



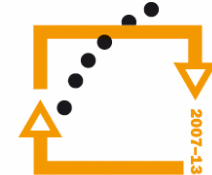
evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdelávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Laserové technologie v praxi I.

Přednáška č.4

Pevnolátkové lasery

Hana Chmelíčková, SLO UP a FZÚ AVČR

Olomouc, 2011

Dělení pevnolátkových laserů podle druhu matrice a dopantu

Matrice (nosič):

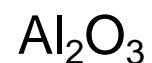
Dopant:

Alexandrit



Cr, Tm

Rubín



Cr

Safír

YAG



Er, Ho, Nd, Yb

(yttrium aluminium granát)

YLF



Nd, Er, Ho

YVO₄



Nd, Ho

(yttrium vanadát)

Křemíková skla: HOYA, KIGRE, SCHOTT

Nejznámější typy pevnolátkových laserů

Nd:YAG

Nd:glass

Nd:YVO₄

Nd:YLF

Nd:KGW

Er:YAG

Yb:YAG

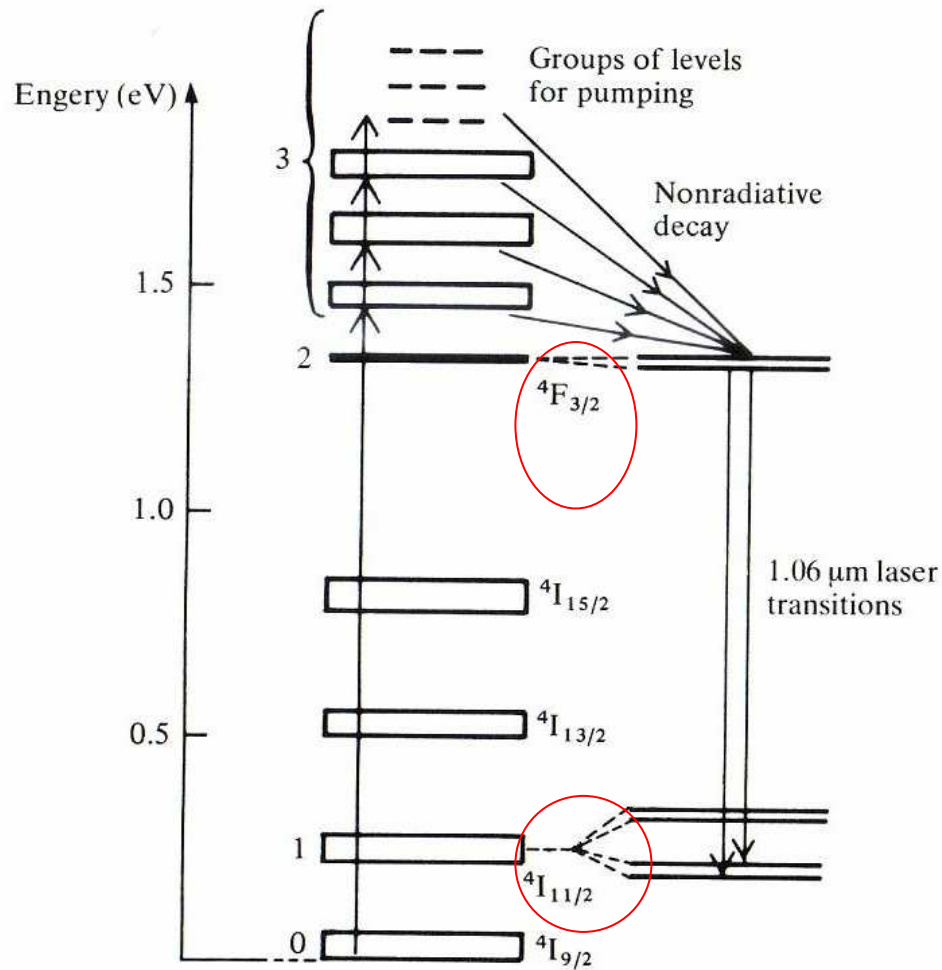
Ti:AL₂O₃



Metody výroby: Czochralského, Verneuilova, Stockbauerova
Přidávání dopantu do matrice již v procesu výroby.

Nd:YAG laser

Aktivní prostředí – trojmocné ionty neodymu Nd^{3+} v matrici YAG



Nd (60) přechodový kov,
lanthanoid
v přírodě výskyt pouze ve
sloučeninách

sklářský průmysl (barvení),
výroba permanentních magnetů

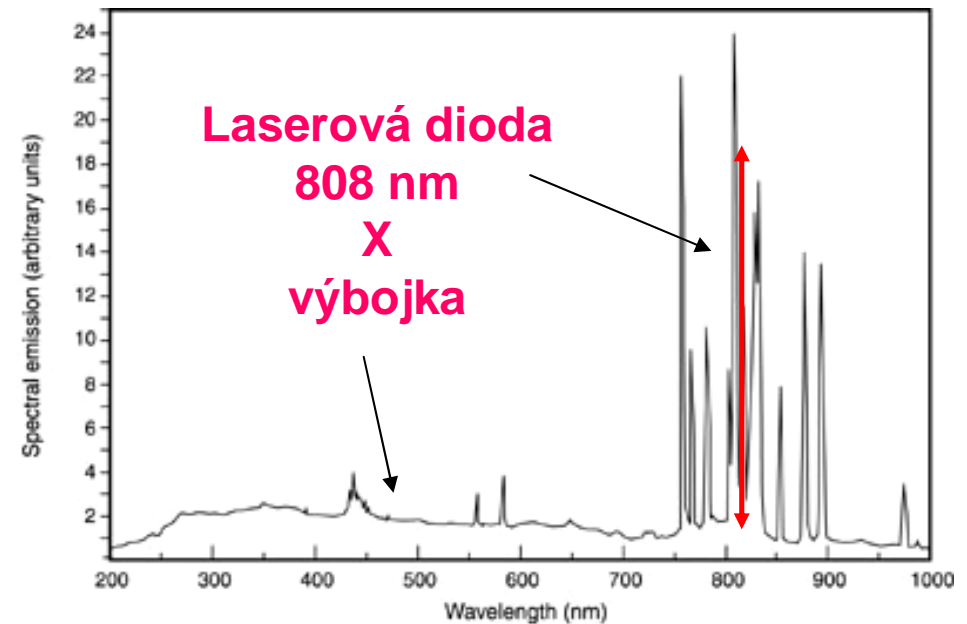
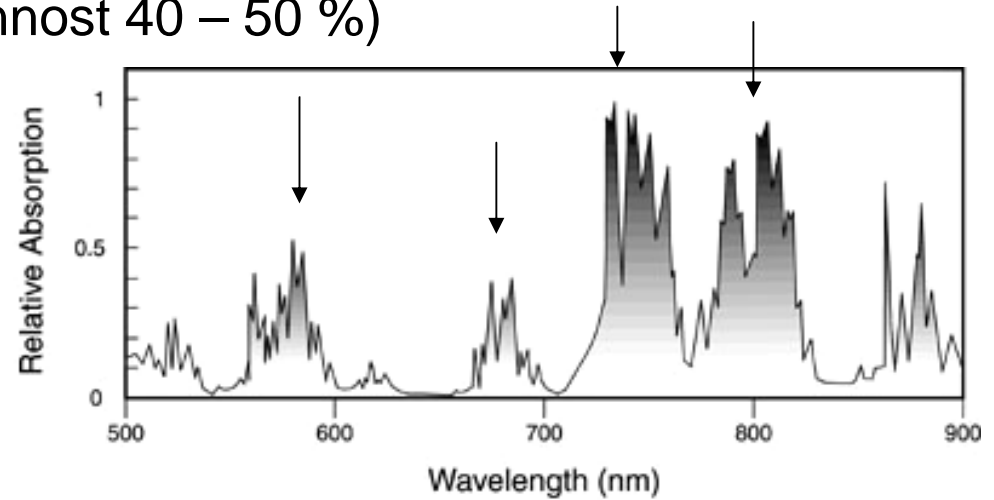
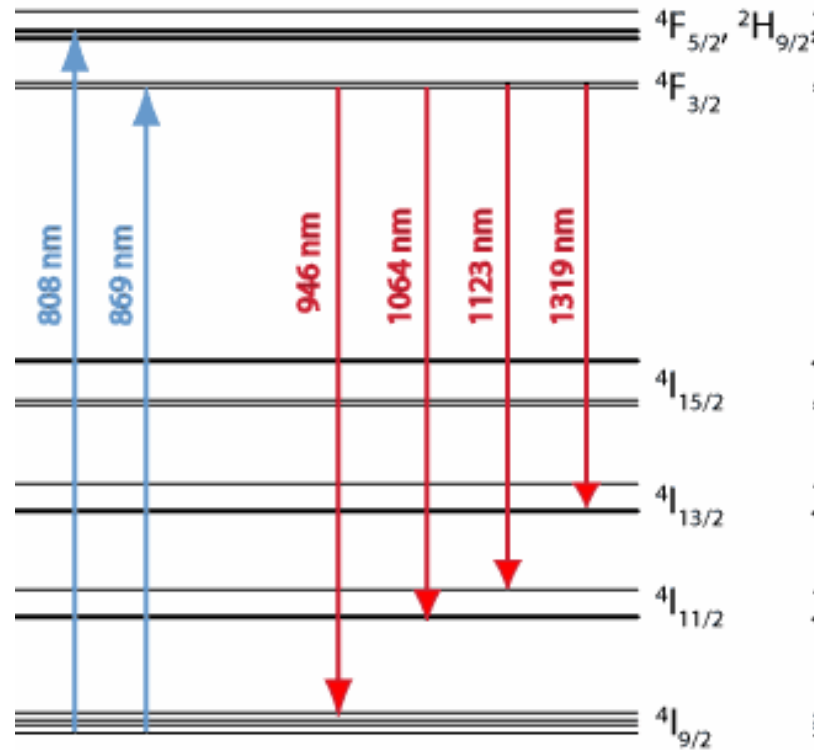
$$\Delta E = 1,163 \text{ eV}$$

