ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni

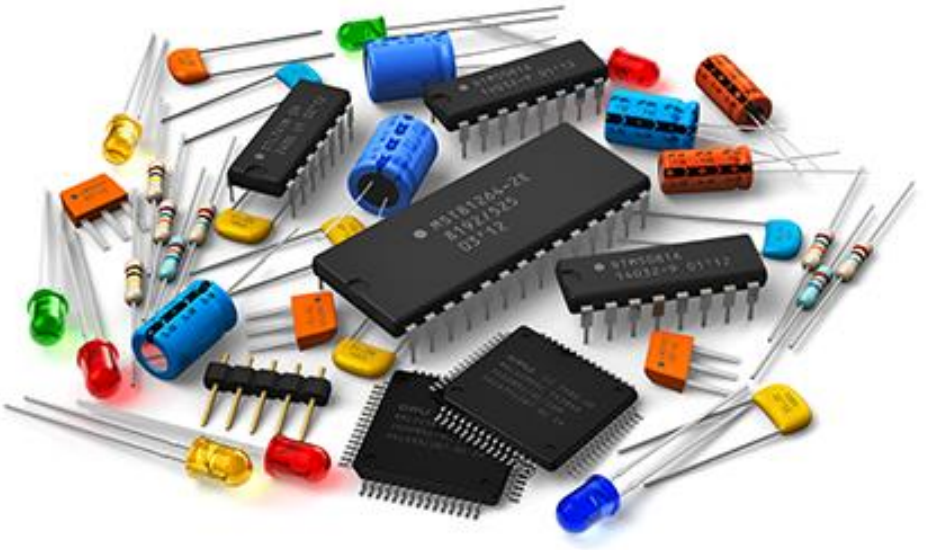
reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Fyzikální elektronika

KET/FYE



Optoelektronika – elektro-optické převodníky

Přednáška 12

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

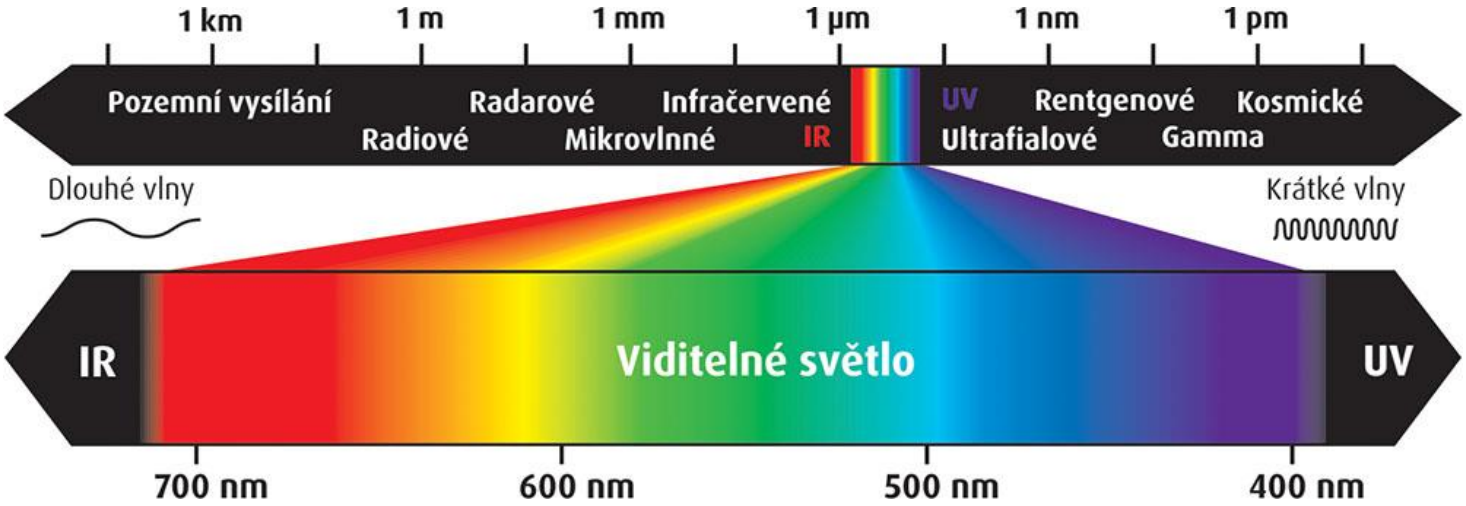
Co se v přednášce dozvíte?

- Dozvíte se, co je luminiscence.
- Zjistíte, jaký je fyzikální princip LED a na čem závisí jejich barva.
- Dozvíte se, jaký je rozdíl mezi LED a laserovou diodou.
- Dozvíte se o principu LCD.

Elektro-optický převodník

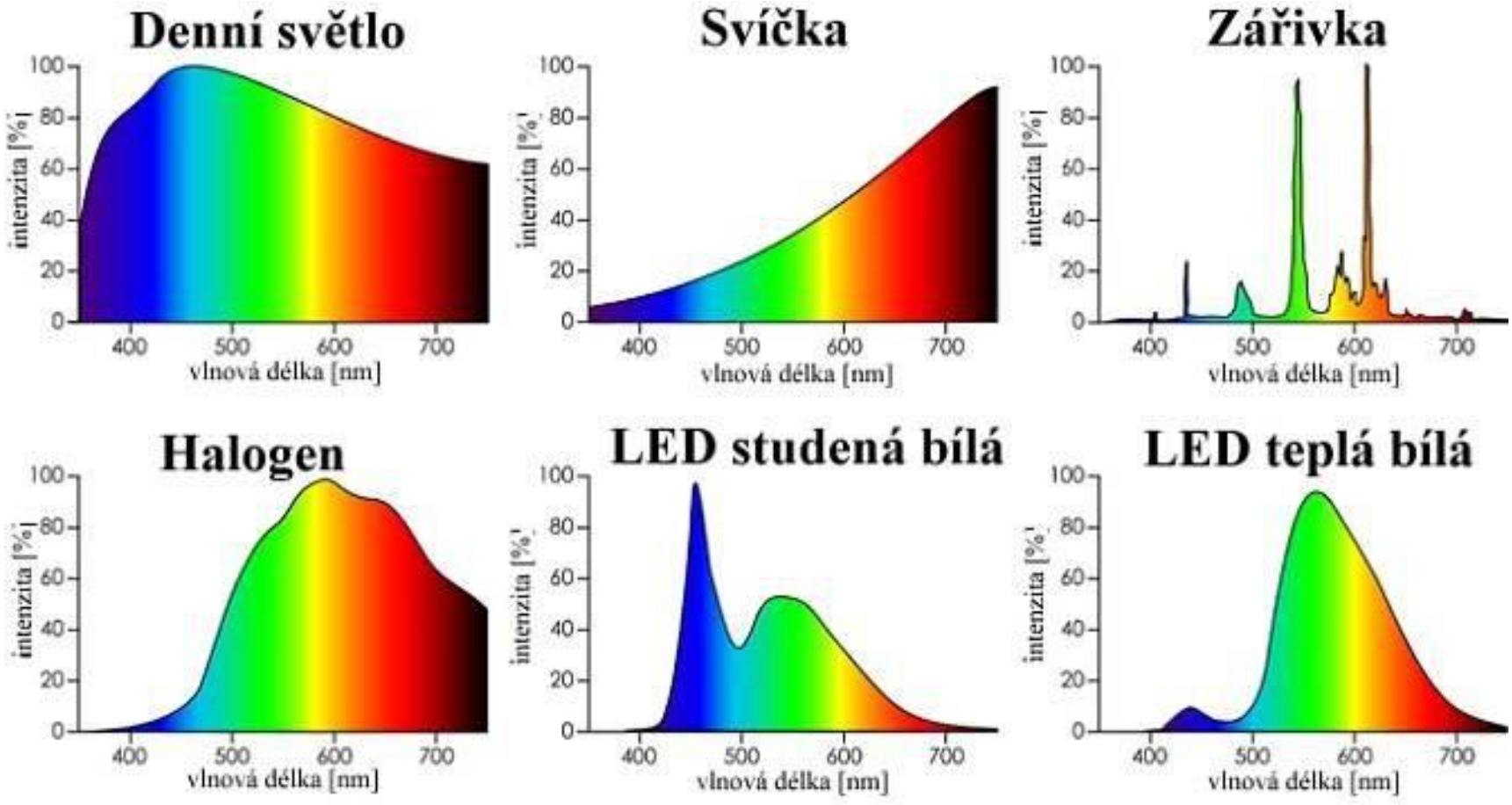
- **žárovka** - nejzákladnější elektro-optický převodník
  - **nevhodné pro optiku**
  - **široké spektrum vlnových délek**
- vhodnost pro elektro-optický převodník určena kvalitou Q

$$Q = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda}$$



Elektro-optický převodník

- **spektrum různých zdrojů světla**



Luminiscence

- efekt složený ze dvou částí
  - **čerpání** – elektrony přecházejí na vyšší hladinu po dodání energie
  - **rekombinace** – uvolnění energie
    - zářivá – vyzáření fotonů (1 elektron vyzáří 1 foton)
    - nezářivá – vznik tepla
- typy luminiscencí – závisí na principu přechodu elektronu na vyšší hladinu (typu dodané energie)
  - **fotoluminiscence**
  - **katodoluminiscence**
  - **elektroluminiscence (injekční luminiscence)**
  - **chemiluminiscence**
  - **termoluminiscence**
  - **radioluminoscence**
  - **tribonoluminiscence**

