

## Optoelektronické součástky – Fotorezistor, Laserová dioda

### Úvod

Optoelektronické součástky jsou založeny na interakci optického záření s elektricky nabitými částicemi v polovodičích. Vztah mezi energií fotonů a vlnovou délkou elmag. záření udává Planckův zákon

$$W = hf = \frac{hc}{\lambda} \text{ [J]},$$

$$W = \frac{hc}{\lambda e} \text{ [eV]},$$

kde  $W$  je energie fotonu,  $\lambda$  je vlnová délka,  $h$  je Planckova konstanta,  $f$  je frekvence záření,  $e$  je elementární náboj elektronu a  $c$  je rychlost světla.

Existují tři základní interakce.

- 1) **Absorpce:** platí-li  $hf \geq W_g$ , kde  $W_g$  je šířka zakázaného pásu, foton je absorbován a dojde k excitaci elektronu přes zakázaný pás. Generují se volné nosiče náboje. Pokud neplatí podmínka, nedochází k absorpci a materiál se chová jako transparentní. Tento jev se nazývá **vnitřní fotoelektrický jev**.
- 2) **Spontánní emise:** při tomto jevu přechází excitované elektrony z vodivostního pásu samovolně do valenčního pásu a vyzáří foton o energii  $hf = W_g$ . Energie vyzářených fotonů (vlnová délka) je tedy dána šířkou zakázaného pásu. (Tuto energii lze měnit i vytvořením přechodových hladin uvnitř zakázaného pásu, přes které pak rekombinace probíhá.) Část rekombinační energie se také přemění v teplo. To je však nežádoucí. Spontánní emise se využívá v **LED**.
- 3) **Stimulovaná emise:** k přechodu elektronů z vodivostního pásu do valenčního pásu dochází vlivem dopadu vnějšího (stimulujícího) fotonu, který musí mít stejnou energii, fázi a polarizaci, jako foton vyzářený. Tak dohází ke vzniku **koherentního záření**. Tohoto jevu využívá **LASER**.

### Detektory optického záření

Lze rozdělit na tři základní skupiny.

- 1) **Fotovodivostní:** dopadající záření generuje v polovodiči volné nosiče náboje a ty zvyšují vodivost. (**vnitřní fotoelektrický jev**) – **Fotorezistor**
- 2) **Fotovoltaické:** dopadající záření vytváří napětí na PN přechodu. – **Fotodioda**
- 3) **Fotoemisní:** dopadající záření způsobuje emisi elektronů do volného prostoru (**vnější fotoelektrický jev**) – **Fotonásobič**.

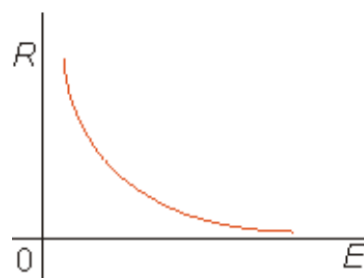
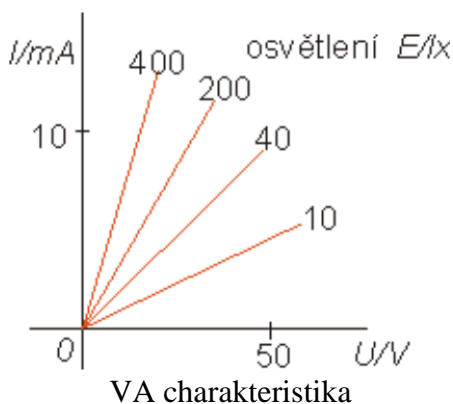
Pozn.: Existují samozřejmě i další detektory, např.: pixelové CCD, CMOS, ... To sem ale nepatří.

