito technologiemi vybírá. V současné době jsou nejlevnější variantou větších rozměrů displeje LCD s částkou pohybující se do 20 000 Kč. Nejlevnější panely QLED jsou v současné době dostupné od částky 30 000 Kč. Displeje OLED i přesto, že mají vysokou výrobní cenu, již nejsou tak nedostupným zbožím a částky se pohybují od 35 000 Kč. To je v podstatě srovnatelné s technologií QLED. Předpokládá se, že cena OLED půjde i nadále dolů. Co se týká displejů menších rozměrů, tak například u mobilních telefonů se displeje OLED objevují pouze u prémiových modelů a ceny se pohybují kolem částky 20 000 Kč.

Z technického a zároveň ekonomického hlediska je dle mého názoru zatím OLED absolutním vítězem. Ceny už nejsou tak vysoké jako tomu bylo ještě v nedávné době, kdy nejlevnější OLED televize stála přibližně 80 000 Kč. Technologie je stále ve svém vývoji a bude zajímavé sledovat, čím OLED ještě překvapí a také až se na trhu začnou objevovat panely Micro LED. Porovnávání by mohlo být zajímavější, pokud by obsahovalo praktickou část.

9 Citovaná literatura

- (1) **Bešta, Ing. M.** Polovodičová dioda. *Mbest*. [Online] [Citace: 02. 11 2018.] <http://www.mbest.cz/wp-content/uploads/2013/01/T1.4-DIODA.pdf?fbclid=IwAR0yr7UOCSh54bJUz7xCM4zI0GjY1aMz8WRPAnJbL8qDI7slAzZ6GrXdkx0>.
- (2) Vznik přechodu P-N. *Onsemi*. [Online] [Citace: 2. 11 2018.] <https://www.onsemi.jp/site/pdf/cz/DIODA.PDF>.
- (3) Víte, jak funguje LED a OLED dioda? *Pro elektrotechniky*. [Online] [Citace: 02. 11 2018.] <http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/15.php>.
- (4) **Habel, Jiří, a další, a další.** *Světlo a osvětlování*. Praha : FCC Public, s. r. o., 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- (5) Historie LED diody. *LED svítí*. [Online] [Citace: 2. 11 2018.] <https://www.ledsviti.cz/blog/historie-led-diody/>.
- (6) Historie LED diody. *Ledvance*. [Online] [Citace: 03. 11 2018.] <https://www.ledvance.cz/produkty/znalosti-produktu/zaklady-o-led/historie-technologie-led/index.jsp>.
- (7) Frekvence. *Wikipedie*. [Online] [Citace: 1. 2 2019.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Frekvence>.
- (8) Definice elektromagnetického záření. *Eluc*. [Online] [Citace: 6. 11 2018.] <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2518>.
- (9) **Malina, Václav.** *Poznáváme elektroniku*. České Budějovice : KOPP, 2003. ISBN 80-7232-039-4.

- (10) Jak LED diody fungují? *LED SOLUTION*. [Online] [Citace: 12. 11 2018.] <https://eshop.ledsolution.cz/led-diody-technicke-udaje/>.
- (11) Technické informace: barvy světla LED diod. *LEDVANCE*. [Online] [Citace: 15. 11 2018.] <https://www.ledvance.cz/produkty/znalosti-produktu/zaklady-o-led/barvy-led-svetla/index.jsp>.
- (12) Elektromagnetické záření. *SlidePlayer*. [Online] [Citace: 10. 12 2018.] <https://slideplayer.cz/slide/3345570/>.
- (13) **Doleček, Jaroslav.** *Optoelektronika a optoelektronické prvky*. Praha : BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-184-5.
- (14) Barevná teplota. *TECHNILED*. [Online] [Citace: 25. 11 2018.] <http://www.techniled.cz/20-barevna-teplota/>.
- (15) Optické přístroje 2. *Optics.upol*. [Online] [Citace: 10. 1 2019.] <http://optics.upol.cz/userfiles/file/Skripta%20OP%202.pdf>.
- (16) Displeje. *Státnice z elektroniky*. [Online] [Citace: 15. 1 2019.] <http://jjohnyk.sweb.cz/elektronika/07.htm>.
- (17) Rozlišení displeje. *Okay*. [Online] [Citace: 15. 1 2019.] <https://www.okay.cz/slovník-pojmu/rozliseni-displeje/>.
- (18) Úhlopříčka displeje (VÝPOČET). *Alza*. [Online] [Citace: 16. 1 2019.] <https://www.alza.cz/slovník/uhlopricka-displeje-art12369.htm>.
- (19) Obnovovací frekvence. *Alza*. [Online] [Citace: 2. 1 2019.] <https://www.alza.cz/slovník/obnovovaci-frekvence>.