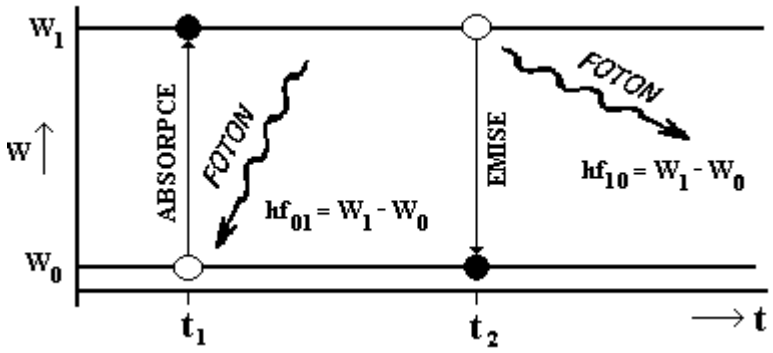
$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

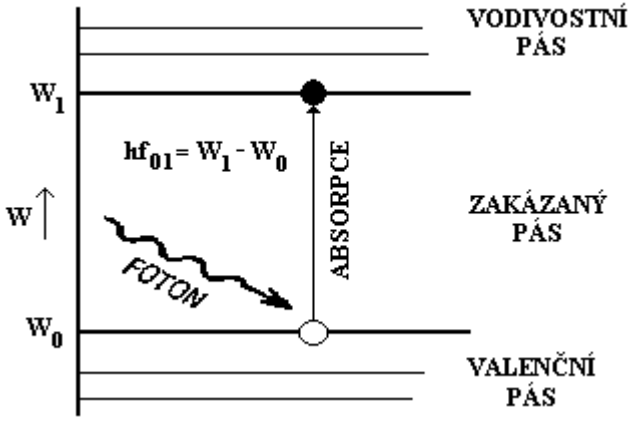
Fotoluminiscence

- **zářivá rekombinace nadbytečných (nerovnovážných) nosičů proudu** – zánik páru elektron-díra
- **získání nerovnovážných nosičů dopadem záření**
- čerpání – primární foton (dodání světelné energie)
- rekombinace – přímá, nepřímá (uvolnění světelné energie)

$$\Delta E_1 = \frac{hc}{\lambda_1}$$

$$\Delta E_2 = \frac{hc}{\lambda_2}$$

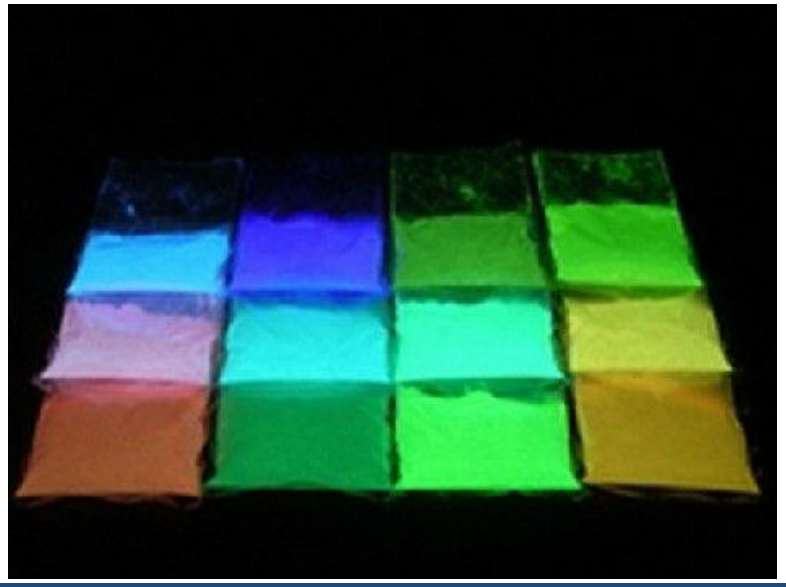


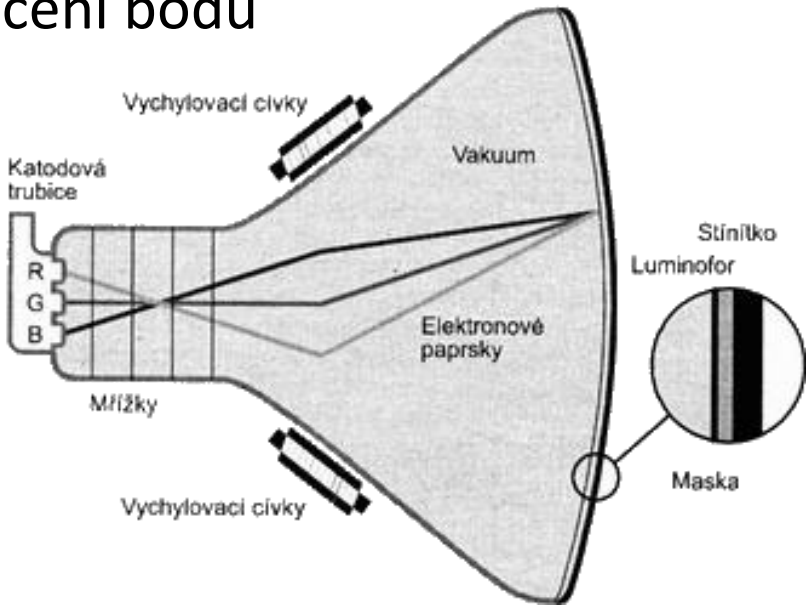


$$\Delta E_1 > \Delta E_2 \qquad \frac{hc}{\lambda_1} > \frac{hc}{\lambda_2} \qquad \lambda_2 > \lambda_1$$

Katodoluminiscence

- **získání nerovnovážných nosičů dopadem elektronů – vnitřní fotojev**
- základ CRT obrazovek
- urychlené elektrony – elektrickým polem eU
- katoda emituje elektrony, které jsou vychylovány do určené pozice na stínítku
- předání energie luminoforu – rozsvícení bodu





Injekční luminiscence

- **injekční proces – luminiscenční dioda**
  - **čerpání – dodání elektrické energie**
  - **rekombinace – uvolnění světelné energie**
- **barva záření řízena šířkou zakázaného pásu E_g**
- Si nemá zářivý přechod !!!
  - pouze fonony – energie ve formě tepla
- GaAs – vznik zářivého přechodu
- zářivý přechod – pro sloučeniny prvků III. A a V. B skupiny (GaAs, GaP, GaN)

$$\lambda = \frac{hc}{E_g}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E_c - E_r}$$

Injekční luminiscence

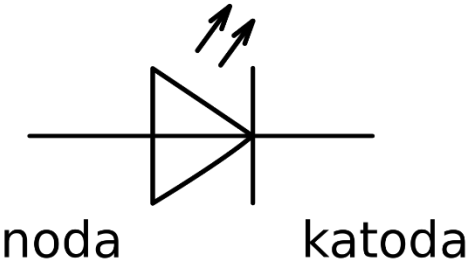
- kvadraturní skupiny – lze řídit barvu diody (různá šířka zakázaného pásu)

$$E_g = f(x, y) \qquad (Ga_x Al_{1-x})(P_y As_{1-y})$$

- **prahové napětí diod**
  - Si: U_P=0,7 V
  - GaAs (LED): U_P = 1,5 V (závisí na materiálu – barvě)
- barvu **nelze** řídit proudem
- **proudem lze řídit intenzitu záření**