### Fotorezistor

Pracuje na principu vnitřního fotoelektrického jevu – nelineární. Je poměrně pomalý (závisí na osvětlení). Snižuje svůj odpor s rostoucím ozářením. Základem fotoodporu je monokrystal polovodiče, polykrystalická tenká vrstva nanosená na nosné destičce nebo spékané tyčinky či destičky, které jsou opatřeny dvěma kontakty a uloženy v hermetickém pouzdrů zaručujícím přístup záření. Spektrální oblast, v níž pracují, je dána absorpční hranou (maximální vlnová délka, při níž může ještě dojít k absorpci). Z materiálů se užívá například CdS.



Foto



**Aplikace:** expozimetr, luxmetr, pomalé měření (automatické zapínání osvětlení, indikace soumraku ...).

## Lasery

Slovo laser je zkratkou slov Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

### Podmínky pro stimulovanou emisi

Existence aktivního prostředí s dostatečně velkým zesílením fotonů mechanismem stimulované emise. Podle toho, jakým skupenstvím je toto prostředí tvořeno, nese laser název: plynový laser (argonové, helium-neonové, CO<sub>2</sub>...), kapalinový laser (speciální anorganická barviva, odtud název barvivové lasery), pevnolátkové lasery (rubínové, neodymové; zvláštní skupinou jsou polovodičové lasery).

Existence kladné zpětné vazby, která je nutná, aby generace fotonů po určité době neustala. Kladná zpětná vazba se realizuje dvěma planparalelními zrcadly (tvoří rezonátor).

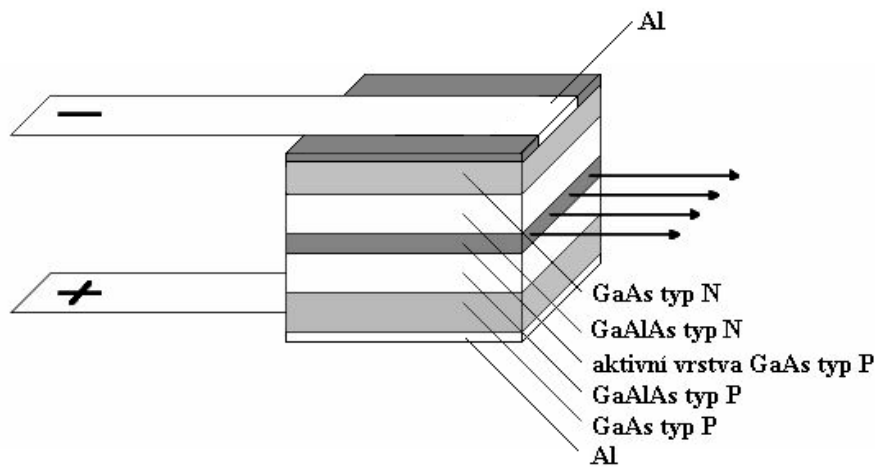
Aby v aktivním prostředí převládla stimulovaná emise nad ostatním protipůsobícími jevy (např. absorpci) a došlo k ustálené generaci fotonů, musí být na vyšších energetických hladinách více částic než na nižších. Tohoto stavu, který se obvykle nazývá **inverzní obsazení hladin**, lze docílit buzením aktivního prostředí ozářením, elektrickým výbojem, chemickou reakcí, popřípadě injekcí nosičů v PN přechodu. Inverzním obsazením se přitom rozumí obsazení inverzní vůči rovnovážnému stavu (nedochází-li k buzení, nižší energetické hladiny jsou obsazeny více než vyšší [Maxwell-Boltzmannův zákon]).

### Polovodičový laser

Využívají pro buzení injekce minoritních nosičů náboje v PN přechodu. Odtud plyne jejich častý název injekční laser.