- (20) Co dělá dobrý displej dobrým displejem? (Vědecké okénko). *Mobilizujeme*. [Online] [Citace: 2. 2 2019.] <https://mobilizujeme.cz/clanky/co-dela-dobry-displej-dobrym-displejem-vedecke-okenko>.
- (21) Lekce 3 - Úvod do počítačové grafiky - Termíny, rozlišení. *ITnetwork.cz*. [Online] [Citace: 20. 1 2019.] <https://www.itnetwork.cz/grafika/uvod/uvod-do-pocitacove-grafiky-terminy-rozlisi/>.
- (22) Pozorovací úhel. *Okay*. [Online] [Citace: 15. 1 2019.] <https://www.okay.cz/slovník-pojmu/pozorovací-úhel/>.
- (23) Monitory - který si vybrat? *Hardware, Software, návody*. [Online] [Citace: 25. 1 2019.] http://www.servispckupka.cz/monitory_ktery_si_vybrat_doba_odezvy.php.
- (24) Jak na výpočet spotřeby elektřiny. *Kalkulačka energie*. [Online] [Citace: 5. 1 2019.] <https://kalkulackaenergie.com/jak-na-vypocet-spotreby-elektriny/>.
- (25) Co dělá dobrý displej dobrým displejem? (Vědecké okénko). *Mobilizujeme*. [Online] [Citace: 2. 1 2019.] <https://mobilizujeme.cz/clanky/co-dela-dobry-displej-dobrym-displejem-vedecke-okenko>.
- (26) OLED. *Wikipedia (EN)*. [Online] [Citace: 29. 11 2018.] <https://en.wikipedia.org/wiki/OLED#History>.
- (27) **Koden, Mitsuhiro**. *OLED Displays and Lighting*. Yamagata University, Japan : autor neznámý, 2017. ISBN 9781119040507.
- (28) DCRP Review: Kodak EasyShare LS633. *digital camera*. [Online] [Citace: 29. 11 2018.] <https://www.dcresource.com/reviews/kodak/ls633-review/>.
- (29) Přehled typů displejů OLED a jejich nové variaty. *automatizace.hw.cz*. [Online] [Citace: 05. 12 2018.] <https://automatizace.hw.cz/clanek/2006081701>.

- (30) Nekonečné možnosti s technologiemi OLED. *DPS - Elektronika od A do Z*. [Online] [Citace: 5. 1 2019.] <https://www.dps-az.cz/vyvoj/id:50785/nekonecne-moznosti-s-technologiemi-oled>.
- (31) OLED displej. *Alza*. [Online] [Citace: 10. 1 2019.] <https://www.alza.cz/slovník/oled-displej-art15340.htm>.
- (32) Galaxy Fold: Samsung má mobil, který uvnitř skrývá tablet. Koupíte ho už za dva měsíce Více na: <https://www.mobilmania.cz/clanky/galaxy-fold-samsung-ma-mobil-ktery-uvnitr-skryva-tablet-koupite-ho-uz-za-dva-mesice/sc-3-a-1344335/default.aspx>. *Mobilmania*. [Online] [Citace: 5. 1 2019.] <https://www.mobilmania.cz/clanky/galaxy-fold-samsung-ma-mobil-ktery-uvnitr-skryva-tablet-koupite-ho-uz-za-dva-mesice/sc-3-a-1344335/default.aspx>.
- (33) OLED televize. *Datart*. [Online] [Citace: 24. 2 2019.] https://www.datart.cz/oled-televize.html#price_MIN=&price_MAX=&availabilityRegion=&elasticFilter=&tab=1&categoryId=569081&subcategoryId=783545&listType=&uiShowFilter=NONE&startPos=0&perPage=&sort=].
- (34) LG uvádí první srolovatelnou Signature OLED TV R. *TV Freak*. [Online] [Citace: 24. 2 2018.] <https://www.tvfreak.cz/lg-uvadi-prvni-srolovatelnou-signature-oled-tv-r/6153>.
- (35) Technologie OLED - tak kde vězí? *Svět Hardware ... vše ze světa počítačů*. [Online] [Citace: 26. 1 2019.] <https://www.svethardware.cz/technologie-oled-tak-kde-vezi/15239>.
- (36) Ohebné displeje OLED. *Aldebaran bulletin*. [Online] [Citace: 10. 1 2019.] https://www.aldebaran.cz/bulletin/2014_18_led.php.
- (37) Co je to OLED? *Datart*. [Online] [Citace: 5. 2 2019.] https://www.datart.cz/radce/tv_audio_video/televizory/co_je_to_oled.html.