Luminiscenční diody - LED

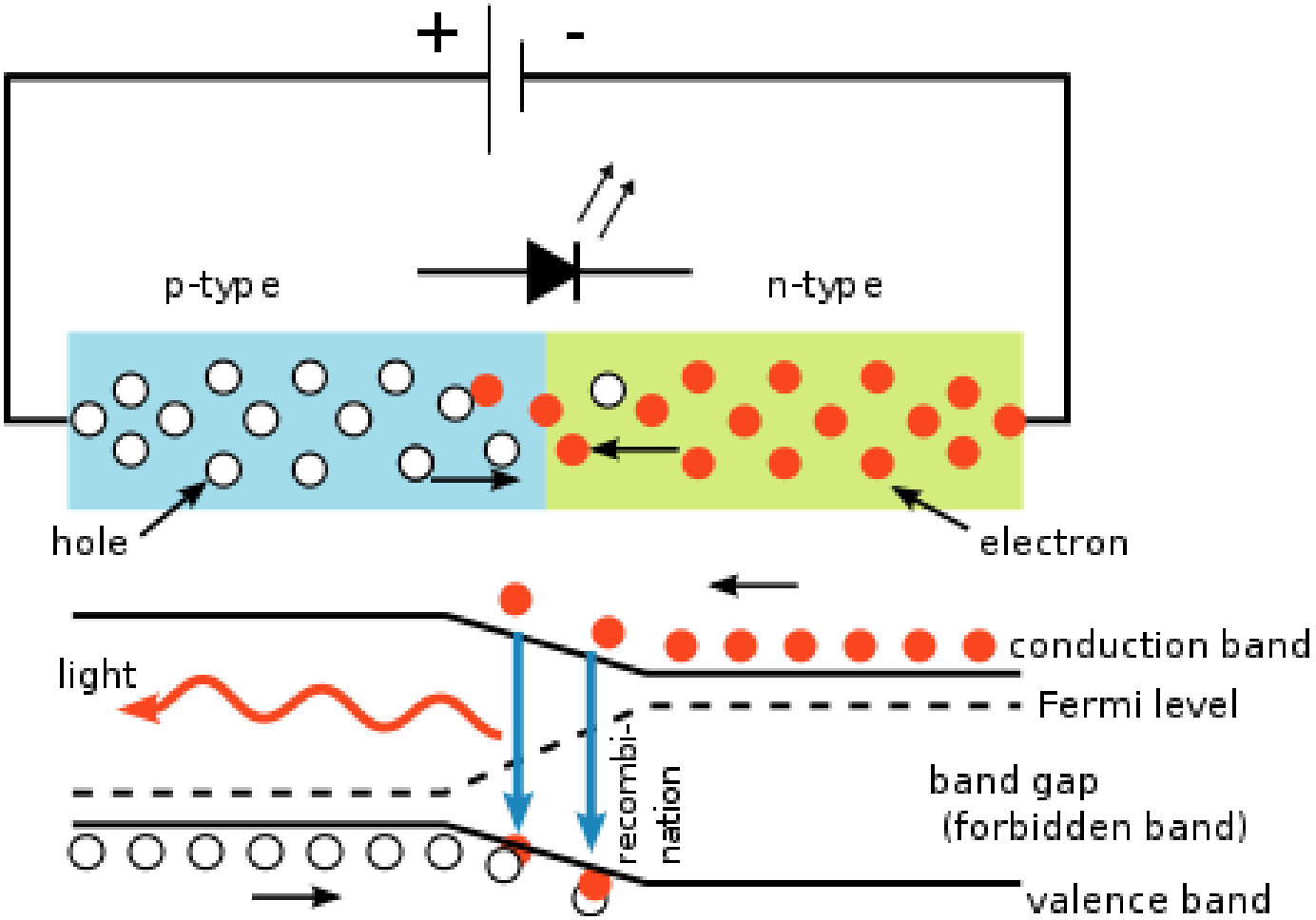
- polovodičová součástka s jedním PN přechodem
- **emise monochromatického nekoherentního záření**
  - **viditelné**
  - **infračervené**
  - **Ultrafialové**



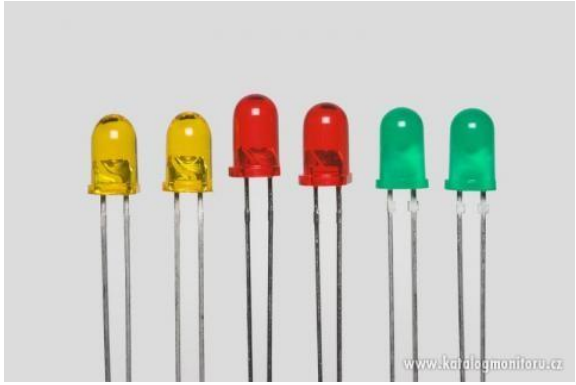
- způsob emise
  - čelní emise
  - emise z hrany

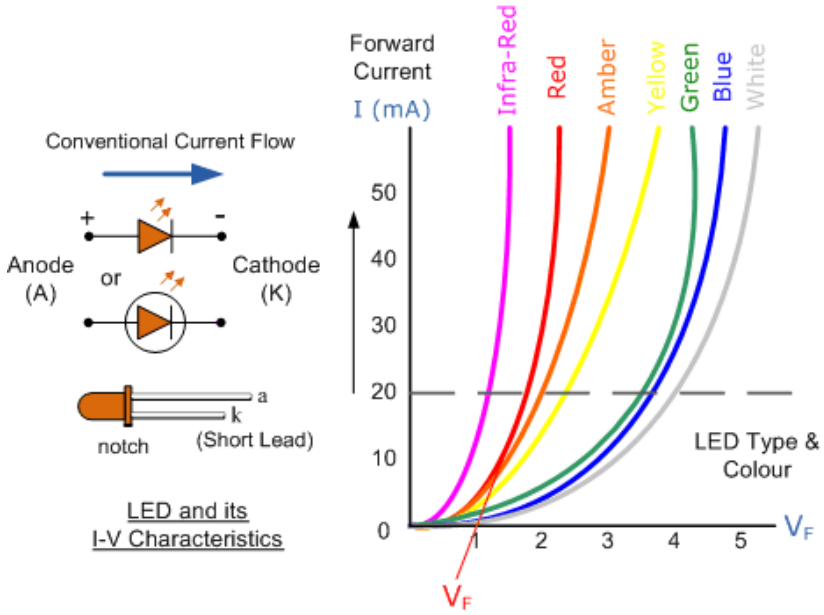
- modrá LED dioda - GaN → Eg = 3,5 eV
  - šířka zakázaného pásu je již v oblasti izolantů
  - problém s nalezením vhodného polovodičového materiálu

$$\lambda_{blue} = 0{,}38\,\mu m \Rightarrow E_g = \frac{hc}{\lambda} = 3{,}5\ eV$$


+
-
p-type
n-type
hole
electron
light
conduction band
Fermi level
band gap
(forbidden band)
valence band
recombi-
nation

- **široká oblast použití**
  - display
  - kontrolky
  - optická sdělovací vlákna – infračervené záření
  - svítidla
  - světla pro automotivní techniku





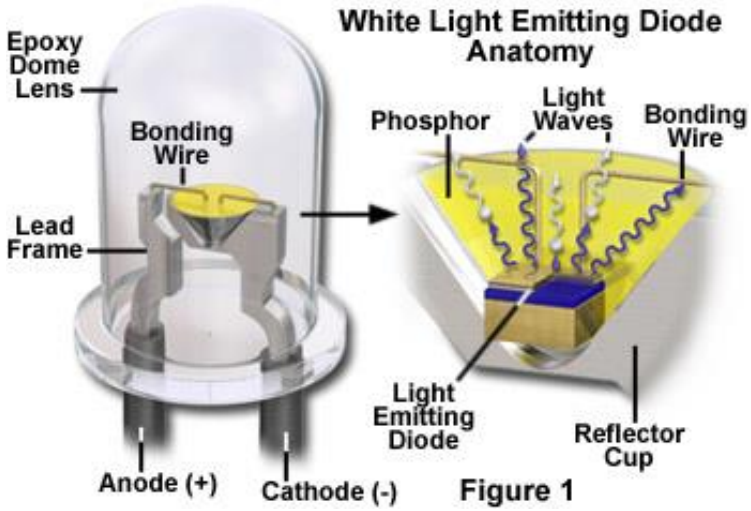
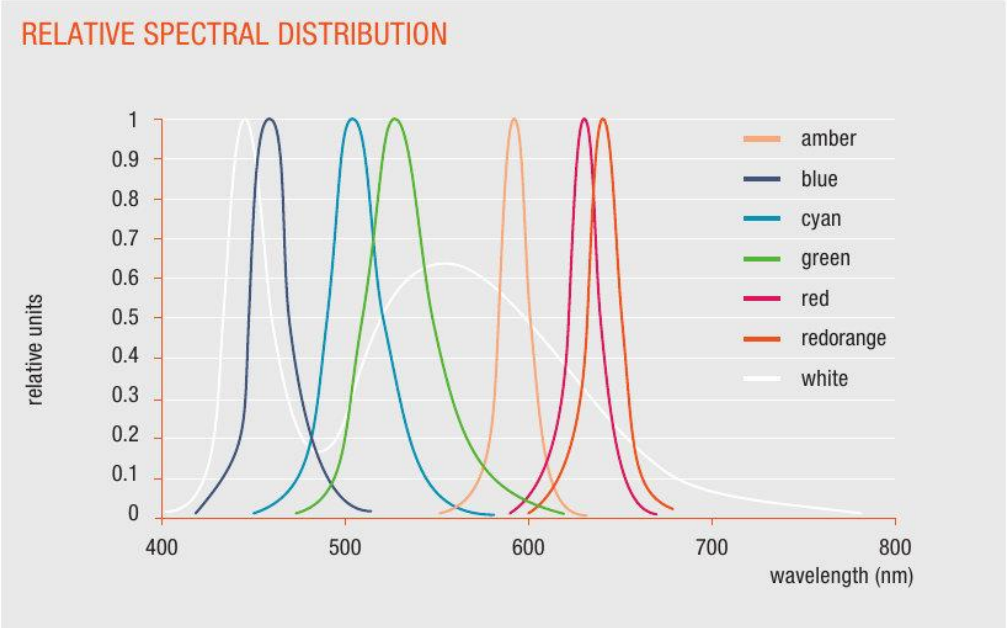