### Hranový laser - EEL (Edge Emitting Laser)

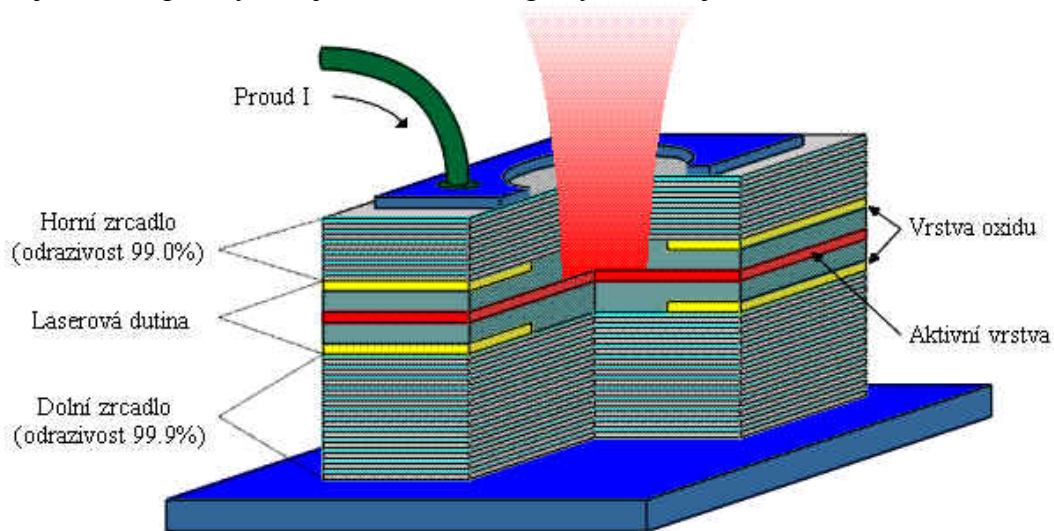
Aktivní prostředí polovodičového laseru tvoří vrstva GaAs. Nad a pod touto vrstvou jsou vrstvy GaAlAs, které vytváří heterostrukury (rozhraní s různou šířkou zakázaného pásu). Toto rozhraní brání vertikálnímu pohybu injektovaných nosičů, které pak rekombinují v aktivní oblasti. Na rozhraní se také skokově mění index lomu a struktura tak vytváří planární vlnovod. V horizontálním směru je aktivní oblast omezena tenkým páskem anody. Zrcadla jsou vytvořena zlomem čipu podél krystalografické osy. Laser tedy svítí na obě strany. Při výstupu světla z laseru nastává ohyb světla, který se kompenzuje čočkou.



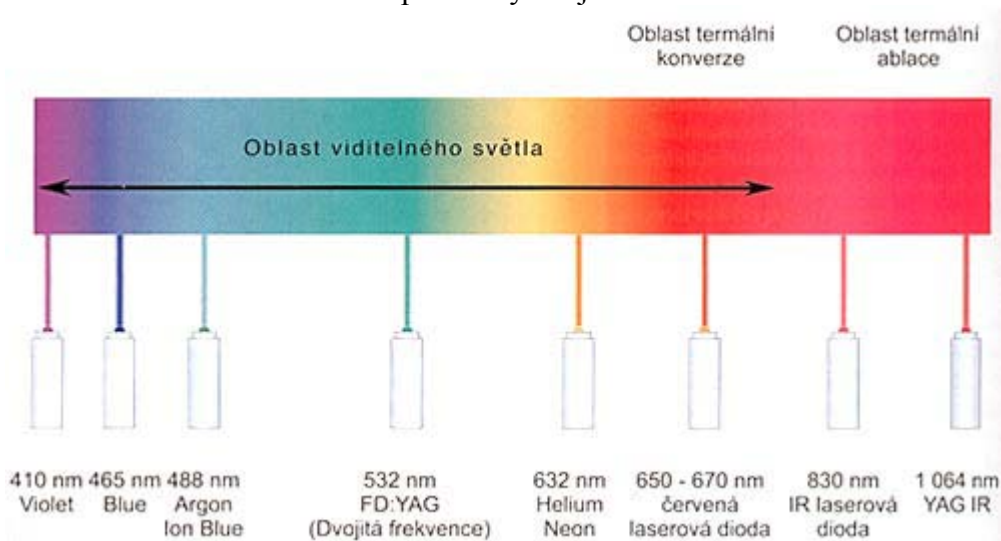
Struktura hranou vyzařujícího laseru

### Plošně vyzařující laser - VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser)

Laser vyzařující z povrchu využívá jako zrcadla soustavu epitaxních vrstev (cca 60), které jsou tlusté  $\lambda/4$ . Každá vrstva má malou odrazivost, ale společně vytváří dobré zrcadlo. Tento laser má lepší vyzařovací vlastnosti, lépe se navazuje na optický vlnovod a může být více laser na jednom čipu. Výroba je však technologicky náročnější.