$$\lambda = 1\,064 \text{ nm}$$

Nd:YAG laser

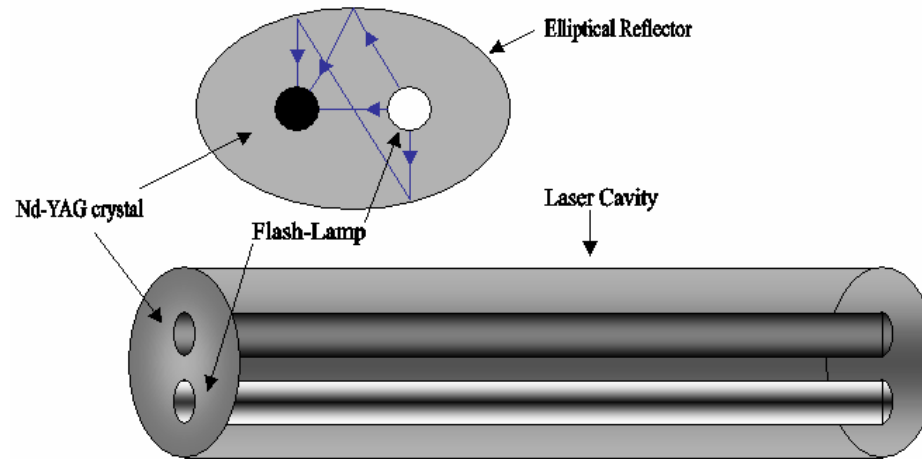
Buzení – kryptonová, xenonová výbojka (účinnost čerpání 10 %)

- pole laserových diod (účinnost 40 – 50 %)



Nd:YAG laser

Čerpání výbojkou:

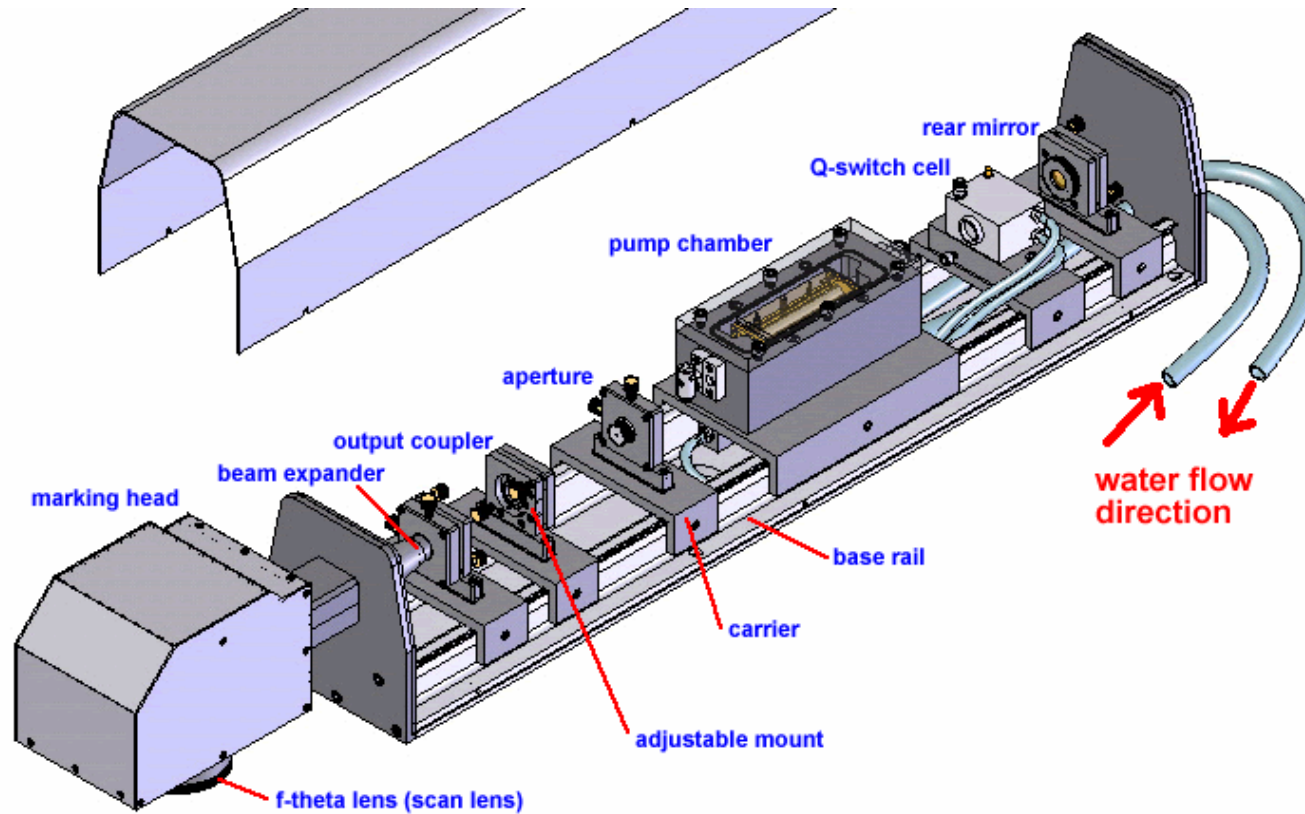


Nd:YAG laser

Otevřený rezonátor – křemenná zrcadla s reflexními vrstvami

Příklad: Q-switch laser pro laserové značení

Chlazení kavity deionizovanou vodou (vnitřní chladicí okruh)



Nd:YAG laser

Thermal lensing effect: způsoben teplotním rozdílem mezi středem a povrchem krystalu (deformace čelních ploch v důsledku délkové roztažnosti, radiální závislost indexu lomu v důsledku teplotního gradientu, foto-elastický jev)