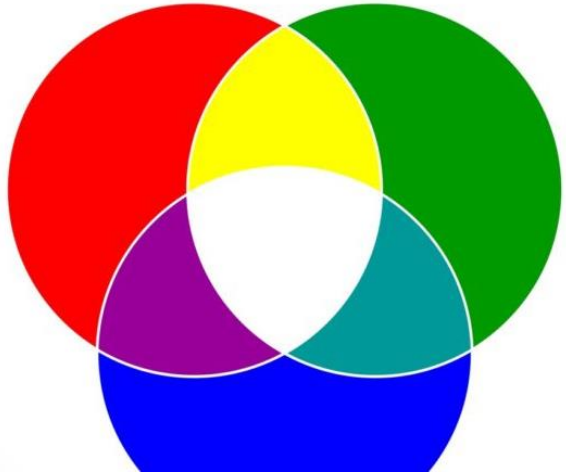
Figure 1

- injekční proces - diody polarizovány v propustném směru

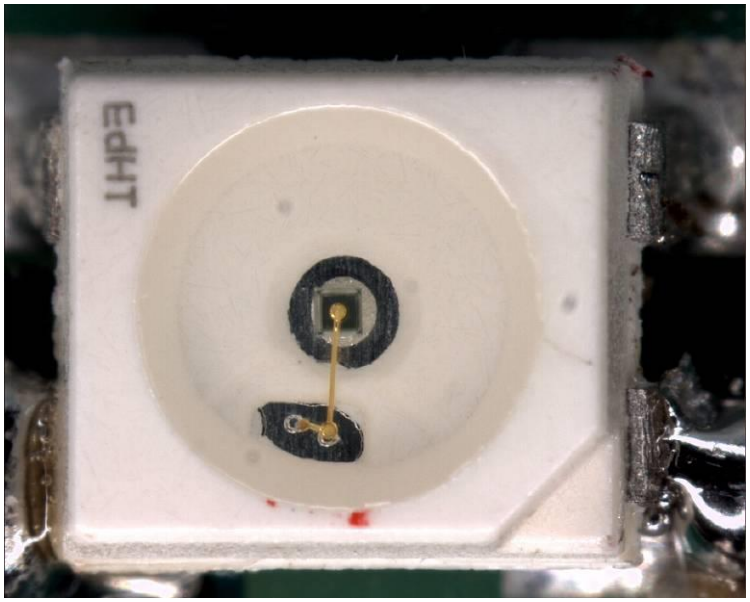
- bílá LED
  - kombinace RGB (Red, Green, Blue)
  - modrá LED – kryt LED pokryt fosforovým luminoforem

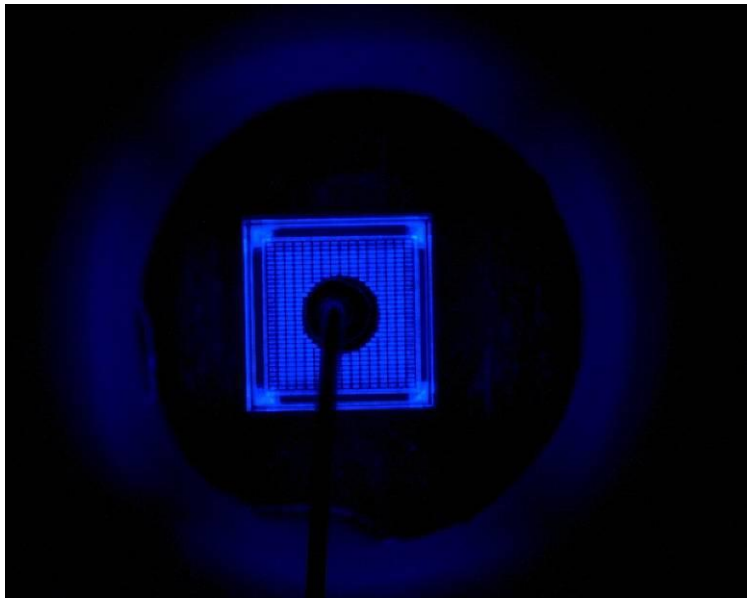


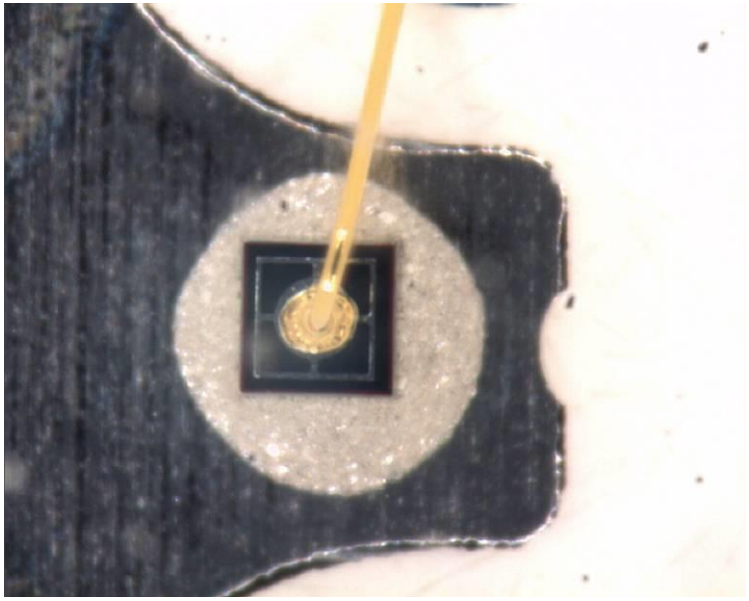


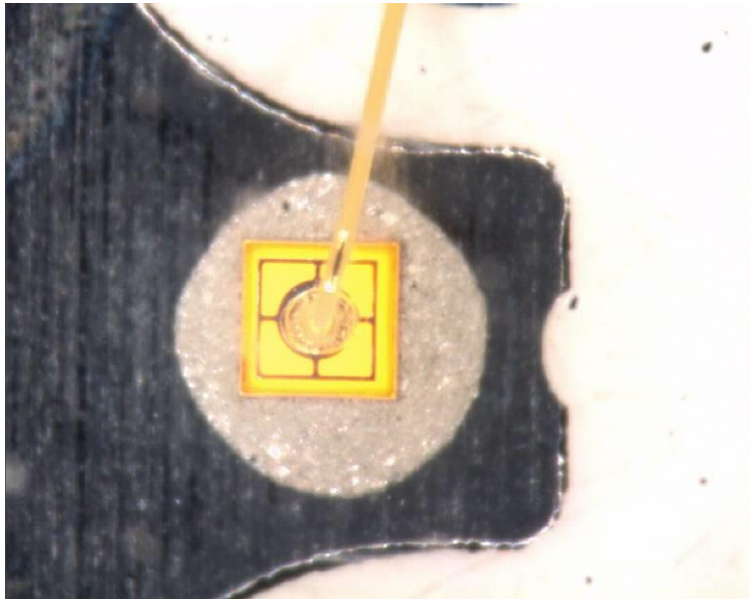


Princip činnosti:
https://www.youtube.com/watch?v=BH9LI973H8w


EpHT







Laserové diody

- **laser = Light Amplifier by Stimulated Emission of Radiation**
  - **zesilovač světla pomocí řízené emise**

- **monochromatické koherentní světlo**
  - prostorově a časově soufázové záření

- laser objeven 1954 – Towsend, Basov, Prochorov
- laser v oblasti plynů - na bázi CO_2, Ar, He-Ne
- laser v oblasti pevných látek – 1957 - 1960

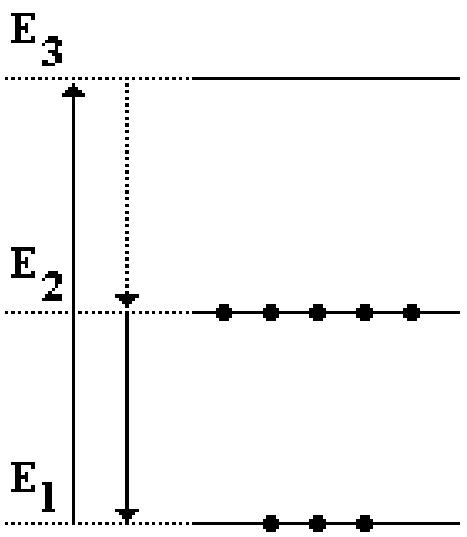




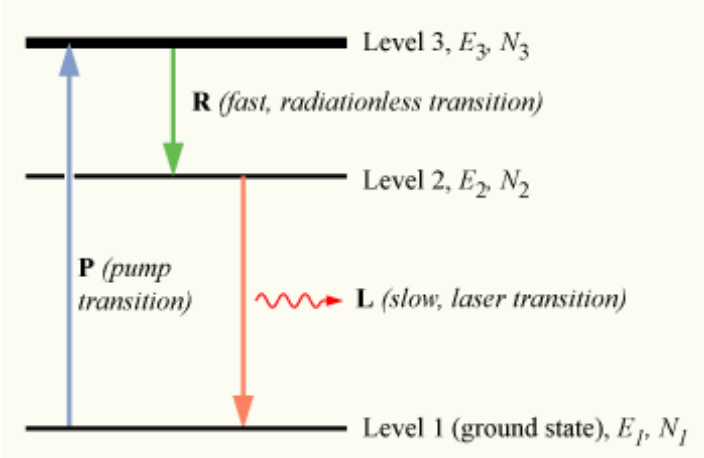
- **stimulovaná emise mezi dvěma (třemi) energetickými hladinami**
  - plyn – hladiny dány energetickými poměry v ionizované molekule (atomu)
  - pevná látka – hladiny dány v pásu zakázaných energií

