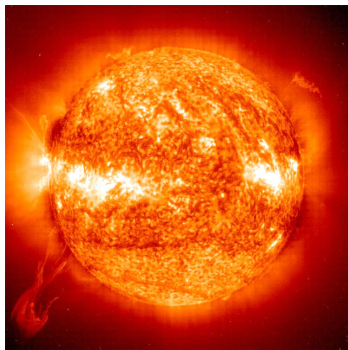


Detekce světla – Zdroje světla

Antonín Černoch Jan Soubusta Ondřej Haderka

Společná Laboratoř Optiky UP a FZÚ AV ČR



Obsah

- 1 Rozdělení zdrojů světla
- 2 Lasery
- 3 Elektroluminiscence v polovodičích

Rozdělení zdrojů světla

Záření generované deexcitací vzbuzeného atomového stavu

- 1 Tepelné
- 2 Luminiscenční

Rozdělení zdrojů světla

Záření generované deexcitací vzbuzeného atomového stavu

- 1 Tepelné
- 2 Luminiscenční

Záření generované nabitou částicí

- 1 Čerenkovo
- 2 Přejchodové
- 3 Synchrotronové

Rozdělení zdrojů světla

Záření generované deexcitací vzbuzeného atomového stavu

- 1 Tepelné
- 2 Luminiscenční

Záření generované nabitou částicí

- 1 Čerenkovo
- 2 Přejchodové
- 3 Synchrontronové

Anihilace částice a antičástice

elektron + pozitron $\rightarrow$ 2 gama fotony letící opačným směrem

Tepelné zdroje

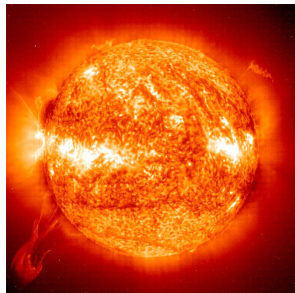
Tepelná excitace atomů

- vedení tepla (např. Slunce)
- vnějším ohřevem
- elektricky Joulovým teplem (žárovka, oblouková lampa)

Tepelné zdroje

Tepelná excitace atomů

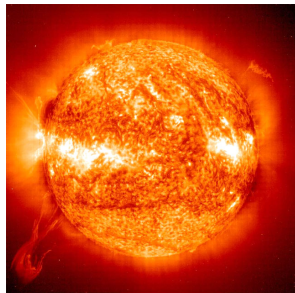
- vedení tepla (např. Slunce)
- vnějším ohřevem
- elektricky Joulovým teplem (žárovka, oblouková lampy)



Tepelné zdroje

Tepelná excitace atomů

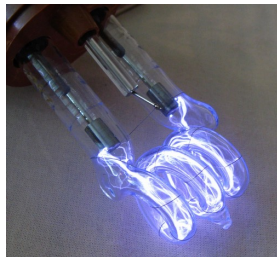
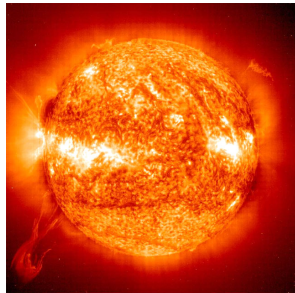
- vedení tepla (např. Slunce)
- vnějším ohřevem
- elektricky Joulovým teplem (žárovka, oblouková lampa)



Tepelné zdroje

Tepelná excitace atomů

- vedení tepla (např. Slunce)
- vnějším ohřevem
- elektricky Joulovým teplem (žárovka, oblouková lampa)



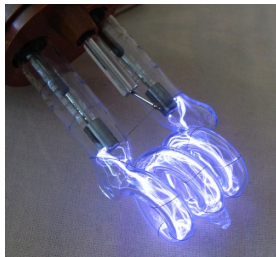
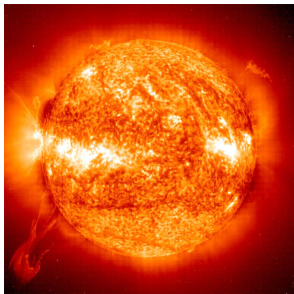
Tepelné zdroje