Kritický refrakční výkon

$$D_c = 1 / L_1$$

Příklad 3 typů rezonátorů
v laseru LASAG:

a) $L_1 = 190 \text{ mm}$

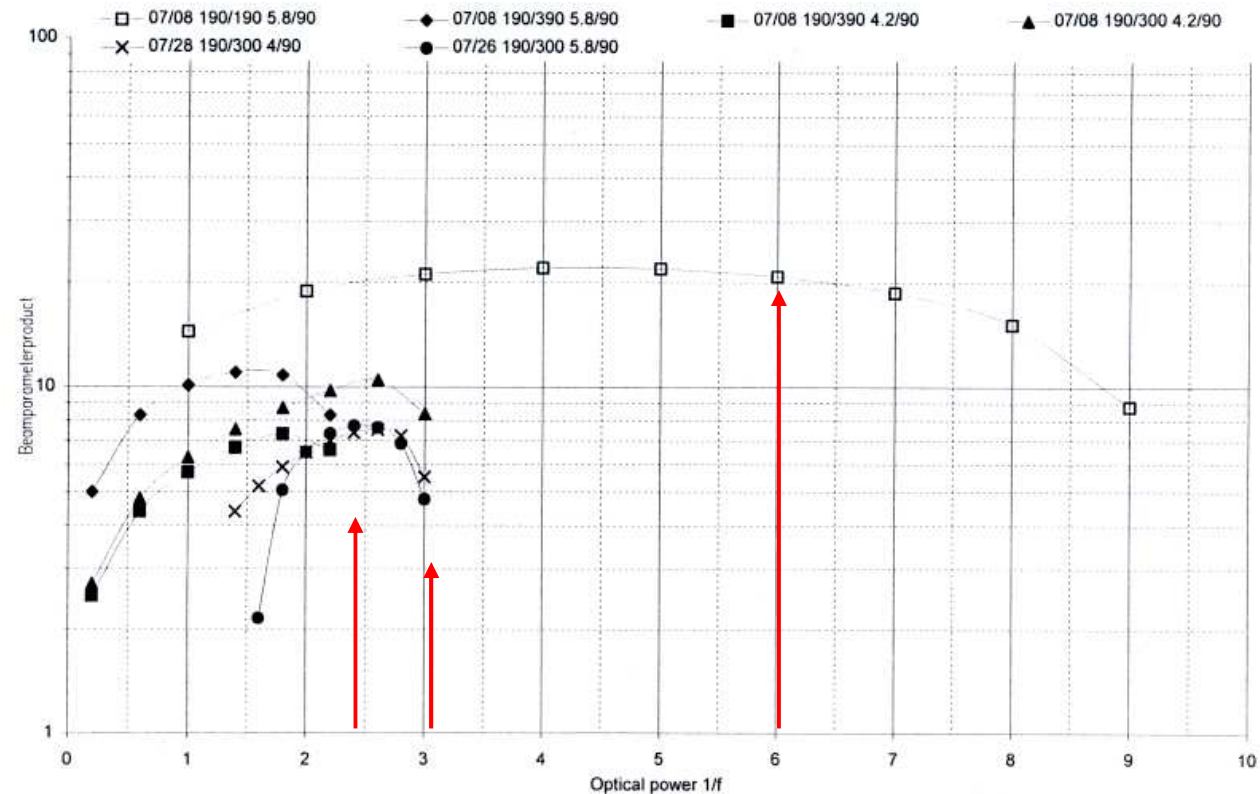
$$D_c = 5,264$$

b) $L_1 = 300 \text{ mm}$

$$D_c = 3,333$$

c) $L_1 = 390 \text{ mm}$

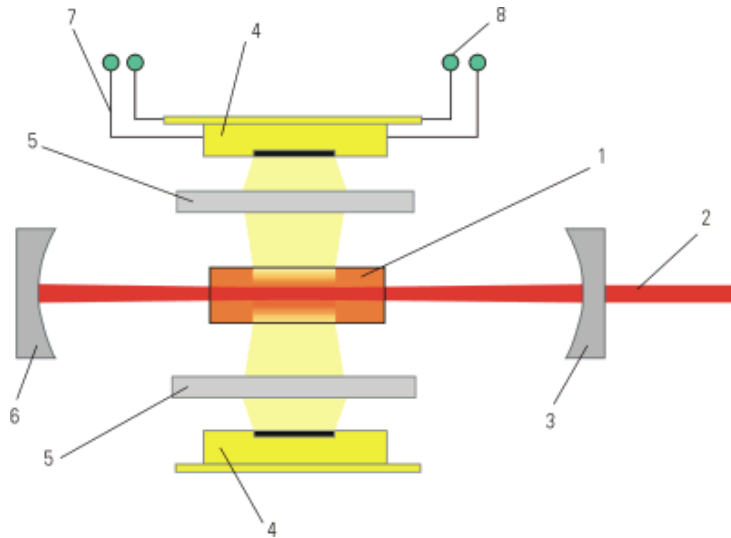
$$D_c = 2,564$$



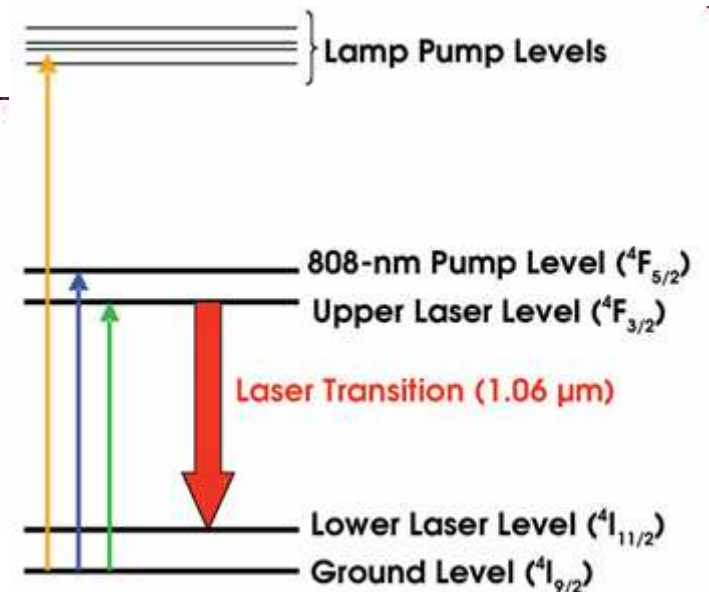
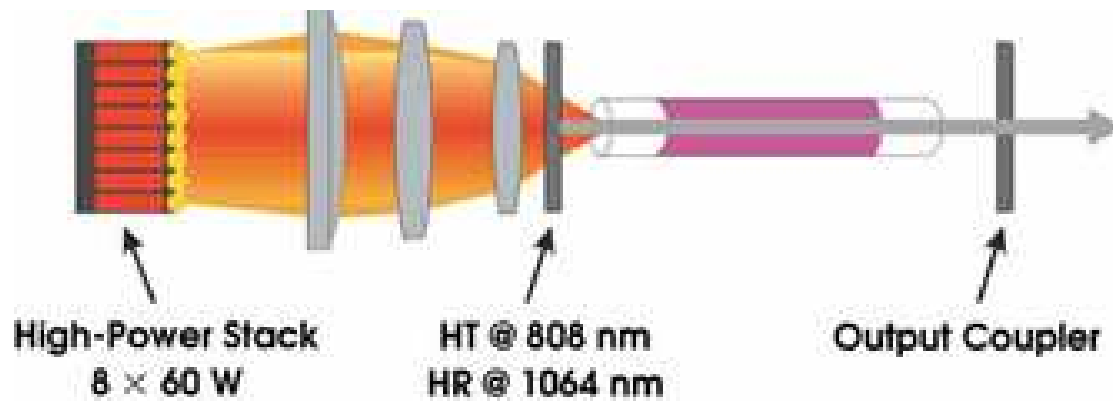
D = aprox. Elektrický příkon (kW)

Nd:YAG laser

Čerpání polem laserových diod – boční (45 %) nebo přímé (57 %)