- **soustava, kde elektrony se mohou vyskytovat na třech energetických hladinách**
  - E_1 – valenční pás
  - E_2 – pás v zakázaném pásmu (rekombinační centrum) – energetická hladina příměsí
  - E_3 – vodivostní pás

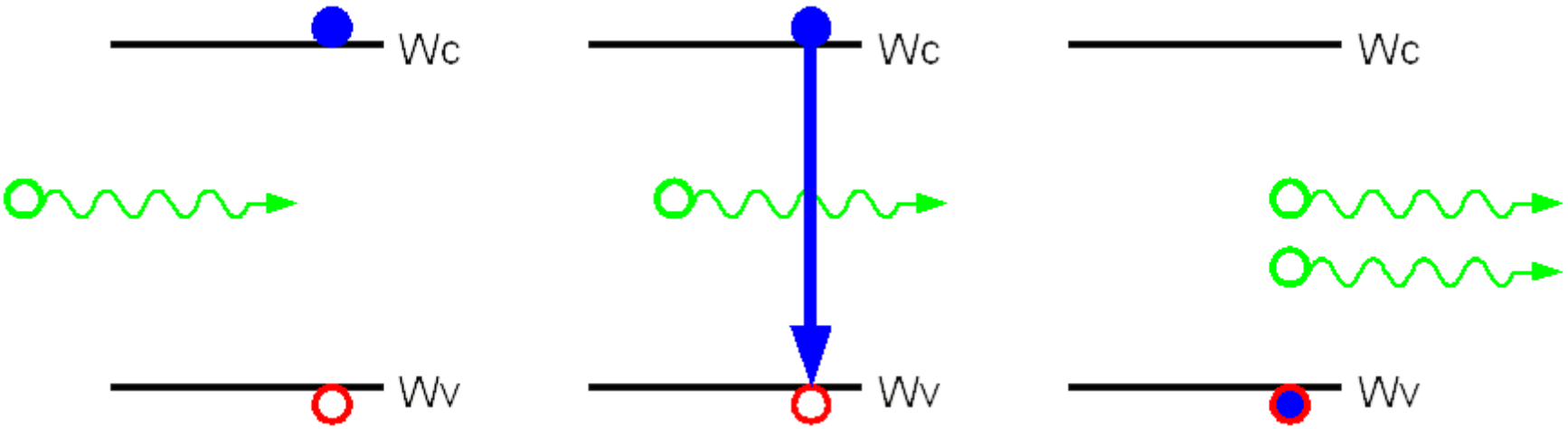
- **nevybuzený stav** – všechny elektrony na hladině E_1
- **dodání energie** – přechod na hladinu E_3
- **přechod zpět z E_3 na E_1 – 2 způsoby**
  - přímý přechod
  - přechod přes hladinu E_2

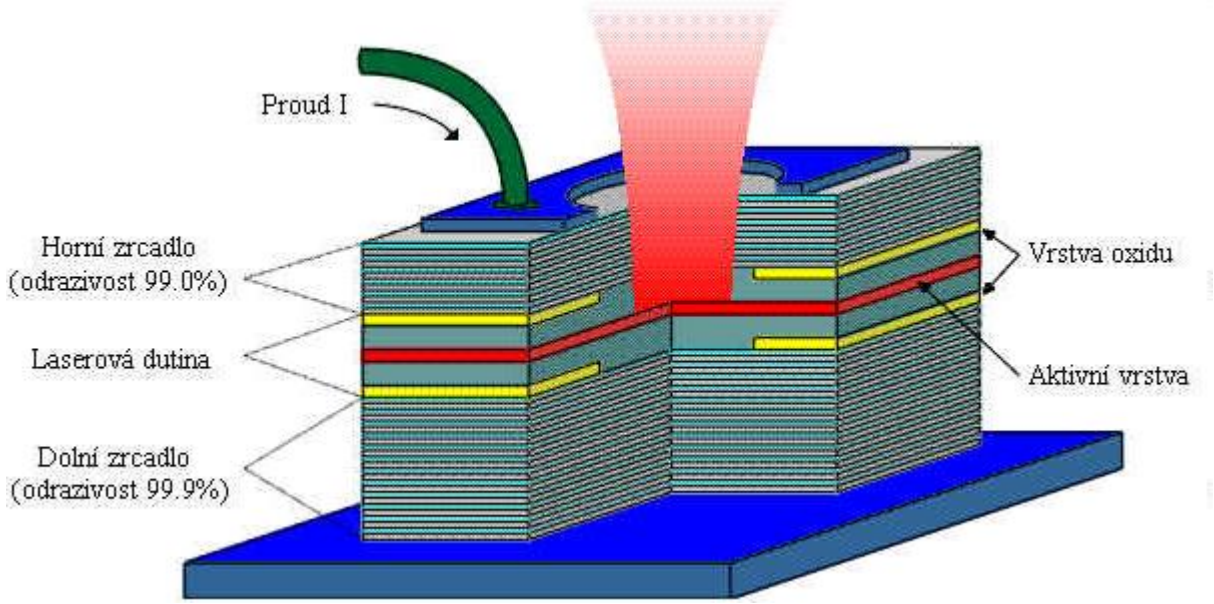


- **elektrony na E_2 setrvávají a ve vhodný okamžik přechází zpět na E_1**
- počet přecházejících elektronů z E_2 na E_1 menší než počet elektronů z E_1 na E_3 → hromadění elektronů na E_2 → vznik stimulované (řízené) emise



$$E > E_3 - E_1 \qquad E_{Fc} - E_{Fv} > \frac{hc}{\lambda}$$

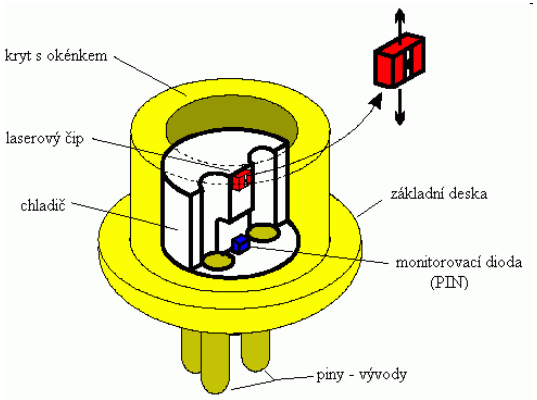

Wc
Wv
Wc
Wv
Wc
Wv


Proud I
Horní zrcadlo
(odrazivost 99.0%)
Laserová dutina
Dolní zrcadlo
(odrazivost 99.9%)
Vrstva oxidu
Aktivní vrstva

- pásové energetické schéma podobné tunelové diodě
- přechod polarizován v propustném směru

- základní funkce
  - zesilovač světla
  - zdroj světla – nutná kladná zpětná vazba realizována zrcadly

- používané materiály
  - polovodiče III. A a V. B skupiny (GaAs, InAs)
    - viditelná oblast
    - blízká infračervená oblast
  - polovodiče II. A a VI. B skupiny (PbS, PbSe)
    - vzdálená infračervená oblast



Princip činnosti:
https://www.youtube.com/watch?v=NpePZjTXqRw

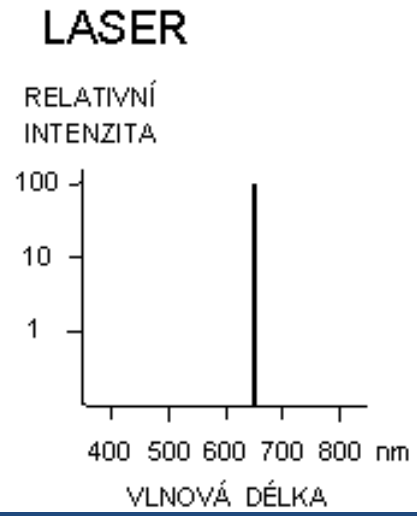
Laserová dioda

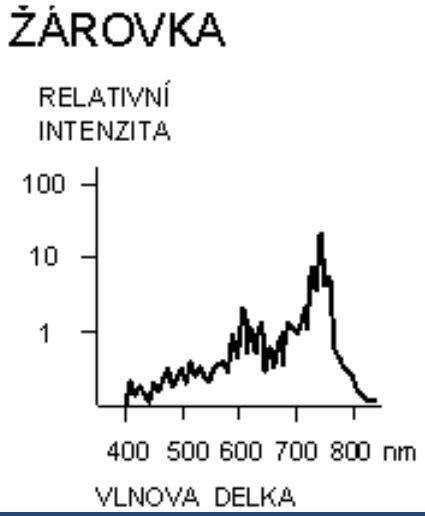
- koherentní záření
- paprsek s velmi úzkou světelnou stopou
- monochromatické světlo