- (38) Co to je OLED a čím se televizory s touto technologií liší od LCD a plazmy? . *Lupa*. [Online] [Citace: 5. 2 2019.] <https://www.lupa.cz/clanky/co-to-je-oled-a-cim-se-lisi-televizory-lcd-a-led/>.
- (39) OLED televizory sú ohrozené vypálením obrazu. *Tlačové správy*. [Online] [Citace: 1. 2 2019.] <https://tlacovespravy.sme.sk/c/20937681/oled-televizory-su-ohrozene-vypalenim-obrazu.html>.
- (40) OLED televize jsou dostupnější než dříve. *COMPUTERWORLD*. [Online] [Citace: 2. 2 2019.] <https://computerworld.cz/analyzy-a-studie/oled-televize-jsou-dostupnejsi-nez-drive-54810>.
- (41) PMOLED (Passive Matrix OLED): introduction and basics. *THE OLED EXPERTS*. [Online] [Citace: 3. 2 2019.] <https://www.oled-info.com/pmoled>.
- (42) OLED. *Wikipedia*. [Online] [Citace: 1. 2 2019.] https://cs.wikipedia.org/wiki/OLED#Displeje_s_pasivní_matricí_-_PMOLED.
- (43) Encyclopedia. *Definition of: PHOLED*. [Online] [Citace: 5. 1 2019.] <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/60352/pholed>.
- (44) Definition: WOLED. *Computer Desktop Encyclopedia*. [Online] [Citace: 15. 1 2019.] <https://www.computerlanguage.com/results.php?definition=WOLED>.
- (45) Will LG be an exclusive supplier for Apple's iWatch's 1.52" OLED displays? *THE OLED EXPERTS*. [Online] [Citace: 15. 2 2019.] <https://www.oled-info.com/will-lg-be-exclusive-supplier-apples-iwatchs-152-oled-displays>.
- (46) TOLED screen technology. *Ronald Turinuddin Studio 3A*. [Online] [Citace: 5. 2 2019.] <http://ronaldturinuddinides1031.blogspot.com/2009/08/toled-screen-technology.html>.

- (47) Tajemství tekutých krystalů. *TV FREAK*. [Online] [Citace: 20. 2 2019.] <https://www.tvfreak.cz/tajemstvi-tekutych-krystalu/3181;%20paraf%C3%A1zov%C3%A1no:%207.%2012.%202014>.
- (48) Jak funguje - LCD displej. *Banan.cz*. [Online] [Citace: 25. 2 2019.] <https://www.banan.cz/serialy/Jak-funguje/Jak-funguje-LCD-displej>.
- (49) LCD a jejich technologie 1 - jak to funguje. *Notebook.cz*. [Online] [Citace: 25. 2 2019.] <https://notebook.cz/clanky/technologie/2013/LCD-1>.
- (50) Co je lepší? LCD, plazma, LED nebo OLED televizor? *Lupa*. [Online] [Citace: 20. 2 2019.] <https://www.lupa.cz/clanky/co-je-lepsi-lcd-plazma-led-nebo-oled-televizor/>.
- (51) OLED technologie: černá bude opravdu černá. *Datart*. [Online] [Citace: 15. 2 2019.] https://www.datart.cz/novinky/technologie-co_je_to_oled.html.
- (52) Je lepší OLED, nebo LCD? (Víkendová hlasovačka). *Svět androida*. [Online] [Citace: 15. 2 2019.] <https://www.svetandroida.cz/oled-nebo-lcd-displej/>.
- (53) Technologie obrazu (SROVNÁNÍ): LCD a OLED televizory a displeje. *Alza*. [Online] [Citace: 15. 2 2019.] <https://www.alza.cz/slovník/technologie-obrazu-art12963.htm>.
- (54) OLED technologie: černá bude opravdu černá. *Datart*. [Online] [Citace: 16. 2 2019.] https://www.datart.cz/novinky/technologie-co_je_to_oled.html.
- (55) Srovnání QLED TV a OLED TV . *Alza*. [Online] [Citace: 21. 2 2019.] <https://www.alza.cz/qled-vs-oled-tv>.
- (56) Co přináší technologie Quantum do nových SUHD TV? *Technet*. [Online] [Citace: 20. 2 2019.] https://www.idnes.cz/technet/software/co-prinasi-technologie-quantum-do-novych-suhd-tv.A160602_145014_praha-sdeleni_baha.