Tepelná excitace atomů

- vedení tepla (např. Slunce)
- vnějším ohřevem
- elektricky Joulovým teplem (žárovka, oblouková lampa)

záření černého tělesa

Bozeovo-Einsteinovo rozdělení



Luminiscenční zdroje

Fotoluminiscence – kratší λ (zářivky a výbojky)

Radioluminiscence – záření α , β nebo γ , obrazovka

Elektroluminiscence – elektrické pole

Triboluminiscence – mechanické působení (tření, lom)

Chemiluminiscence – chemická reakce

Bioluminiscence – enzymem vyvolaná chem. reakce



Luminiscenční zdroje

Fotoluminiscence – kratší λ (zářivky a výbojky)

Radioluminiscence – záření α , β nebo γ , obrazovka

Elektroluminiscence – elektrické pole

Triboluminiscence – mechanické působení (tření, lom)

Chemiluminiscence – chemická reakce

Bioluminiscence – enzymem vyvolaná chem. reakce



Luminiscenční zdroje

Fotoluminiscence – kratší λ (zářivky a výbojky)

Radioluminiscence – záření α , β nebo γ , obrazovka

Elektroluminiscence – elektrické pole

Triboluminiscence – mechanické působení (tření, lom)

Chemiluminiscence – chemická reakce

Bioluminiscence – enzymem vyvolaná chem. reakce



Luminiscenční zdroje

Fotoluminiscence – kratší λ (zářivky a výbojky)

Radioluminiscence – záření α , β nebo γ , obrazovka

Elektroluminiscence – elektrické pole

Triboluminiscence – mechanické působení (tření, lom)

Chemiluminiscence – chemická reakce

Bioluminiscence – enzymem vyvolaná chem. reakce



Luminiscenční zdroje

Fotoluminiscence – kratší λ (zářivky a výbojky)

Radioluminiscence – záření α , β nebo γ , obrazovka

Elektroluminiscence – elektrické pole

Triboluminiscence – mechanické působení (tření, lom)

Chemiluminiscence – chemická reakce

Bioluminiscence – enzymem vyvolaná chem. reakce



Luminiscenční zdroje

Fotoluminiscence – kratší λ (zářivky a výbojky)

Radioluminiscence – záření α , β nebo γ , obrazovka

Elektroluminiscence – elektrické pole

Triboluminiscence – mechanické působení (tření, lom)

Chemiluminiscence – chemická reakce

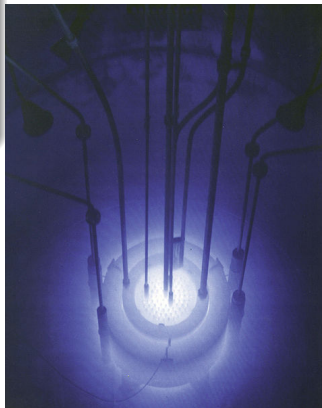
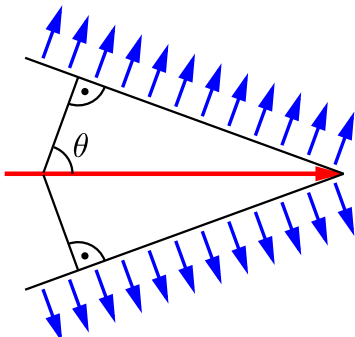
Bioluminiscence – enzymem vyvolaná chem. reakce