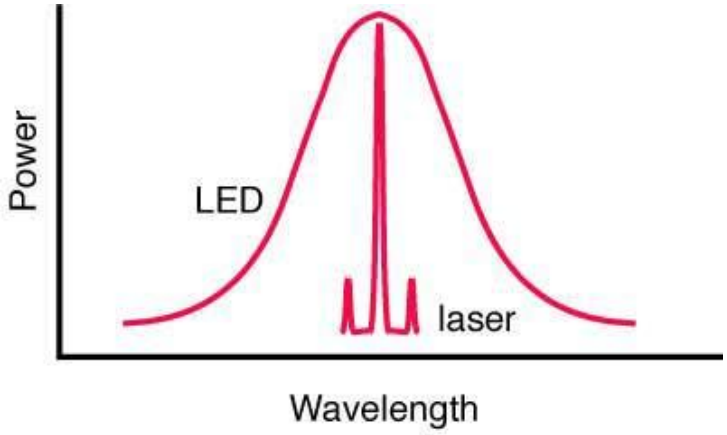
LED

- nekoherentní záření
- paprsek s širokou světelnou stopou
- monochromatické světlo

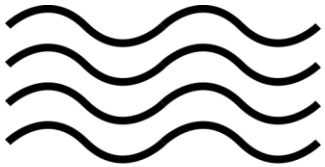
$$\Delta\lambda_{laser} < \Delta\lambda_{LED}$$

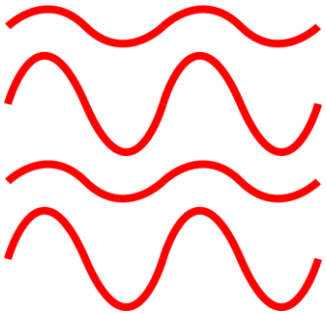


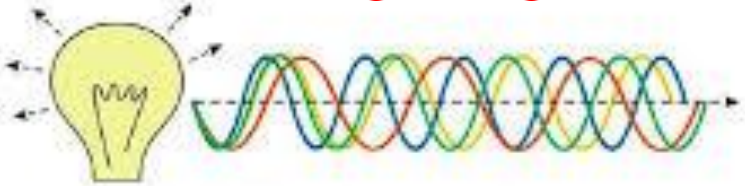




Koherentní x Nekoherentní záření



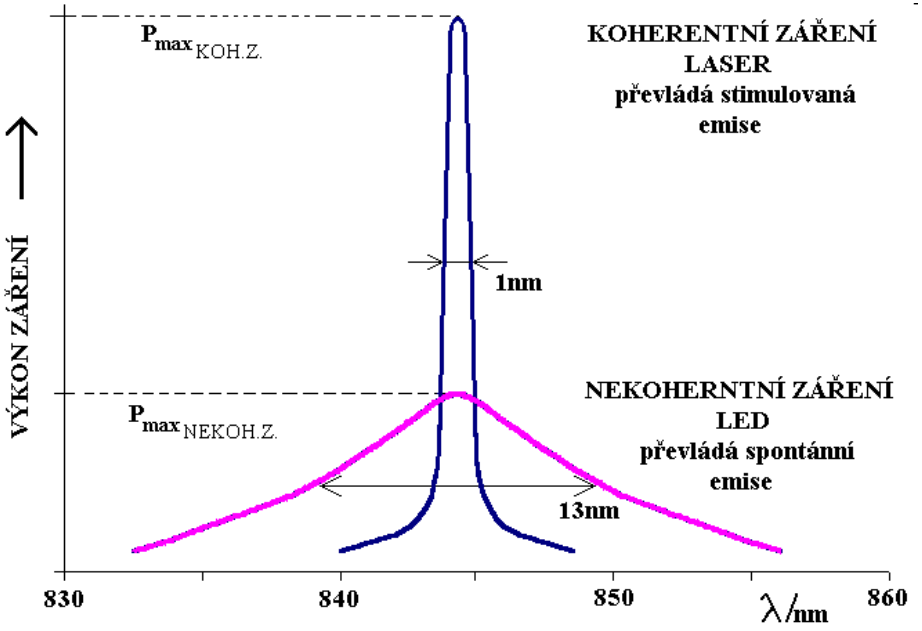




bílé světlo žárovky i slunce obsahuje všechny barvy (vlnové délky)



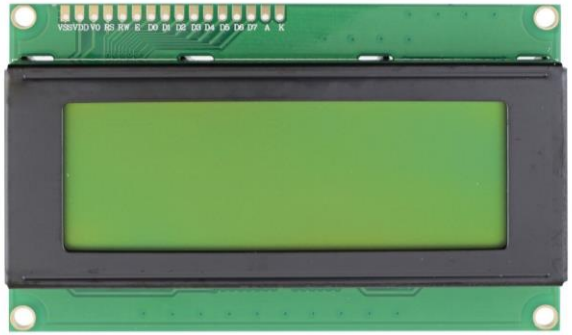
světlo laseru je monochromatické (jednobarevné) a koherentní (má stejnou fázi)



LCD (Liquid Crystal Display)

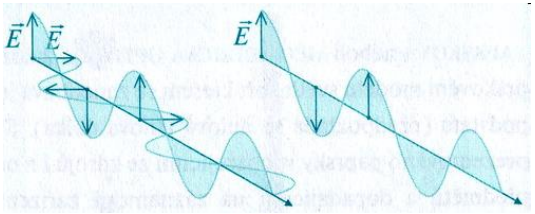
Kapalné krystaly

- **ve skutečnosti nejsou kapalné**
- organické látky – podobné složení jako mýdlo (jsou polární)
- **jehličkovitý tvar krystalu** – velice polární
  - **vlivem napětí mění molekulární strukturu**
  - **určují množství procházejícího polarizovaného světla**
- LCD - nejedná se přímo o převodník



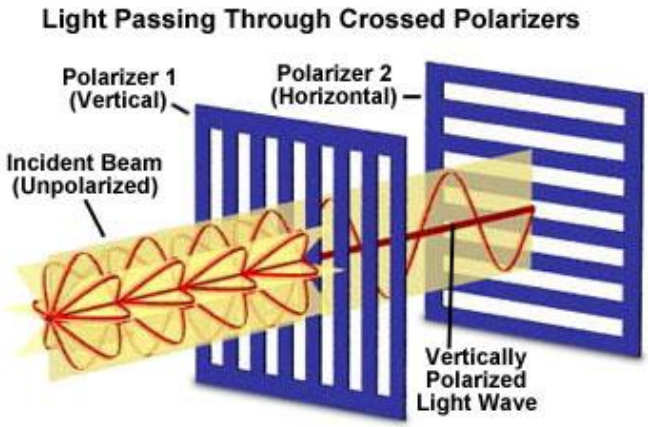


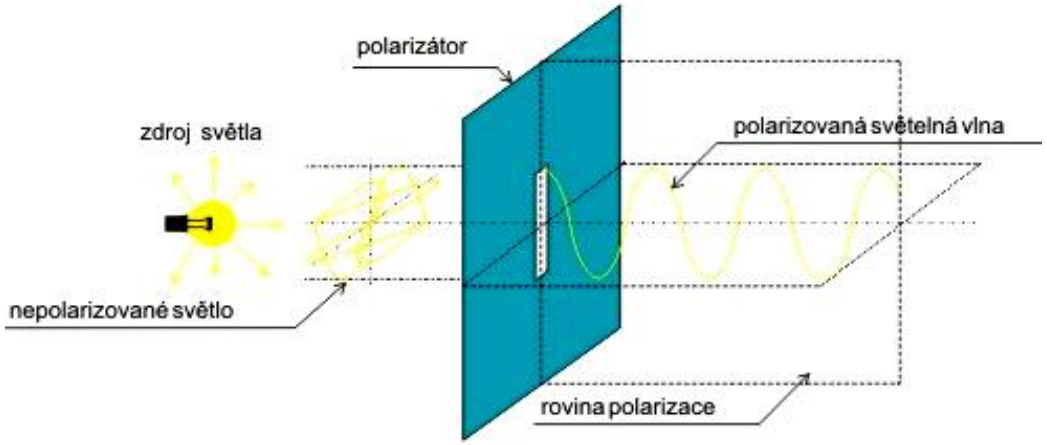
Polarizace světla



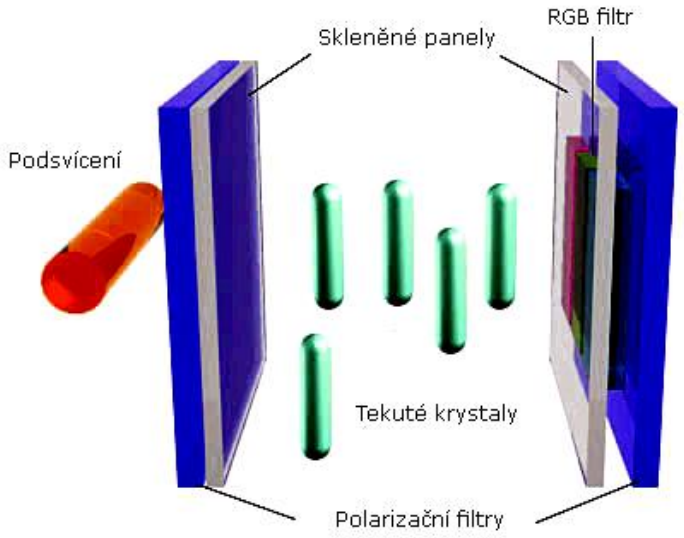
- **světlo – příčné elektromagnetické záření**
  - **nepolarizované světlo**
    - vektory E a H jsou různě posunuté, ale vždy kolmé
    - E není definované – mění svůj směr, vždy kolmé na směr šíření
  - **polarizované světlo**
    - E je přesně definováno – kolmé na směr šíření
    - polarizátory
- Pointingův vektor - hustota výkonu

