

Lasery kolem nás

Hana Šebestová, Hana Chmelíčková, Lenka Řiháková

Společná laboratoř optiky Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky

17. listopadu 50a, 772 07 Olomouc, 585 631 579, hana.sebestova@upol.cz

Obsah

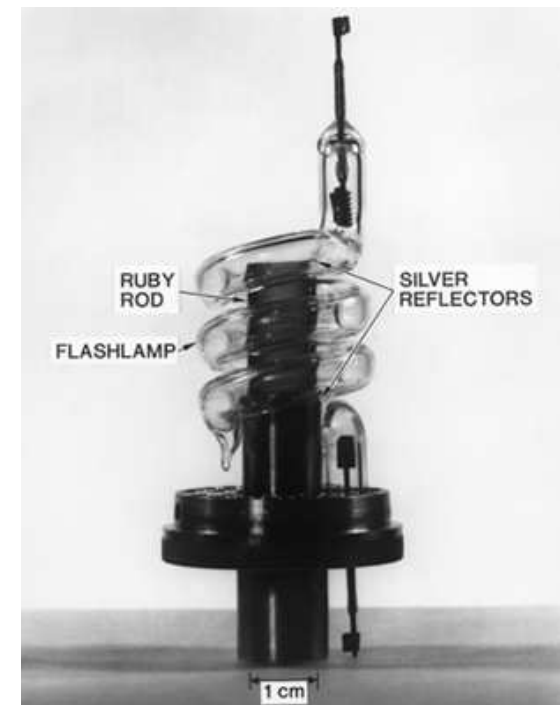
1. Úvod
2. Laser a jeho fyzikální podstata, vlastnosti laserového záření, kvalita svazku
3. Konstrukce laseru - základní součásti laserových systémů
4. Klasifikace laserů
5. Současné využití laserů
 - **Lasery v domácnostech a kancelářích...**
 - **Lasery v medicíně**
 - **Laserové zaměřování a měření vzdáleností**
 - **Laserová bezdrátová komunikace**
 - **Restaurování památek a laserové dekorace**
 - **Průmyslové aplikace výkonových laserových systémů**
 - **Laserové zbraně**
6. Trendy v oblasti laserů a laserových systémů
7. Bezpečnost práce s lasery
8. Závěr a diskuze

1. Úvod

- laser je zdrojem zvláštního druhu světla, které se v přírodě nikde nevyskytuje - monochromatický směrovaný svazek s velmi nízkou rozbíhavostí (schopnost být zaostřen na velmi malý průměr)
- rozmanitost dostupných laserů - široké pole jejich možného využití - každá aplikace má svá specifika a je pro ni vhodný určitý typ laseru
- laser se postupem času stal nepostradatelným nástrojem nejen vědy a výzkumu, průmyslu, medicíny, ale i běžného života většiny členů moderní společnosti - pravděpodobně jen málokdo se nesetkal se žádným zařízením využívajícím laserové záření nebo naopak produktem vyrobeným za použití laseru...
- google - okolo 600 000 000 výsledků na dotaz „laser“