Čerenkovo (brzděné) záření

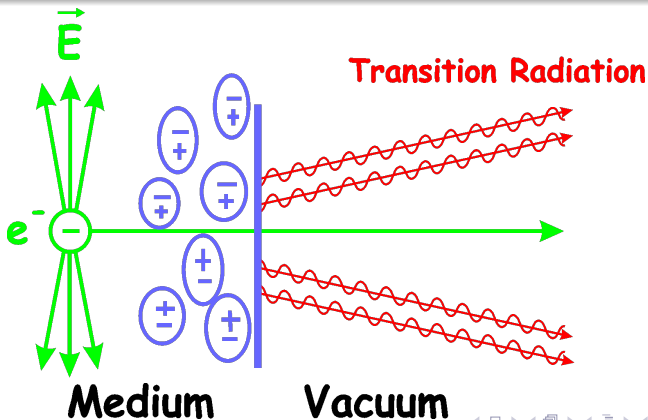
nabitá částice se pohybuje v prostředí o indexu lomu n rychlostí v , která je větší, než je fázová rychlost světla c/n v tomto prostředí

$$\cos \theta = \frac{c}{nv}, \quad c/n < v < c$$



Přechodové záření

relativistická nabitá částice prochází rozhraním dvou optických prostředí $\rightarrow$ vázané náboje s proměnným dipólovým momentem $\rightarrow$ zdroj elmag vlny, rychlost částice $\sim \lambda$



Cyklotronové a Synchrotronové záření

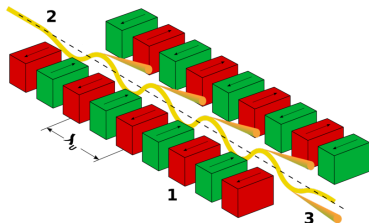
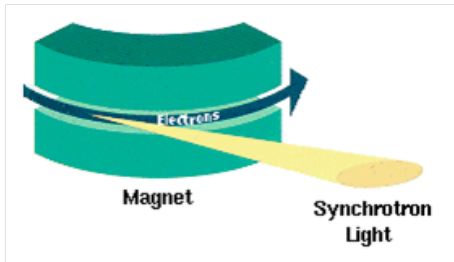
nabitá částice (elektron) na zakřivené dráze vlivem magnetického pole

Cyklotronové záření

nerelativistické e^- , monochromatické v mikrovlnné a radiové oblasti

Synchrotronové záření

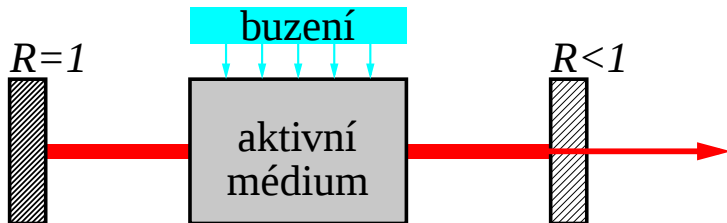
relativistické e^- , spojité záření ve VIS, pro silná magnetická pole až X



Obsah

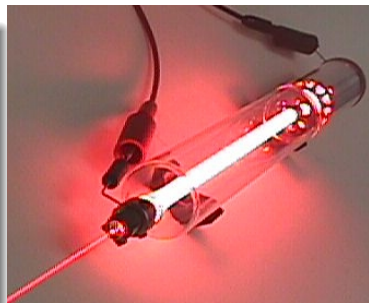
- 1 Rozdělení zdrojů světla
- 2 Lasery
 - Princip a vlastnosti
 - Pevnolátkové lasery
 - Plynové lasery
- 3 Elektroluminiscence v polovodičích

Princip a vlastnosti



Vlastnosti

- koherentní záření
- Poissonovo statistické rozdělení
- směrovost
- velká hustota výkonu
- spektrální vlastnosti
- kontinuální nebo pulzní (délka pulzu)



Pevnolátkové lasery

Výhody

- poměr výkon/příkon
- velká životnost (10 000 hod)
- menší nároky na údržbu

Nevýhody

- horší kvalita svazku
- rozštěpení hladin → širší emisní čára

Aktivní prostředí

Rubín 694.3 nm (holografie, odstraňování tetování)