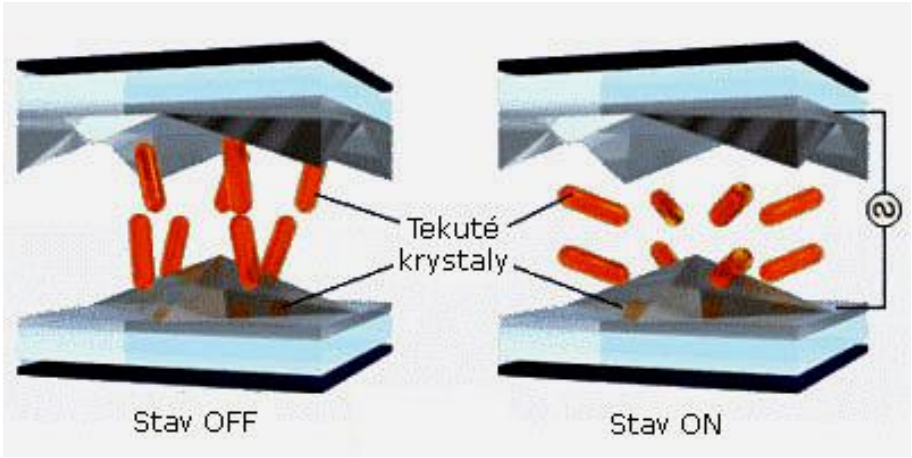
$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H} \qquad \left[\frac{W}{m^2} = \frac{V}{m} \cdot \frac{A}{m} \right]$$



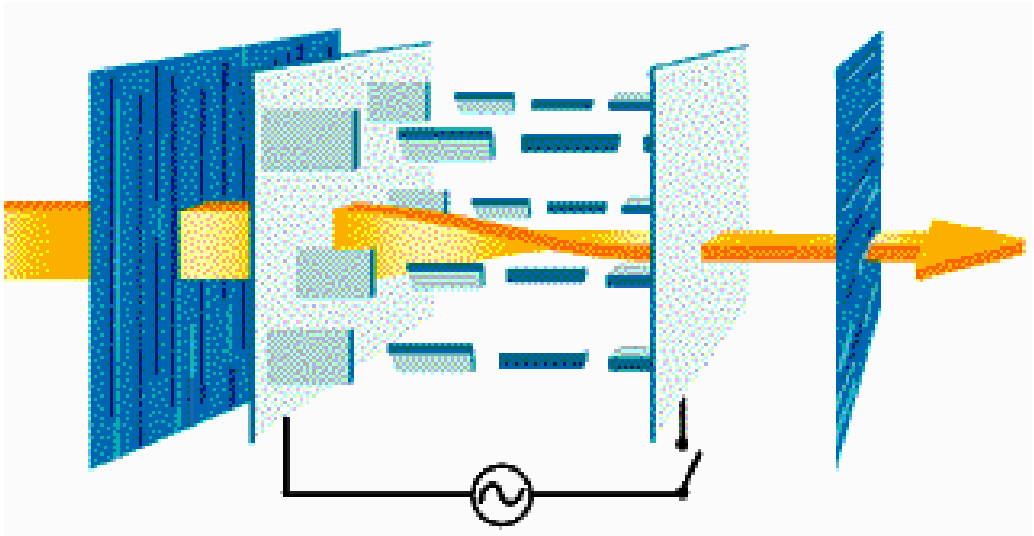


- **princip LCD založen na elektromagnetických vlastnostech tekutých krystalů**
- každý obrazový bod ohraničen dvěma polarizačními filtry + barevným filtrem (RGB)
- **aktivní LCD** – podsvícení (zdroj světla)
- **svítící bod = pixel**
- problém s pozorovacím úhlem (160°)

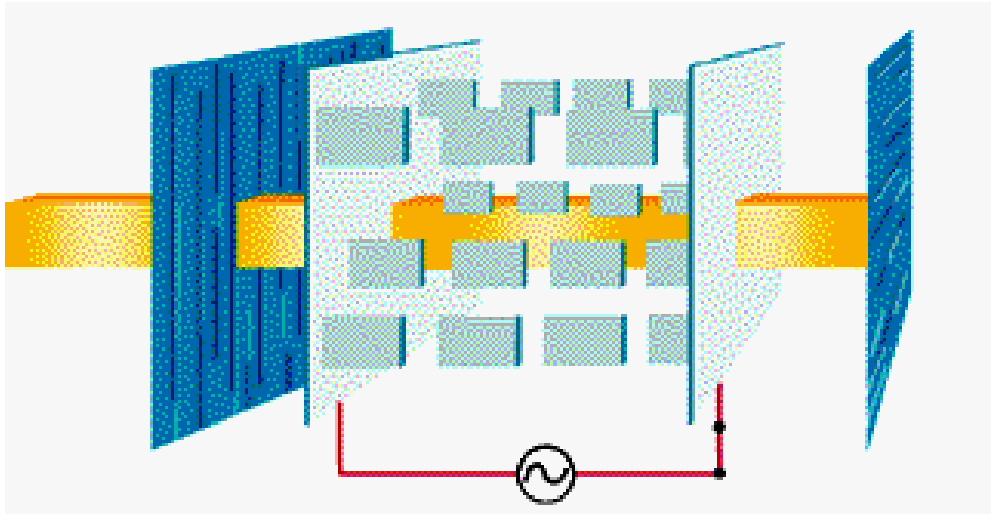




- **krystaly bez elektrického napětí**
  - změna polarizační roviny vlivem krystalů – světlo prochází skrz polarizační filtry
  - skrz display prochází plný jas podsvětlujících lamp – bílá barva

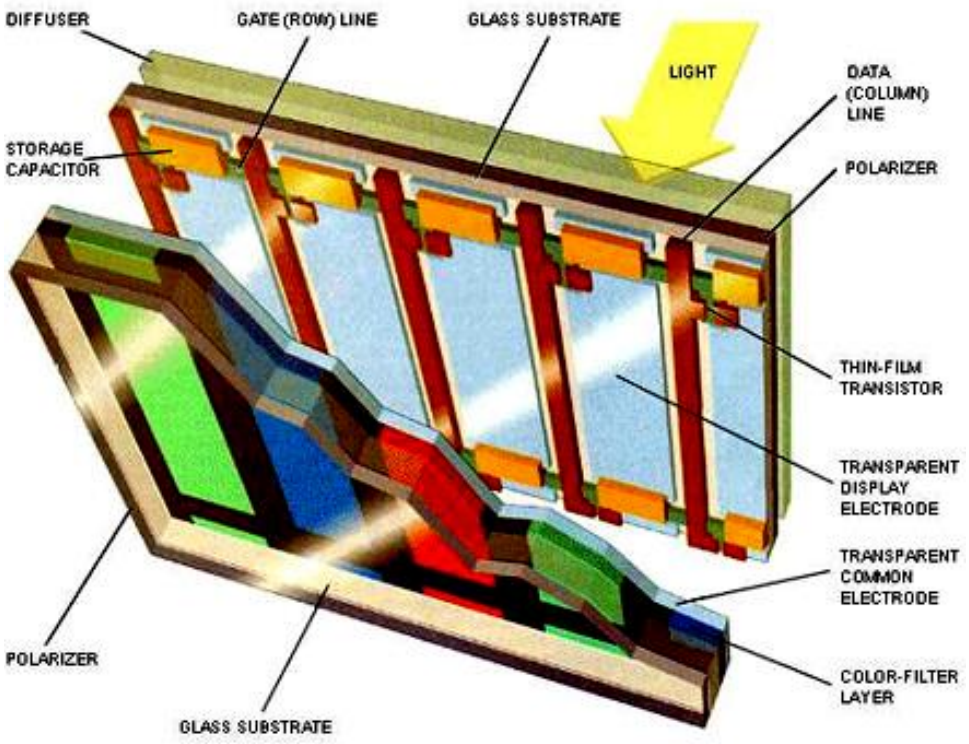


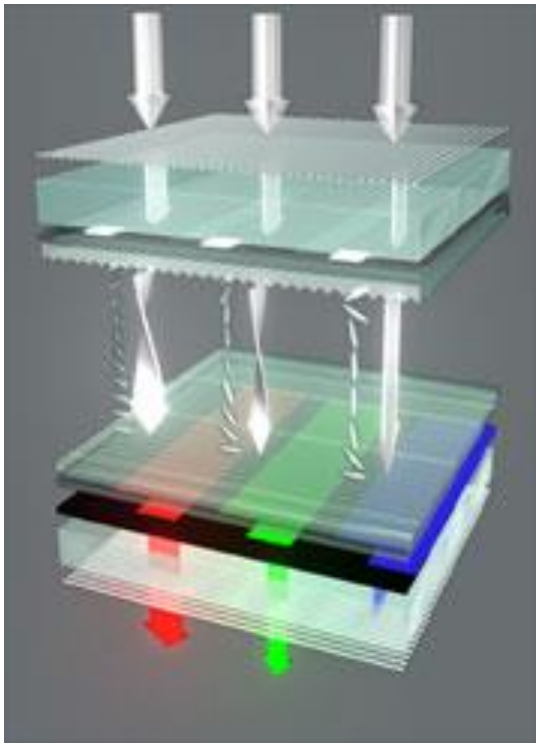
- **krystaly pod elektrickým napětím**
  - světlo neprochází druhým polarizačním filtrem – nedošlo ke změně polarizační roviny
  - výsledkem je černá barva – bod nesvítí