- (57) Mluví se o Micro LED displejích. Čím budou zajímavé? *Deep In It*. [Online] [Citace: 1. 3 2019.] <https://diit.cz/clanek/micro-led-displeje-vyhody-nevyhody>.
- (58) Apple visits one of the leaders in microLED technology as it looks beyond OLED. *9to5mac*. [Online] [Citace: 10. 1 2019.] <https://9to5mac.com/2018/08/30/apple-microled-auo/>.
- (59) Elektromagnetické záření. *Gymnázium Český Krumlov*. [Online] [Citace: 10. 11 2018.] https://www.gymck.cz/storage/1364980243_sb_2s_4o_34_35_elmag_vlneni_01.pdf.
- (60) Společnost Sony představila první OLED TV na světě: XEL-1. *HD mag.cz*. [Online] [Citace: 1. 12 2018.] <http://hdmag.cz/clanek/spolecnost-sony-predstavila-prvni-oled-tv-na-svete-xel-1>.
- (61) PMOLED. *Wikimedia commons*. [Online] [Citace: 1. 2 2019.] <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PMOLED.png>.

10 Seznam obrázků

Obrázek 1: Schématická značka polovodičové diody	3
Obrázek 2: Vznik PN přechodu	3
Obrázek 3: PN přechod v závěrném směru	4
Obrázek 4: PN přechod v propustném směru	4
Obrázek 5: Voltampérová charakteristika diody	5
Obrázek 6: Schématická značka LED diody	5
Obrázek 7: LED diody.....	6
Obrázek 8: Popis vnitřní struktury LED diody	8
Obrázek 9: Vlnové délky barev LED diody	9
Obrázek 10: Přehled elektromagnetického záření.....	9
Obrázek 11: Teplota chromatičnosti	11
Obrázek 12: The Kodak EasyShare LS633 (první digitální fotoaparát)	17
Obrázek 13: XEL-1 (první OLED televize)	17
Obrázek 14: První OLED televize velikosti 56"	18
Obrázek 15: „Zjednodušený princip emise světla rekombinací páru elektron-díra“	19
Obrázek 16: Struktura s přidavnými vrstvami HTL a ETL	19
Obrázek 17: Mobil Galaxy Fold	21
Obrázek 18: Signature OLED TV (první rolovatelná televize)	22
Obrázek 19: Schéma jednoho pixelu.....	23
Obrázek 20: Křivka závislosti jasu na napětí.....	24
Obrázek 21: Ukázka ohebného displeje	25
Obrázek 22: Ukázka vypáleného obrazu	27
Obrázek 23: Základní struktura PMOLED displeje.....	28
Obrázek 24: Základní struktura AMOLED displeje	29
Obrázek 25: Základní struktura PHOLED displeje	30
Obrázek 26: Porovnání vyzařování bílého světla s RGB	30
Obrázek 27: „Porovnání struktury klasického OLED displeje se skleněnou podložkou - substrátem (nahore) a plastickou podložkou (dole)“	31
Obrázek 28: Příklad flexibilního displeje.....	31
Obrázek 29: Porovnání oboustranně a jednostranně emitující TOLED struktury	32
Obrázek 30: Tekutý krystal a jeho změna do kapalně struktury.....	33

Obrázek 31: Princip činnosti LCD displeje.....	34
Obrázek 32: Porovnání LCD a OLED displeje.....	36
Obrázek 33: Struktura displeje Micro LED.....	39

11 Seznam tabulek

Tabulka 1: Tabulka barev podle napětí	10
Tabulka 2: Barevná hloubka displeje	14
Tabulka 3: Přehled současných OLED TV (k 24. 2. 2019).....	21