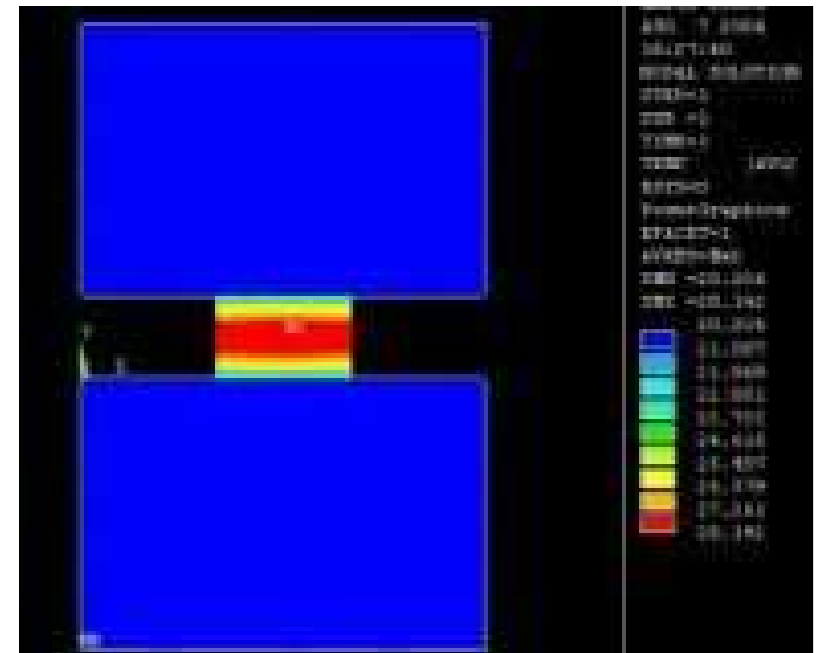
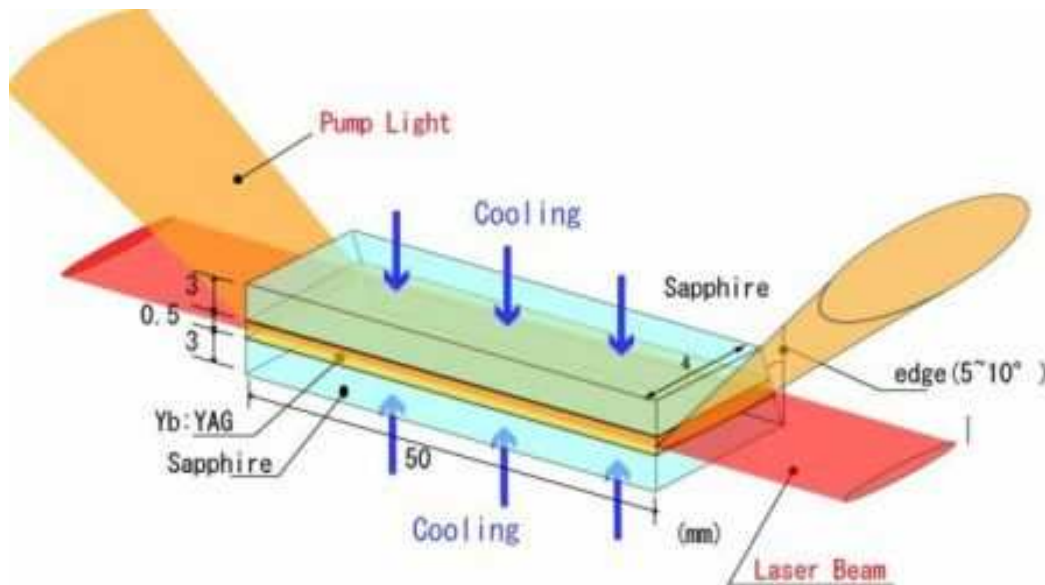
- 1 – Nd:YAG krystal
- 2 – laserový svazek
- 3 – výstupní zrcadlo
- 4 – řada diod
- 5 – kolimační optika
- 6 – zadní zrcadlo
- 7 – chlazení diod
- 8 – elektrický zdroj



Nd:YAG laser

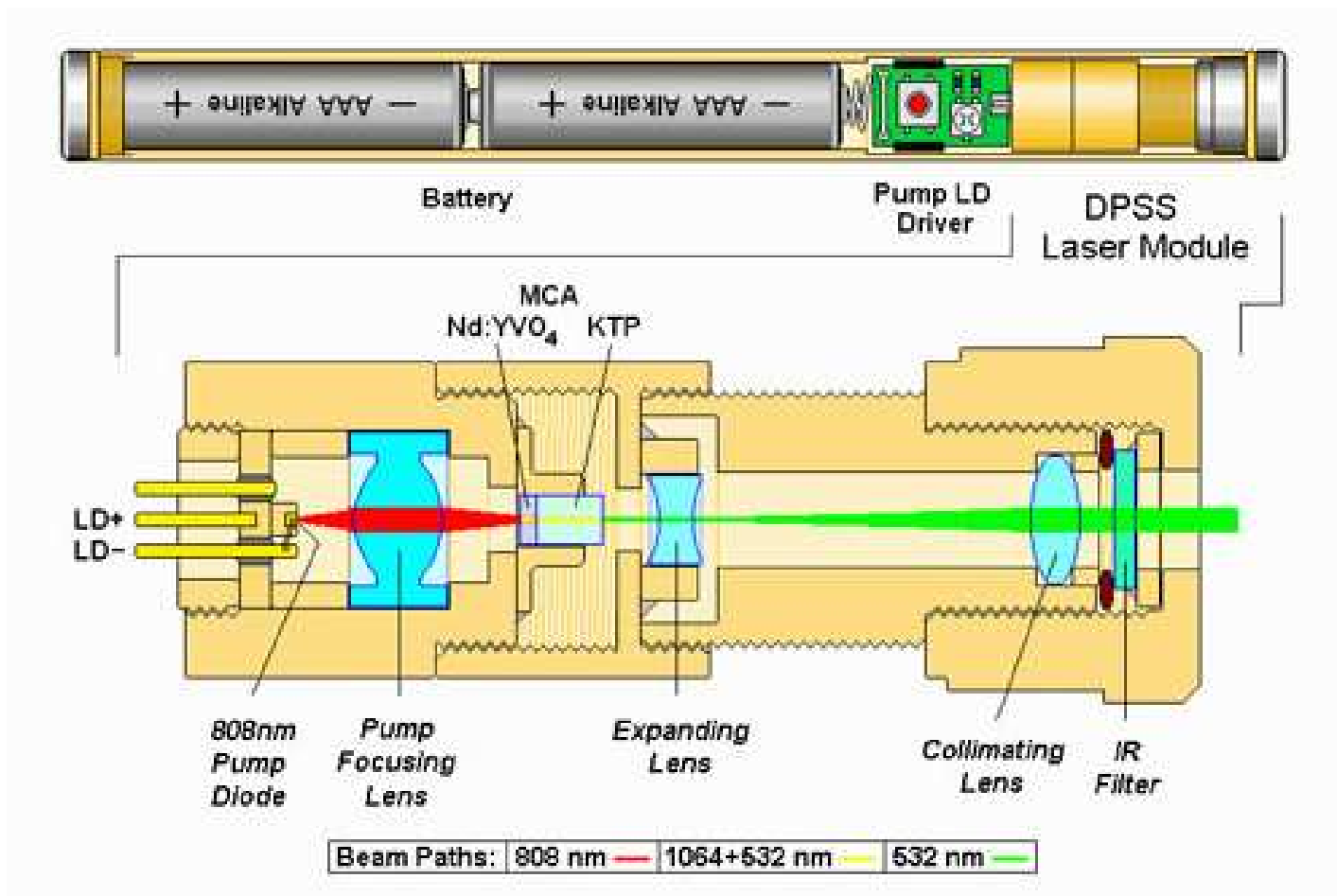
Slab geometrie – deskový laser:

Omezení thermal lensing efektu, obdélníkový nebo čtvercový výstupní svazek, pro přesné řezání a vrtání nutno navázat do vlákna



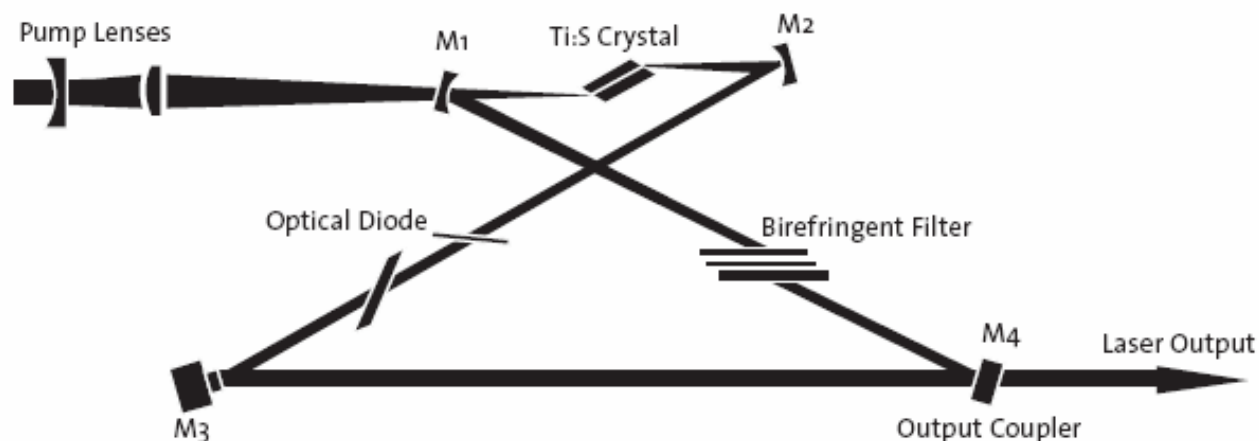
Nd:YVO₄ diodou čerpaný laser

„zelené“ laserové ukazovátko: zatím vysoká cena



Ti:Al₂O₃ (Ti:sapphire)laser

Vlnová délka: laditelná od 660 nm – 1050 nm
s maximální intenzitou na 790 nm
(Lyotův optický filtr uvnitř rezonátoru)