- **regulace jasu velikostí napětí** - řízené tranzistory (TFT)

- **barevný LCD – každý pixel složen z tří subpixelů (RGB)**
  - napětím řízené natočení krystalů – ovlivnění jasové složky jednotlivých subpixelů – vznik milionů odstínů





- **rozlišení LCD**
  - počet pixelů v řádku a ve sloupci
  - např. 1600x1200 – 1600 pixelů vedle sebe, tj. 4800 subpixelů

- **velikost pixelů**
  - 0,12 - 0,29 mm
  - ovlivňuje velikost úhlopříčky

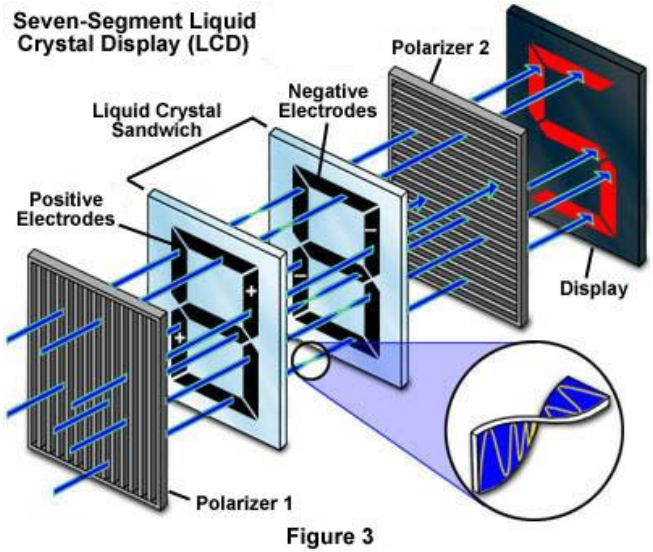
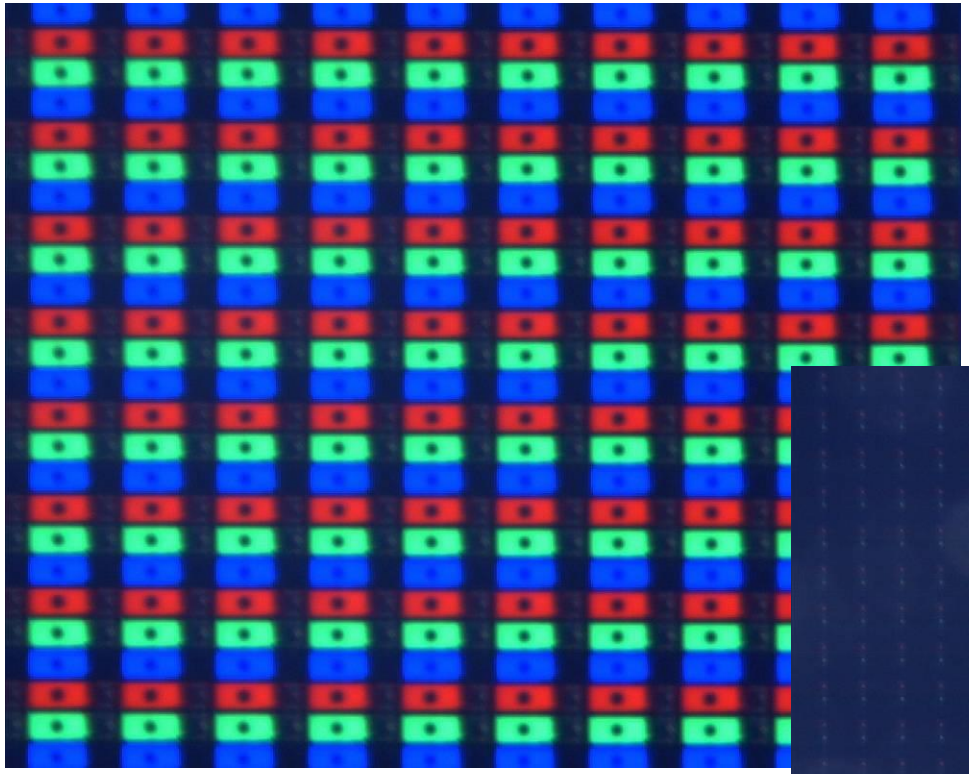
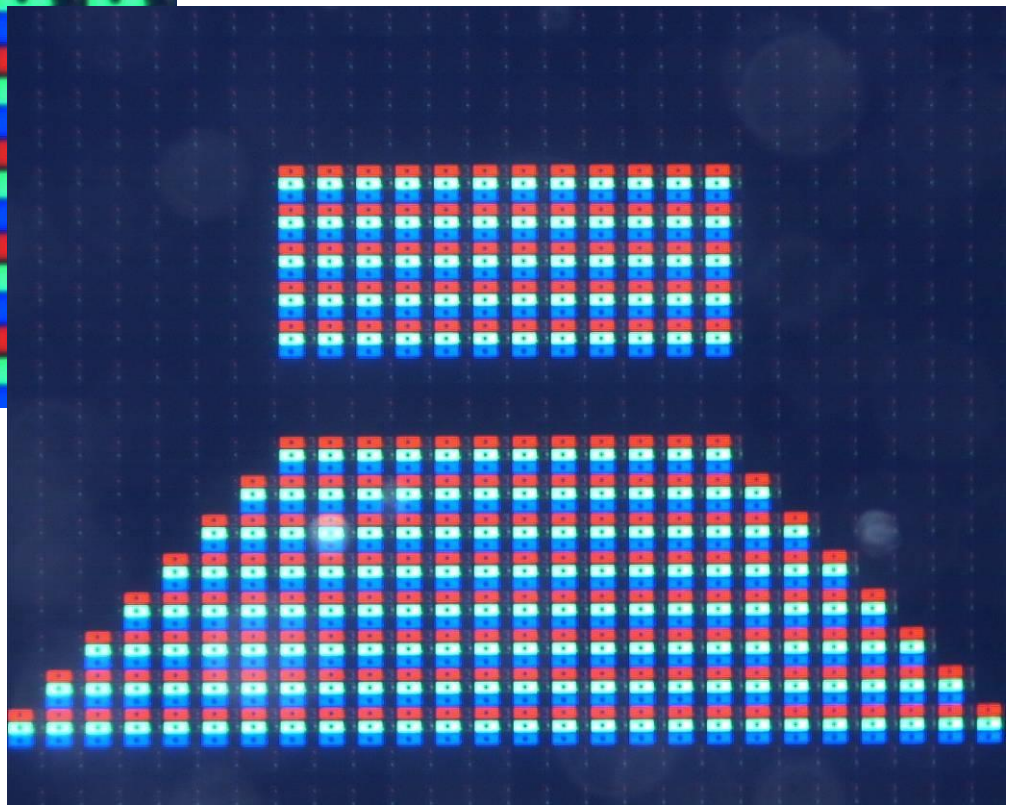


Figure 3

- **podsvícení**
  - výrazně ovlivňuje spotřebu
  - katodové trubice – velká spotřeba
  - LED diody (LED LCD) – lze regulovat intenzitu

- **OLED – jiný princip**
  - Jednotlivé pixely tvořeny organickými LED diodami





Princip činnosti:
https://www.youtube.com/watch?v=0B79dGR19Tg

Kontrolní otázky

- Co je to luminiscence?
- Vysvětlete princip LED diody.
- Na čem závisí barva LED diody?
- Jak se realizují bílé LED?
- Vysvětlete princip laserové diody.
- Jaký je rozdíl mezi koherentním a nekoherentním zářením?
- Co je polarizace světla?
- Vysvětlete princip LCD.



Použitá literatura

- Musil, V.: **Elektronické součástky.** VUT Brno, 2005, ISBN 80-214-2627-6
- Vaníček, F.: **Elektronické součástky: principy, vlastnosti, modely.** ČVUT Praha, 2004, ISBN 80-01-03112-8
- Jerhot, J.: **Elektronické součástky a zesilovače.** VŠSE Plzeň, 1979
- FOIT, J.; HUDEC, L.: **Základy elektroniky.** ČVUT v Praze, 2009, ISBN 978-80-01-04236-6
- Vobecký, J.; Záhlava, V.: **Elektronika : součástky a obvody, principy a příklady.** Grada Publishing, 2005, ISBN 80-247-1241-5
- Sze, S.M.; Kwok, K.Ng.: **Physics of semiconductor devices.** Wiley-Interscience, 2007, ISBN 978-0-471-14323-9
- Kasap, S.O.: **Principles of electronic materials and devices.** McGraw-Hill, 2006, ISBN 0-07-124458-1
- Schroder, D.K.: **Semiconductor material and device characterization.** John Wiley & Sons, 2006, ISBN 0-471-73906-5