Struktura plošně vyzařujícího laseru



Typy laserů a jejich vlnové délky

**Aplikace**

elektrotechnika (automatické trimování součástek, přenos informace, tiskárny, paměťová média - CD, DVD, holografie, optické přenosové systémy), lékařství (skalpel, ozařování tkání), strojírenství (řezání a obrábění materiálu), , metrologie (přesná měření délek a úhlů), stavebnictví (dálkoměry), chemie (výroba extrémně čistých materiálů, separace izotopů), vojenství (zbraně, navigace...).

**Vypracoval**

Ján Scheirich

j.scheirich@seznam.cz

ICQ: 196 969 456

**Reference:**

[1] Vobecký, J., Záhlava, V.: Elektronika – Součástky a obvody, principy a příklady, Grada Publishing, 2001

[2] <http://repairfaq.cis.upenn.edu/sam/laserfaq.htm>

[3] <http://www.elektrorevue.cz/clanky/01043/>

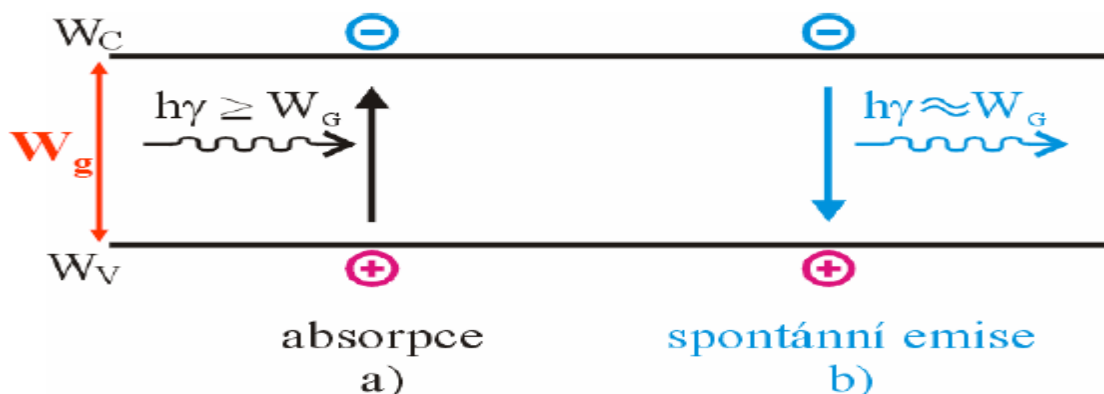
## Svítivá dioda – LED

**Princip:** Svítivá dioda neboli LED (z anglického light emitting diode) je polovodičová dioda, která při průchodu proudu v propustném směru svítí.



obr. 1: Schematická značka LED

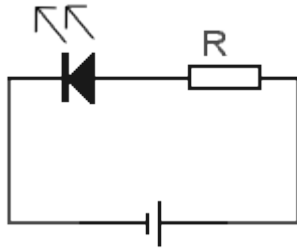
**Funkce** luminiscenční diody (**LED**) je založena na elektroluminiscenčním jevu, čímž rozumíme emisi fotonů z oblasti polovodičového P-N přechodu, kterým prochází proud. Přiložením vnějšího napětí na přechod P-N v propustném směru (t.j. záporný pól na oblast N) dochází totiž ke vstřikování (injekci) minoritních nosičů proudu do vodivostních oblastí. Část elektronů v oblasti P a část děr v oblasti N zářivě rekombinuje s majoritními nosiči a dochází tak k emisi světla, k tzv. injekční elektroluminiscenci. Energie vyzařovaných světelných kvant je tedy blízká šířce **zakázaného pásu  $E_g$** . Tato energie se může vyzářit ve formě fotonu nebo být absorbována v krystalové mřížce, což se projeví zvýšenou teplotou polovodiče.