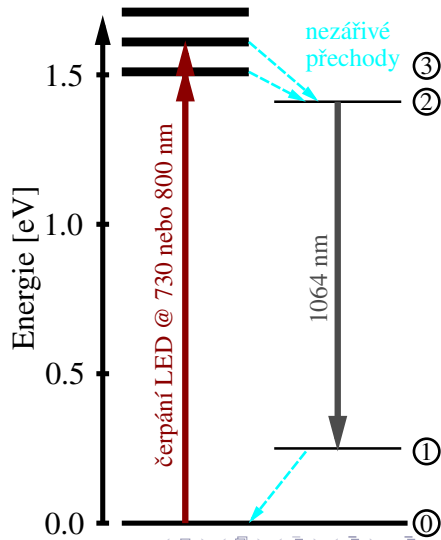
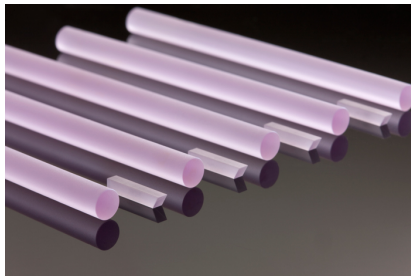
Nd:YAG 1064 nm (litografie, chirurgie, strojírenství, spektroskopie)

Ti:Safír 700 - 1050 nm (spektroskopie s časovým rozlišením)

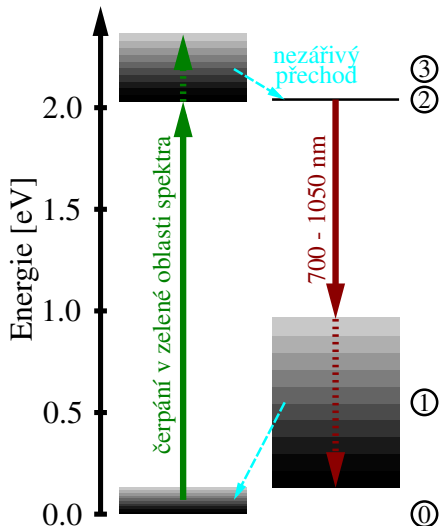
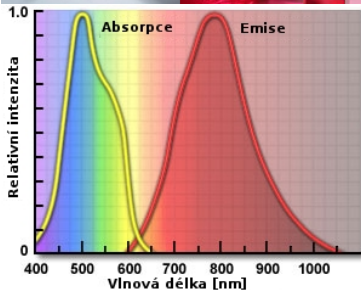
Vyšší harmonické (2., 3., 4.)

nelineární proces, konverze na $k\omega_p$ tedy λ_p/k , kde $k = 2, 3, 4$

Nd:YAG laser



Titan-safírový laser

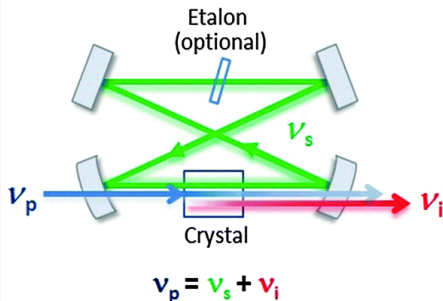
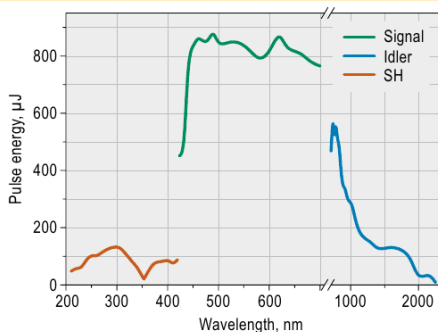


Optický parametrický oscilátor (OPO)

Vzestupná frekvenční konverze

nelineární proces: $\omega_p = \omega_s + \omega_i$ $\frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{\lambda_s} + \frac{1}{\lambda_i}$