Absorpční pás Ti³⁺ iontů: 490 nm – vhodné pro čerpání
jiným laserem (Ar, Nd:YAG $\lambda/2$ 532 nm)

Generátor femtosekundových pulsů:

Světlo za 1 fs „uběhne“ 0,003 mm, 1 fs je délka životně důležitých dějů v přírodě –
výzkum

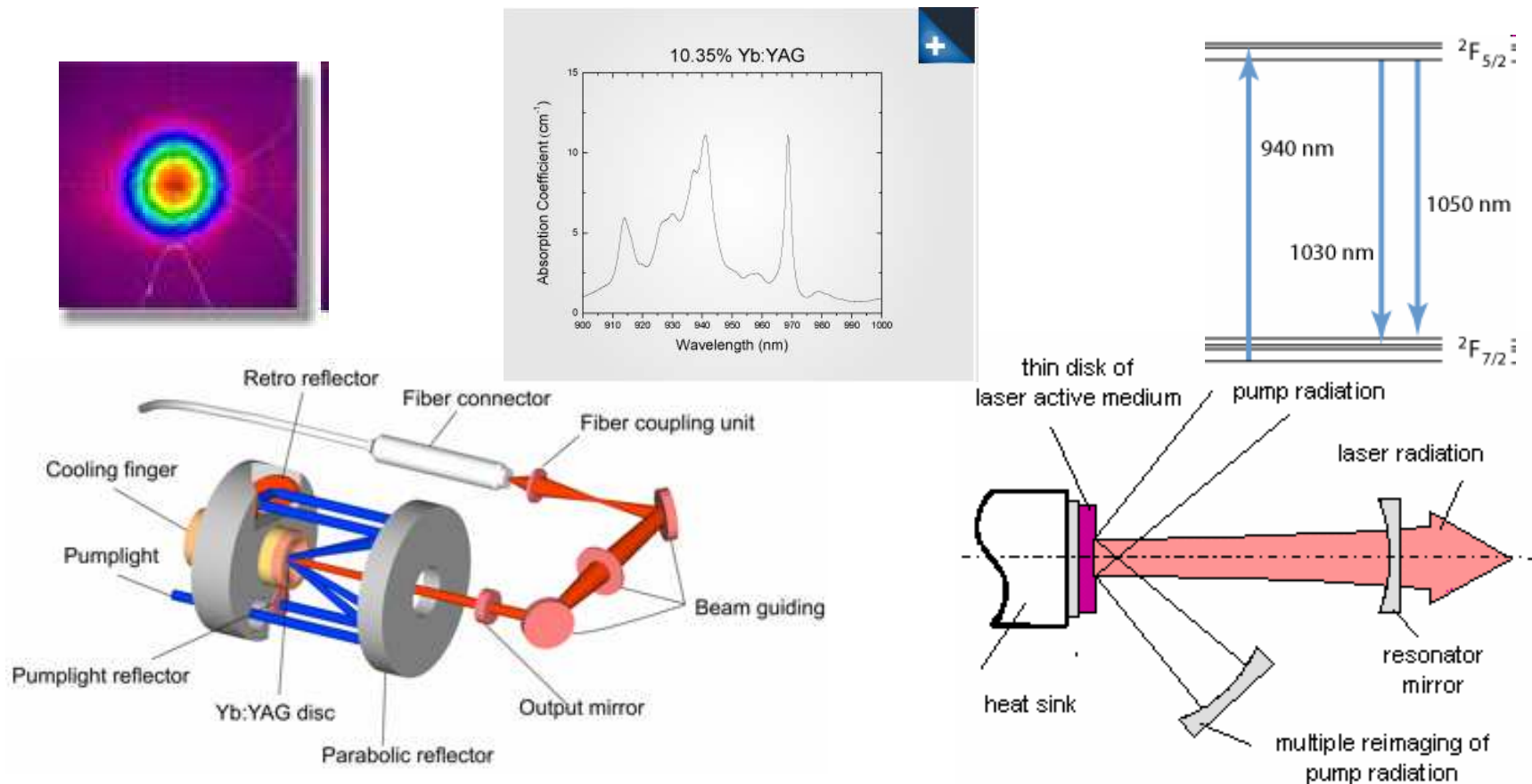
Puls $E = 100$ mJ, délka $t = 100$ fs, výkon v pulsu 1 TW

Frekvence 10 Hz, průměrný výkon 1 W.

Yb:YAG laser

Materiál pro novou geometrii aktivního prostředí: diskový laser (ROFIN, TRUMPF) tloušťka krystalu 0,24 mm ,průměr 10 mm, vlnová délka 1029 nm (1030nm).

Obsah Yb v matici 30% (Nd jen 0,3 – 1 %), celková účinnost 20 %, TLE omezen - kvalitní výstupní svazek, čerpání na 940 nm, zadní zrcadlo rezonátoru na chladicím prstu, kompaktní provedení, výkony zatím do 1500 W.



Technické provedení diskových laserů (TRUMPF)