Pravděpodobnost zářivé rekombinace (s fotonem) roste se zvětšující se šířkou zakázaného pásu. U křemíku se šířkou zakázaného pásu 1.1 eV je uvolňovaná energie převážně absorbována v krystalu, ze kterého je tepelnou výměnou odváděna do okolí. U diody z galium-arsenidu (GaAs) se šířkou zakázaného pásu 1.34 eV bude již nezanedbatelná část energie uvolněné při rekombinaci vyzařována ve formě fotonů o příslušné vlnové délce, která však ještě spadá do oblasti neviditelného infračerveného záření. Kombinace tohoto materiálu s fosforem, tzv. galium arsenid fosfid (GaAsP), již při rekombinaci vyzařuje červené viditelné záření.

Pásmo **spektra** záření diody je závislé na chemickém složení použitého **polovodiče**. LED jsou vyráběny s pásmy vyzařování od skoro **ultrafialových**, přes různé barvy **viditelného spektra**, až po **infračervené** pásmo. Poměrně dlouho trval vývoj modré LED, na nějž čekal jeden z projektů ploché barevné televizní obrazovky.

**Zapojení:** Svítivou diodu je nutno vždy zapojovat do série s rezistorem (ochranný rezistor), který omezuje maximální proud procházející diodou.



Napětí na diodě v propustném směru,  $U_d$ , je úměrné šířce zakázaného pásu; bylo-li u křemíku se šířkou zakázaného pásu 1.1 eV 0.6 V, bude u materiálu se šířkou zakázaného pásu 2 eV cca o 0.9 voltu vyšší, tedy 1.5 voltu. K napětí  $U_d$  je třeba připočíst ohmický úbytek na diodě, takže není výjimkou, když bude na svítivé diodě napětí cca 2 V i vyšší.

U křemíkové (Si) diody je toto napětí asi 0,6 V, u zelené LED z GaP 1,7 V a u modré z SiC již 2,5 V