EKSPLA PG411-SH



Plynové lasery I

Výhody

- úzké čáry podle vzdálenosti hladin aktivního plynu
- kvalita svazku

Nevýhody

- malá účinnost (chlazení)
- větší nároky na údržbu
- menší životnost

Atomární

He-Ne 543 nm, 633 nm (zaměřování polohy, spektroskopie)

Cu 510 nm, 578 nm (podmořská komunikace a lokace)

I 342 nm, 612 nm, 1315 nm (věda, termojaderná fúze)

Xe, Ne, He 140 vlnových délek ve VIS a IČ

Plynové lasery II

Iontové

Ar^+ 488 nm, 514 nm (oftalmologie, spektroskopie)

Kr^+ 16 čar od 345 po 800 nm

He-Cd 325 nm, 442 nm (spektroskopie)

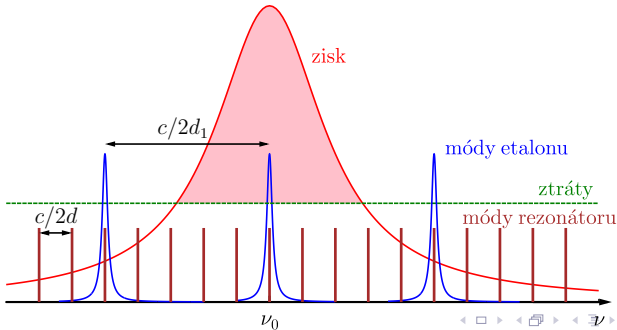
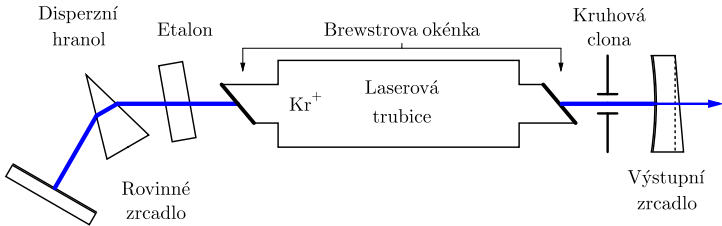
Molekulární

H_2 100 - 120 nm, 140 - 165 nm

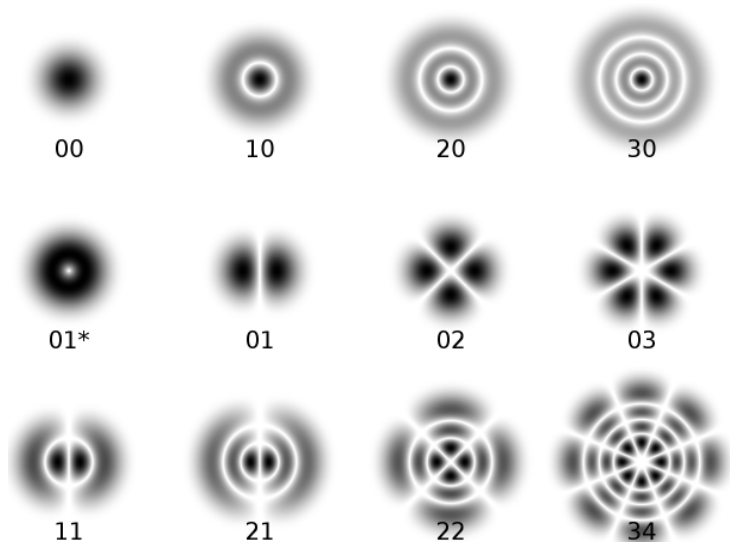
CO_2 10.6 μm (sváření, řezání, stomatologie, gravírování)



Frekvenční módy rezonátoru



Prostorové módy rezonátoru

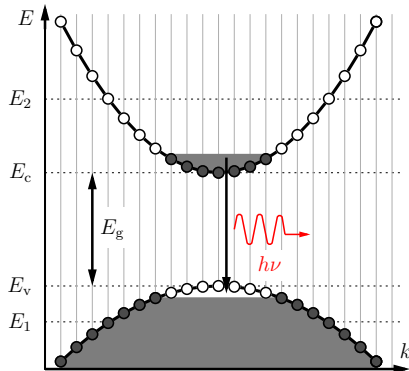


Obsah

- 1 Rozdělení zdrojů světla
- 2 Lasery
- 3 Elektroluminiscence v polovodičích**
 - Princip elektroluminiscence
 - Polovodičové zdroje