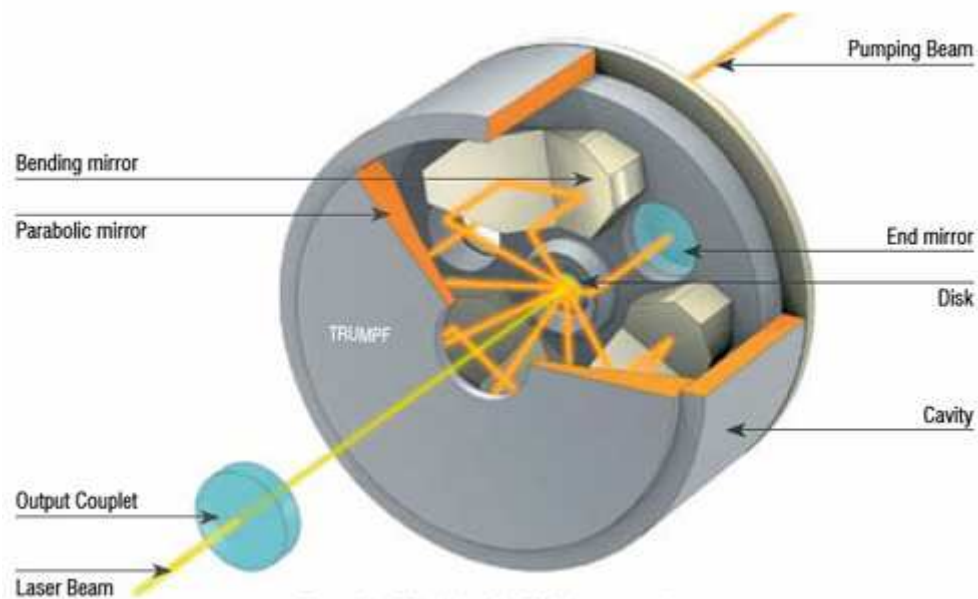


Figure 2 - Principle of a Disk Laser cavity

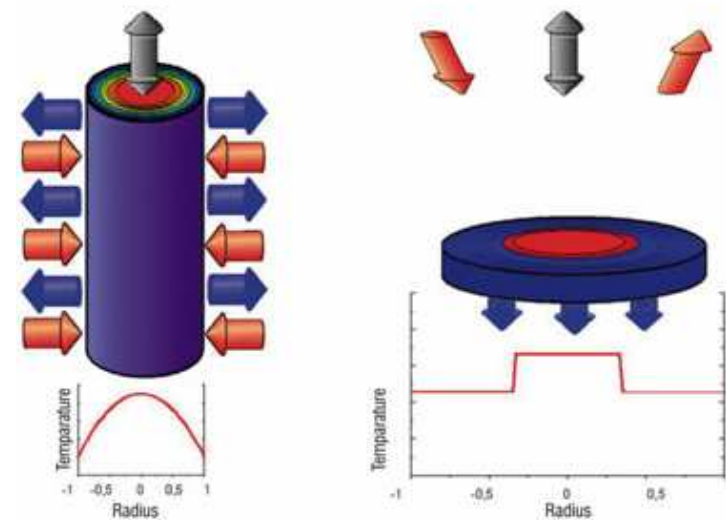


Figure 1

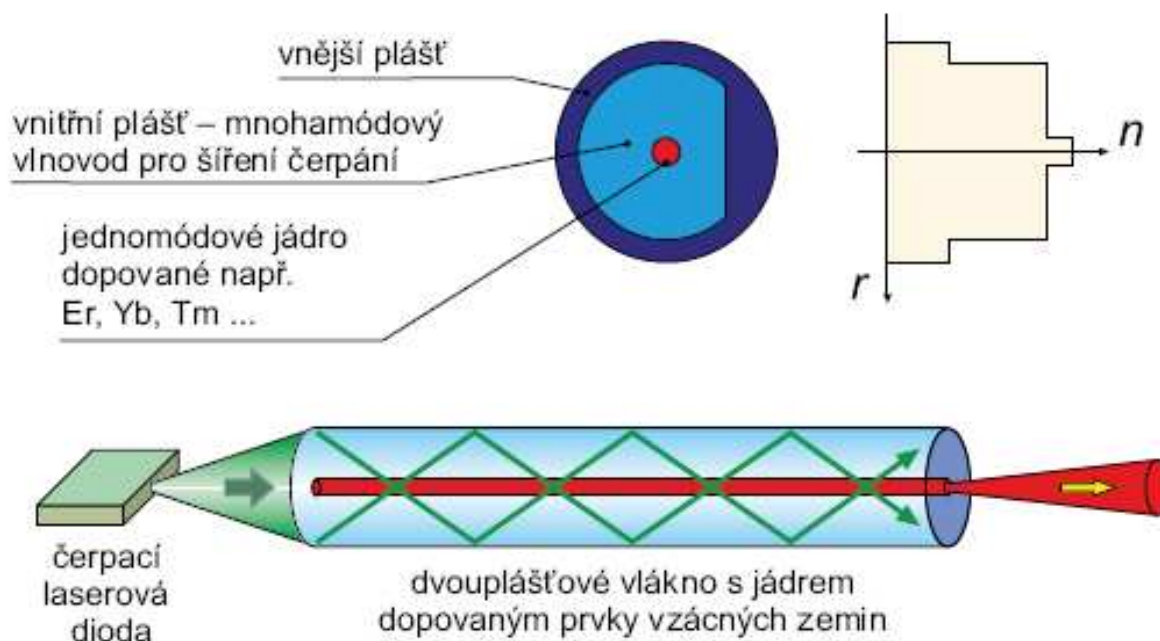
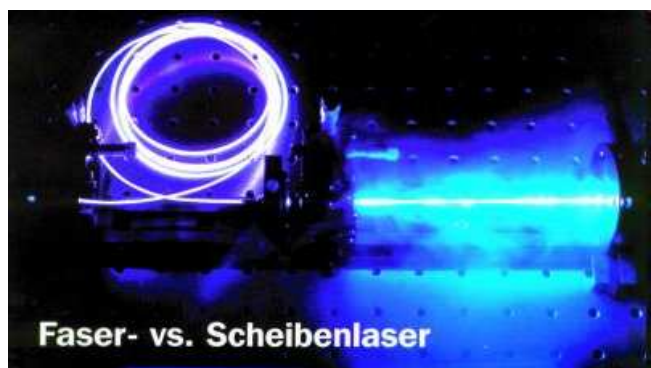
Vláknový (fiber) laser (Faser)

Aktivní prostředí – křemíkové vlákno o průměru 1 – 6 mikronů, délka několik metrů, dopované ionty Yb, Er, Th, Nd

Rezonátor – Braggovy mřížky (mřížka tvořená velkým počtem pásů s různým indexem lomu) jako zrcadla

Buzení - laserové diody kolmo na průřez vlákna, šíření odrazem na vnitřní straně pláště

Odkaz: http://www.ufe.cz/docs/articles/10_Peterka_CesCasFyz_50_let_laseru-vlaknove_lasery.pdf

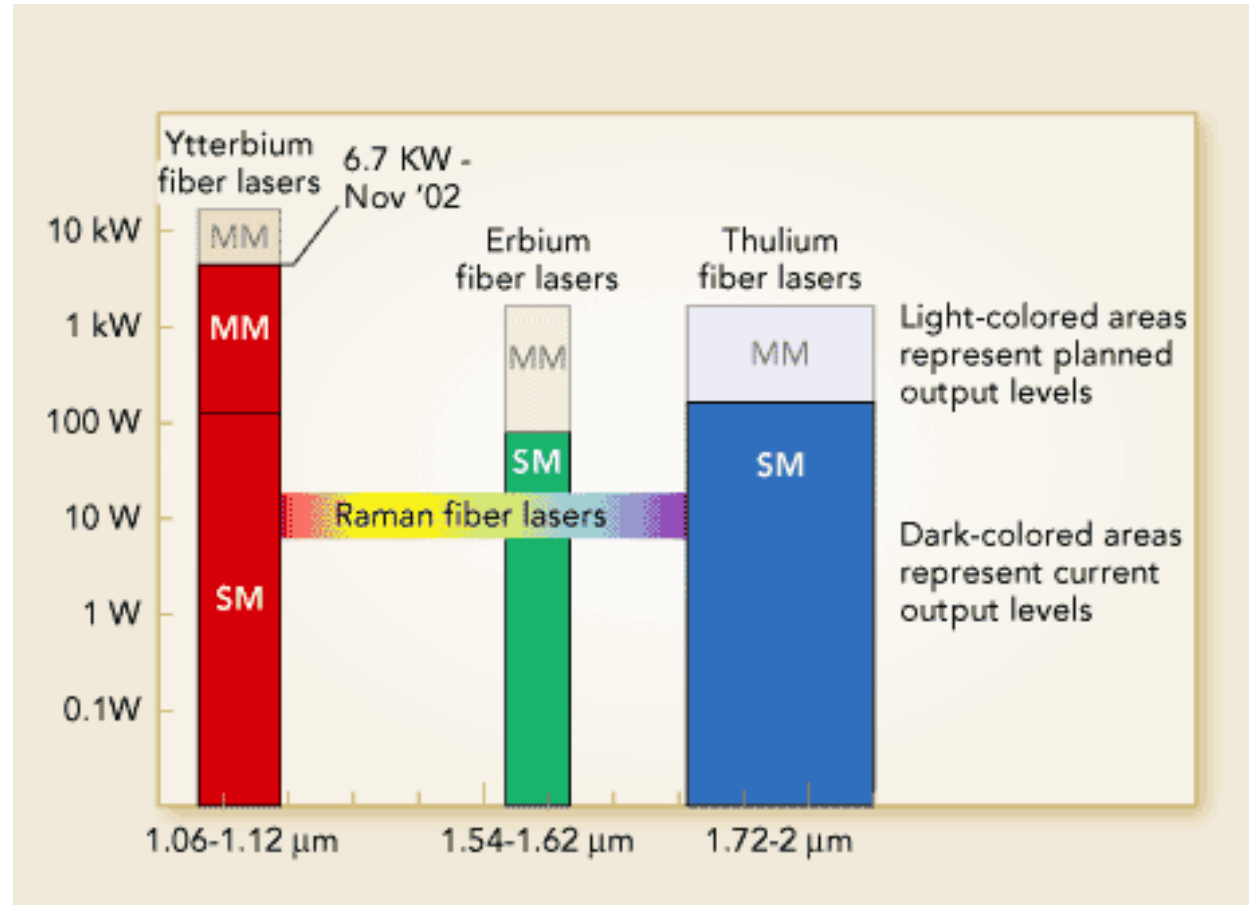


Obr. 5 Princip čerpání aktivního vlákna přes plášť.