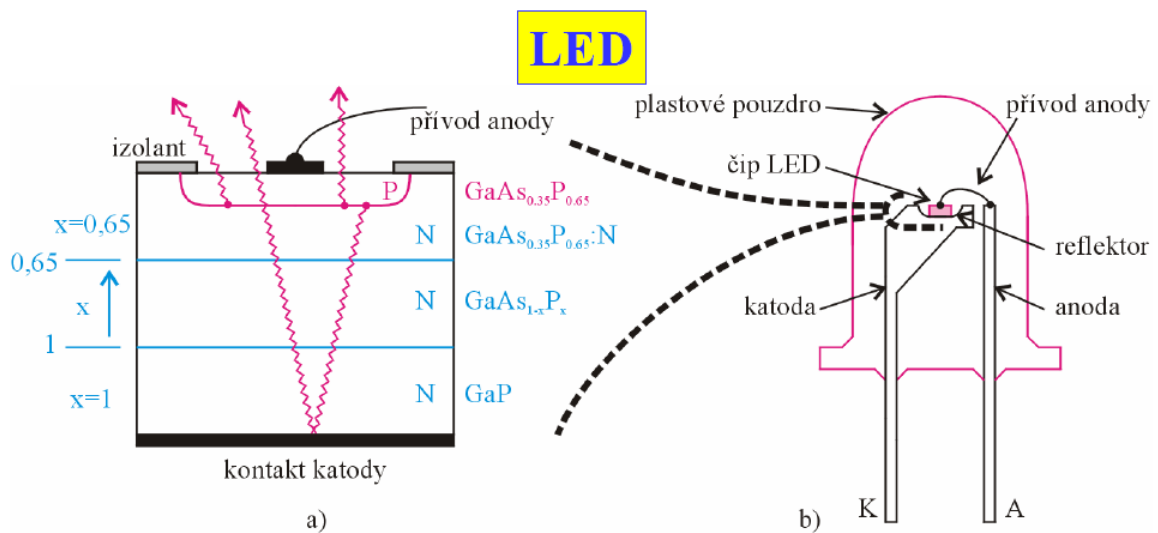
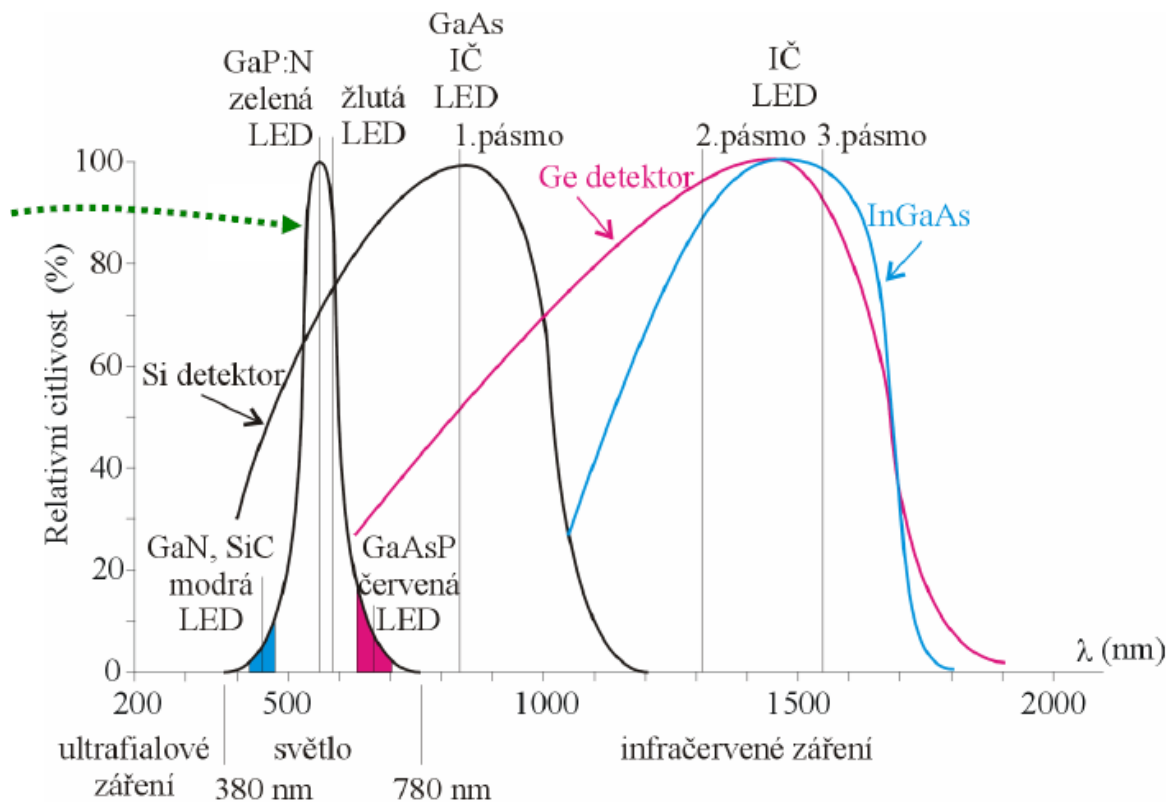
Proud diodou na dosažení vhodné intenzity světla je třeba vyčíst z katalogu; řádově se jedná o proudy 10-20 mA i více. Při použití LED k indikaci střídavého napětí musíme mít na paměti, že maximální povolené závěrné napětí těchto diod bývá malé a tak se doporučuje do serie s LED zapojit obyčejnou usměrňovací diodu.

Základní monokrystaly diod bývají překryty kulovými vrchlíky z epoxidové pryskyřice nebo akrylového polyesteru. Materiály, z nichž se LED vyrábějí, totiž mají poměrně vysoký index lomu a velká část vyzařovaného světla by se odrazela totálním odrazem zpět na rovinném rozhraní se vzduchem.