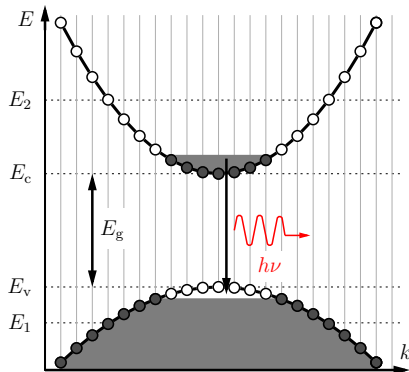
Princip elektroluminiscence

- elektron-děrová rekombinace
- injekce minoritních nosičů do p-n přechodu (propustný směr - hlídat proud)
- dlouhovlnný limit $\lambda_g = hc/E_g$
- interní η_i a externí η_e kvantová účinnost
- přímý zak. pás – GaAs $\eta_i \sim 0.5$
nepřímý zak. pás – Si $\eta_i \sim 10^{-5}$



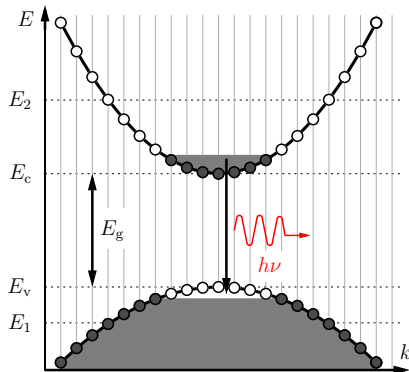
Princip elektroluminiscence

- elektron-děrová rekombinace
- injekce minoritních nosičů do p-n přechodu (propustný směr - hlídat proud)
- dlouhovlnný limit $\lambda_g = hc/E_g$
- interní η_i a externí η_e kvantová účinnost
- přímý zak. pás – GaAs $\eta_i \sim 0.5$
nepřímý zak. pás – Si $\eta_i \sim 10^{-5}$



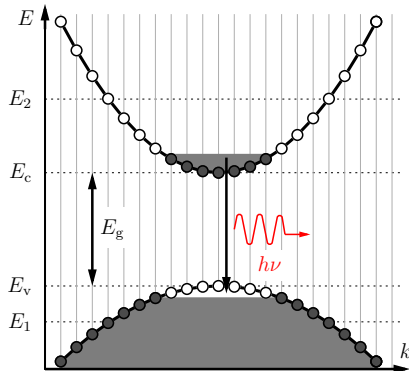
Princip elektroluminiscence

- elektron-děrová rekombinace
- injekce minoritních nosičů do p-n přechodu (propustný směr - hlídat proud)
- dlouhovlnný limit $\lambda_g = hc/E_g$
- interní η_i a externí η_e kvantová účinnost
- přímý zak. pás – GaAs $\eta_i \sim 0.5$
nepřímý zak. pás – Si $\eta_i \sim 10^{-5}$