Vláknový (fiber) laser (Faser)

Vlnové délky a výkony podle druhu dopantu:

Výkon z jednoho vlákna až 200 W, vyšší výkony svazek vláken)

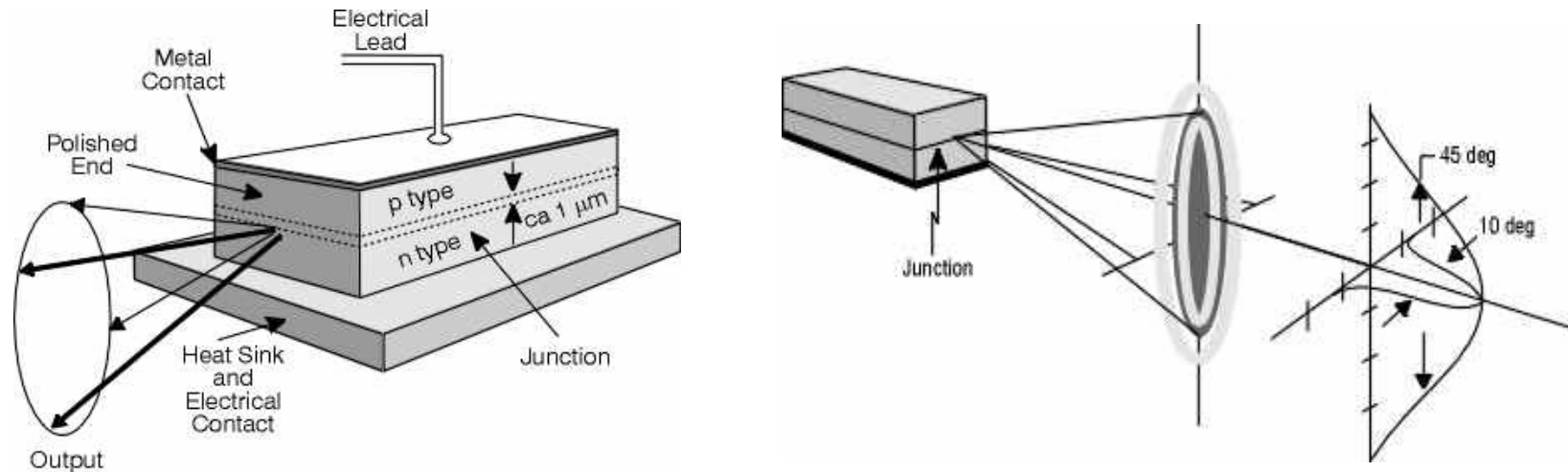


http://filip.fd.cvut.cz/vyuka/tks/kolin_edfa_vlaknovy_laser.pdf

<http://www.mmspektrum.com/clanek/slab-innoslab-kotoucovy-nebo-vlaknovy-laser>

Laserová dioda

Aktivní látka: polovodič (AlGaAs, InGaAsP), resp. jeho PN přechod o ploše 10^{-6} mm^2



Vlnová délka záření: viditelná až blízká IČ oblast spektra

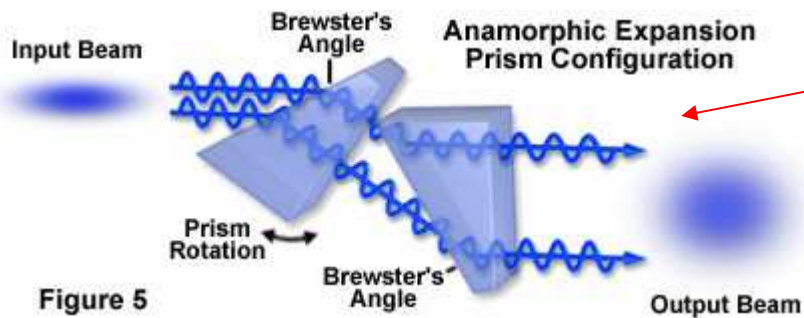
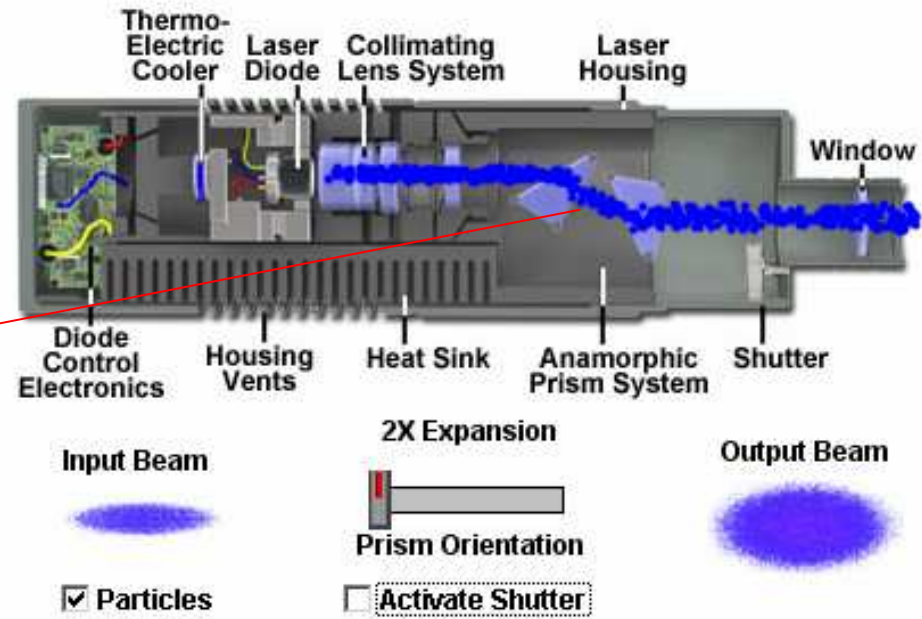
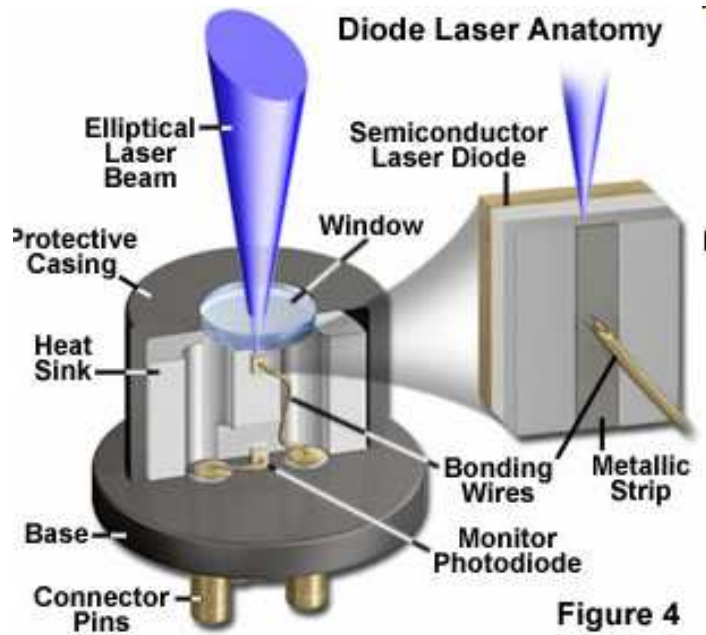
Výkon z jedné laserové diody: několik miliwattů

Fabry-Perottův **rezonátor:** je tvořen leštěnými plochami nosiče.

Chlazení: robustní kovový podstavec, ochlazovaný vzduchem nebo vodou.

Výstupní svazek má rozdílný profil a divergenci v horizontální a vertikální ose: v ose kolmé na PN přechod je to až 90 stupňů.