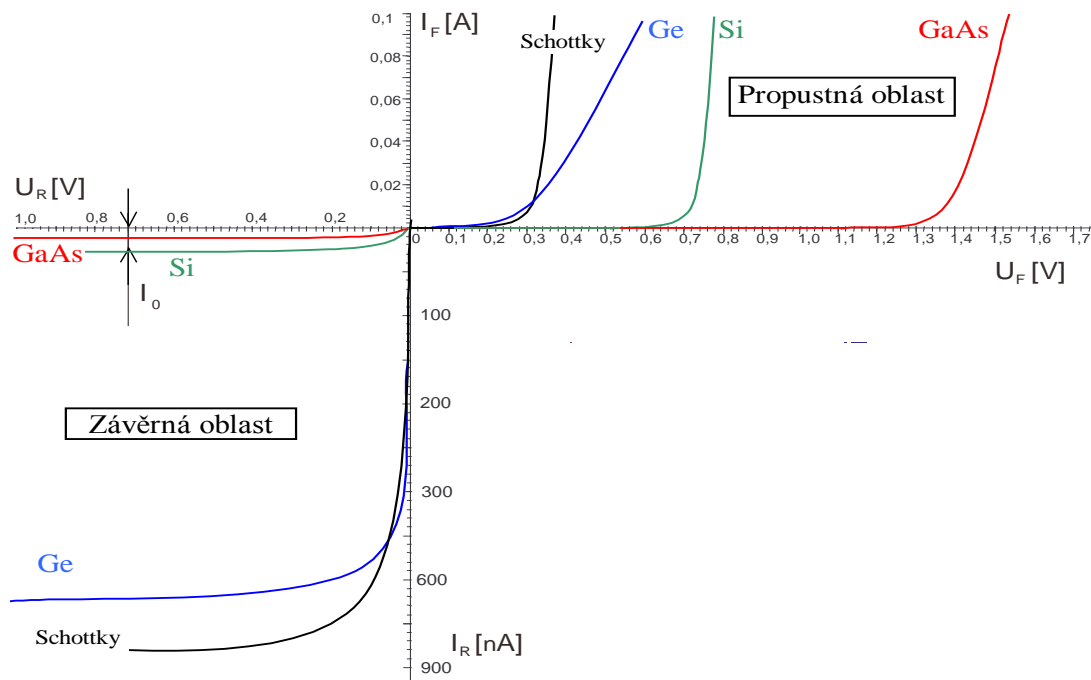
Oproti jiným elektrickým zdrojům světla (žárovka, výbojka, doutnavka) mají LED tu výhodu, že pracují s poměrně malými hodnotami proudu a napětí. Z toho vyplývá jejich užití v displejích (ve tvaru cifer a písmen). Kombinací LED základních barev (červená, zelená, modrá) je možno získat i barevné obrazovky.

Funkce luminiscenční diody (**LED**) je založena na elektroluminiscenčním jevu, čímž rozumíme emisi fotonů z oblasti polovodičového P-N přechodu, kterým prochází proud. Přiložením vnějšího napětí na přechod P-N v propustném směru (t.j. záporný pól na oblast N) dochází totiž ke vstřikování (injekci) minoritních nosičů proudu do vodivostních oblastí. Část elektronů v oblasti P a část děr v oblasti N zářivě rekombinuje s majoritními nosiči a dochází tak k emisi světla, k tzv. injekční elektroluminiscenci. Energie vyzařovaných světelných kvant je tedy blízká šířce zakázaného pásu  $E_g$

## Zdroje a detektory záření:



**VA charakteristika:** Je velmi podobná charakteristice obyčejné usměřňovací diody.



V-A charakteristiky různých typů diod – typické průběhy

### Použití:

1. Jako zdroj světla: malé baterky, blikačky na kola,...
2. Indikace zapnutí přístroje
3. Informační panely: sedmissegmentové a maticové displeje, např. u tramvají, metra, ...