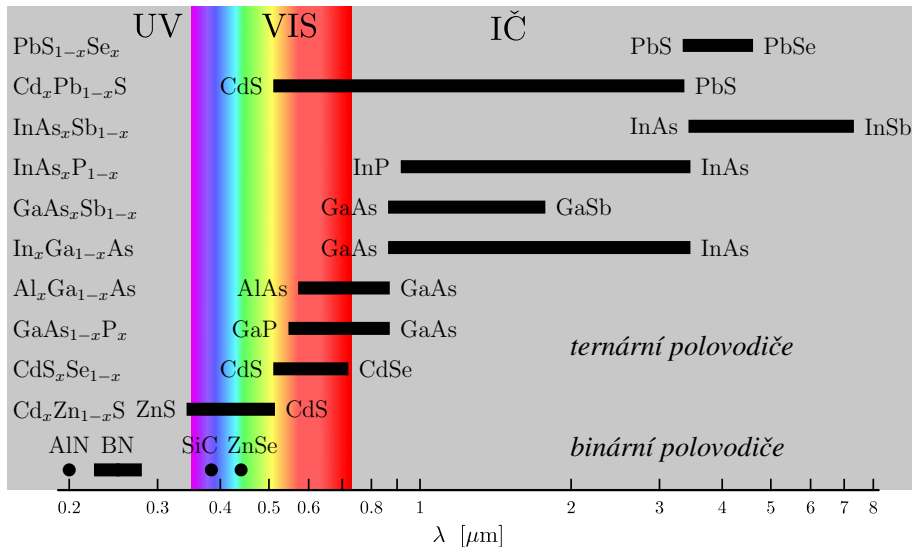


Princip elektroluminiscence

- elektron-děrová rekombinace
- injekce minoritních nosičů do p-n přechodu (propustný směr - hlídat proud)
- dlouhovlnný limit $\lambda_g = hc/E_g$
- interní η_i a externí η_e kvantová účinnost
- přímý zak. pás – GaAs $\eta_i \sim 0.5$
nepřímý zak. pás – Si $\eta_i \sim 10^{-5}$



Materiály



LED

Light emitting diode

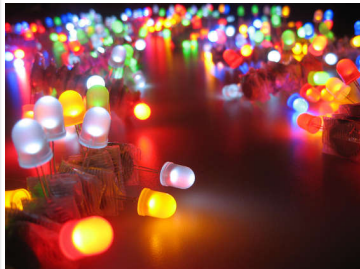
Luminiscenční dioda

$$\Phi_r = \eta_e \eta_i I / e$$

$\eta_e \sim 1 - 5\%$ (absorpce, vnitřní odraz)

$$\Delta\lambda \approx \lambda_g^2 3k_B T / (hc), \quad \lambda_g = hc / E_g$$

plošně a hranově emitující
odezva 1 – 50 ns



NIR

binární (GaAs, GaSb, InP), ternární i kvaternární

VIS

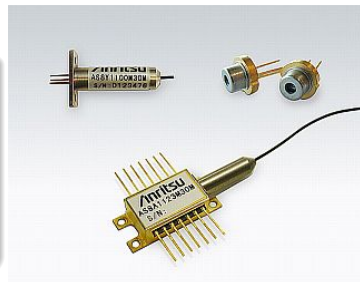
GaN, GaP, dotování polovodičů (rekombinační centra)

SLD

Superluminescent diode

Superluminiscenční dioda

- silné čerpání → stimulovaná emise
- laserování zabráněno antireflexemi
- malá koherenční délka (desítky μm)
- parametry mezi LED a LD



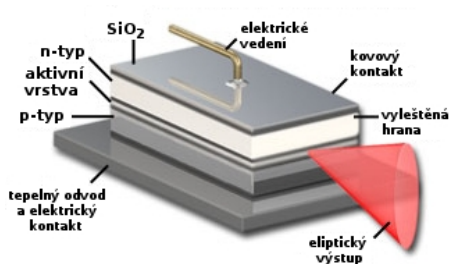
Využití

ve vláknových interferenčních senzorech, díky krátké koh. délce eliminuje interferenci zpětných odrazů