Laserová dioda - konstrukce



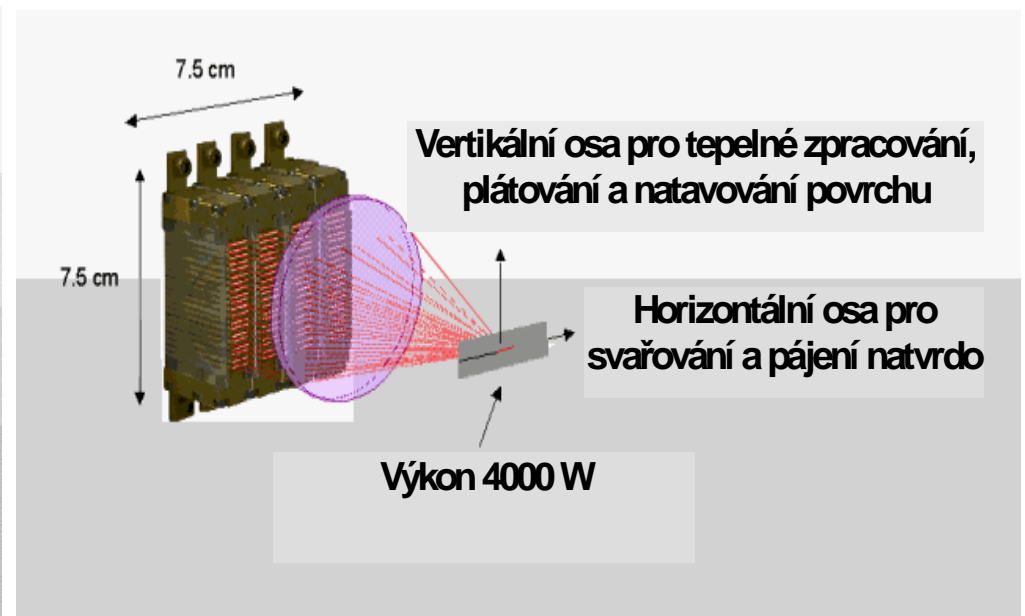
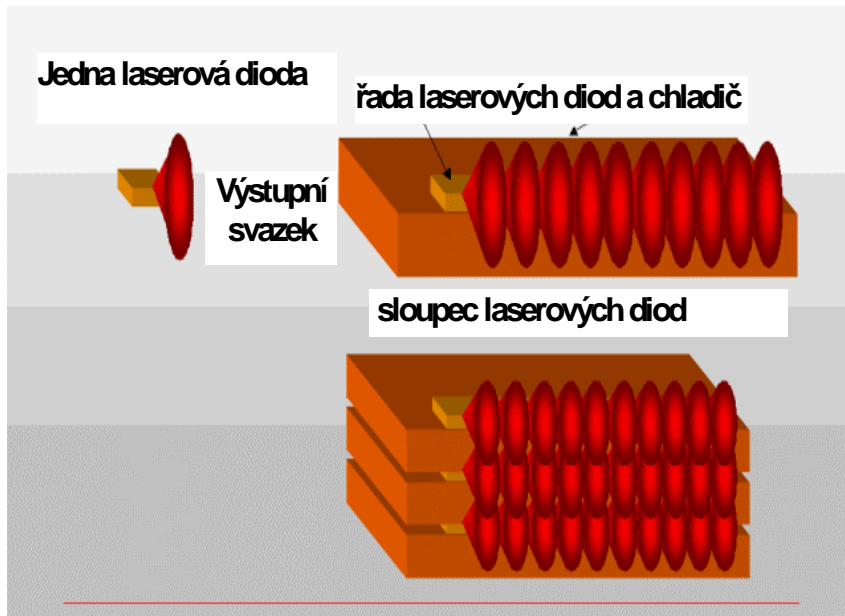
<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/lasers/diodelasers/index.html>

Vybrané druhy laserových diod

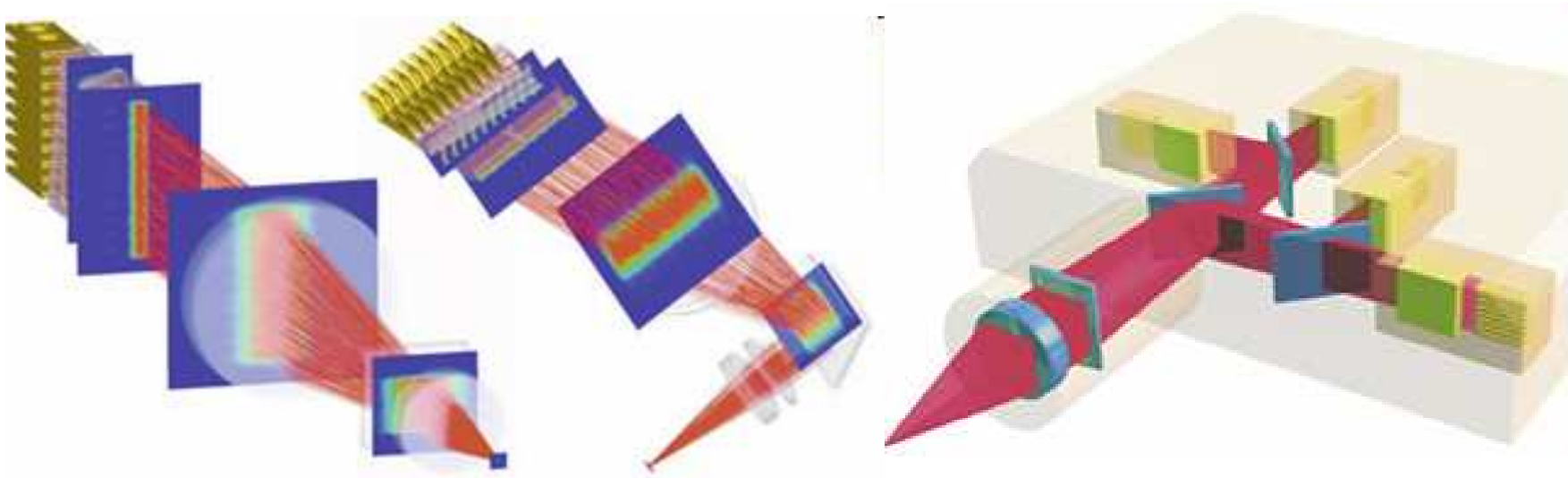
typ	λ	typické použití
InGaN	405 nm	Drivery pro Blue-ray disky a HD DVD
AlGaInP	635 nm	červené ukazovátko vyšší kvality
	657 nm	DVD drivery
	670 nm	červené ukazovátko nižší kvality
AlGaAs	760 nm	laserové tiskárny
GaAlAs	785 nm	CD přehrávače
GaAlAs	808 nm	Čerpání Nd:YVO4 a Nd:YAg laserů
	848 nm	myš
InGaAs	980 nm	Čerpání Yb:YAG laserů
AlGaAs	1064 nm	vláknové komunikace
GaInAsP	1300 nm	
	1550 nm	
GaSbAs	2004 nm	Detekce CO ₂
	2680 nm	

Diodový (polovodičový) laser

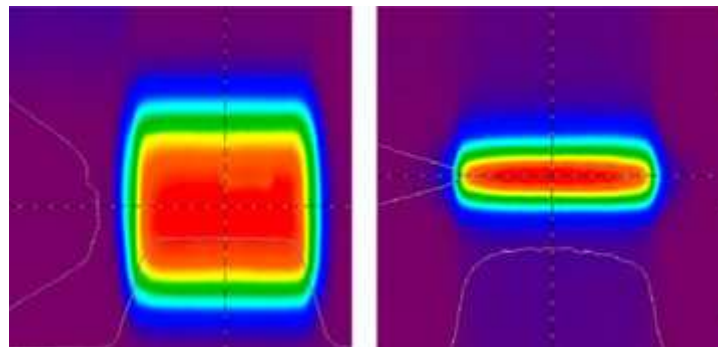
Pro dosažení vyššího výkonu (5 W – 20 W) se jednotlivé laserové diody spojují do řady (bar) o délce několika milimetrů, řady dále do sloupců (stacks) s výkonem až 600 W. Sloupce se řadí do bloků s výkonem několika kilowattů – vytvoří se diodový laser.



Diodový (polovodičový) laser – fokusace svazku



- a) homogenní svazek pro povrchové aplikace o rozměrech několika mm
- b) svazek pro řezání a svařování, fokusovaný na stopu v desetínách mm



Diodový (polovodičový) laser přímý

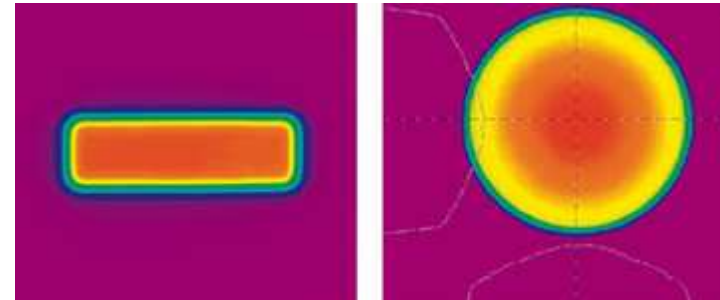


Významní výrobci: www.dilas.com, www.rofin.com, <http://www.laserline-inc.com>, <http://www.nuvonyx.com>

Vlnová délka 980 nm, výkony 25 W – 6000 W

- a) Zpracování výstupního svazku optikou přímo na výstupu z rezonátoru, upevnění „laser head“ (hlavice laseru) na translační zařízení
- b) Navázání svazku do vlákna a vedení do pohyblivé pracovní hlavy

Diodový (polovodičový) laser „fiber coupled“



BPP (mm.rad)	průměr vlákna (μm)	průměr stopy (mm)	max.výkon W
40	400	0,4	90 – 1400
60	600	0,6	180 – 3000
100	1000	1	300 – 6000
150	1500	1,5	400 - 6000

Výkonová nabídka „fiber coupled“ diodových laserů Laserline

Diodový (polovodičový) laser „fiber coupled