LD – Laserová dioda

Laser diode

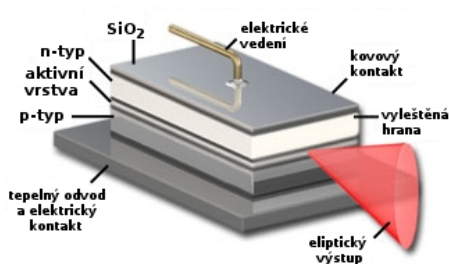
- stimulovaná emise podporovaná rezonátorem, $\eta_e > 0.4$
- rezonátor vytvořen štípáním polovodiče podél krystalových ploch
- příčné módy omezeny vlnovodnou strukturou nebo vnějším rez.
- výstupní svazek s asymetrickou divergencí (válcové čočky)
- prahový čerpací proud ve stovkách mA (ke snížení heterostruktury a pot. jámy)



LD – Laserová dioda

Laser diode

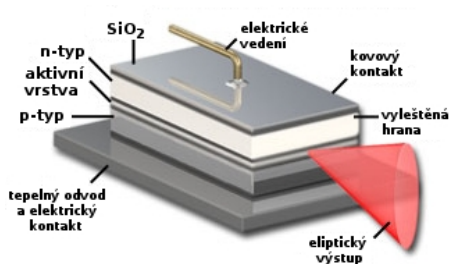
- stimulovaná emise podporovaná rezonátorem, $\eta_e > 0.4$
- rezonátor vytvořen štípáním polovodiče podél krystalových ploch
- příčné módy omezeny vlnovodnou strukturou nebo vnějším rez.
- výstupní svazek s asymetrickou divergencí (válcové čočky)
- prahový čerpací proud ve stovkách mA (ke snížení heterostruktury a pot. jámy)



LD – Laserová dioda

Laser diode

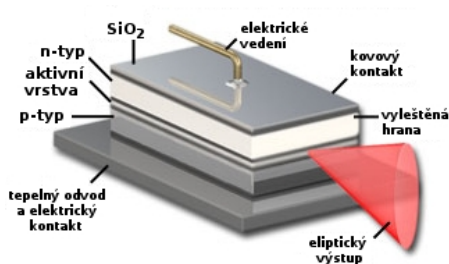
- stimulovaná emise podporovaná rezonátorem, $\eta_e > 0.4$
- rezonátor vytvořen štípáním polovodiče podél krystalových ploch
- příčné módy omezeny vlnovodnou strukturou nebo vnějším rez.
- výstupní svazek s asymetrickou divergencí (válcové čočky)
- prahový čerpací proud ve stovkách mA (ke snížení heterostruktury a pot. jámy)



LD – Laserová dioda

Laser diode

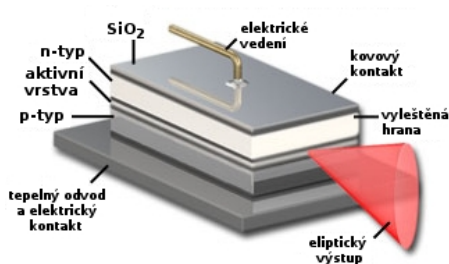
- stimulovaná emise podporovaná rezonátorem, $\eta_e > 0.4$
- rezonátor vytvořen štípáním polovodiče podél krystalových ploch
- příčné módy omezeny vlnovodnou strukturou nebo vnějším rez.
- výstupní svazek s asymetrickou divergencí (válcové čočky)
- prahový čerpací proud ve stovkách mA (ke snížení heterostruktury a pot. jámy)



LD – Laserová dioda

Laser diode

- stimulovaná emise podporovaná rezonátorem, $\eta_e > 0.4$
- rezonátor vytvořen štípáním polovodiče podél krystalových ploch
- příčné módy omezeny vlnovodnou strukturou nebo vnějším rez.
- výstupní svazek s asymetrickou divergencí (válcové čočky)
- prahový čerpací proud ve stovkách mA (ke snížení heterostruktury a pot. jámy)



Materiály pro LD

GaAs	650 a 840 nm	ukazovátka, tiskárny
GaAlAs	670 - 830 nm	CD mechanika
AlGaInP	650 nm	DVD mechanika
GaN	405 nm	Blu-ray mechanika
InGaAlP	630 - 685 nm	lékařství



Porovnání spektra LED a laserové diody