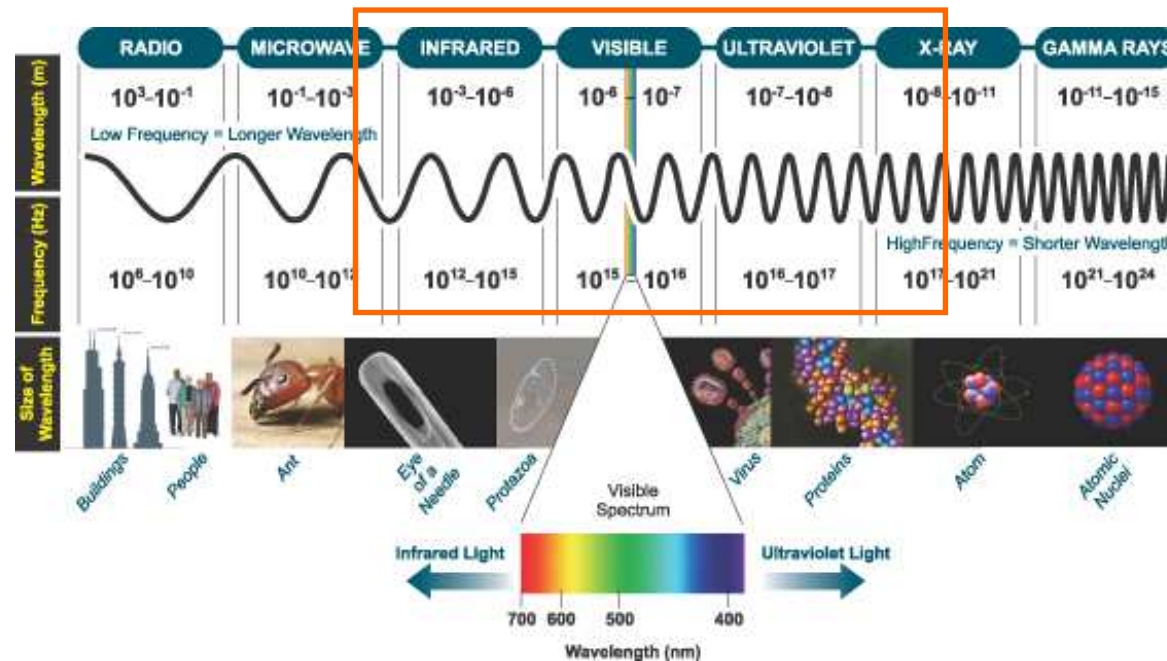
2. Laser

- **LASER** = **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiaton
- zesílení světla opakovanými průchody fotonů médiem se specifickými vlastnostmi (aktivní prostředí)
- **1917 Albert Einstein** předpověděl stimulovanou emisi, vznik záření neobvyklých vlastností
- **1928 Rudolf Ladenburg, Hans Kopfermann** poprvé pozorovali stimulovanou emisi
- **1960 Theodore Maiman** sestrojil **první funkční laser**
 - rubínový laser (Al_2O_3 dopovaný ionty Cr) 694,3 nm (velmi nedokonalý, účinnost < 1%, jen tři energetické hladiny - pouze pulsní režim)
- **1964 Nikolay Basov, Alexander Prokhorov a Charles Townes** získali **Nobelovu cenu** za **první kontinuální laser**
 - použití více energetických hladin (umožněno ustavení populační inverze) - souvislá činnost laseru



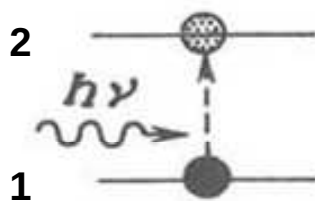
Laser

- brzy další typy laserů (různá vlnová délka, délka generovaných pulsů, konstrukce, výkon, účinnost) – rozšíření oblasti využití (neexistuje univerzální laser vhodný pro všechny aplikace)
- prudký vývoj laserů – výzkum – průmysl – běžný život
- současnost – lasery pokrývají velkou část spektra: IČ – VIS – UV – RTG – široký okruh možného využití

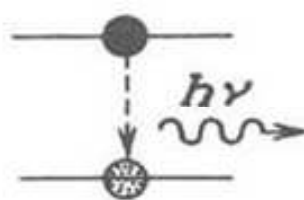


Fyzikální podstata laseru

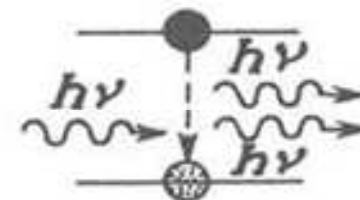
- laser je zdroj elektromagnetického záření (světla v širším smyslu), které vzniká při stimulovaných přechodech atomů z vyšších energetických stavů do nižších
- 3 základní typy interakce záření (fotonů) s hmotou (atomy)



absorpce



spontánní emise

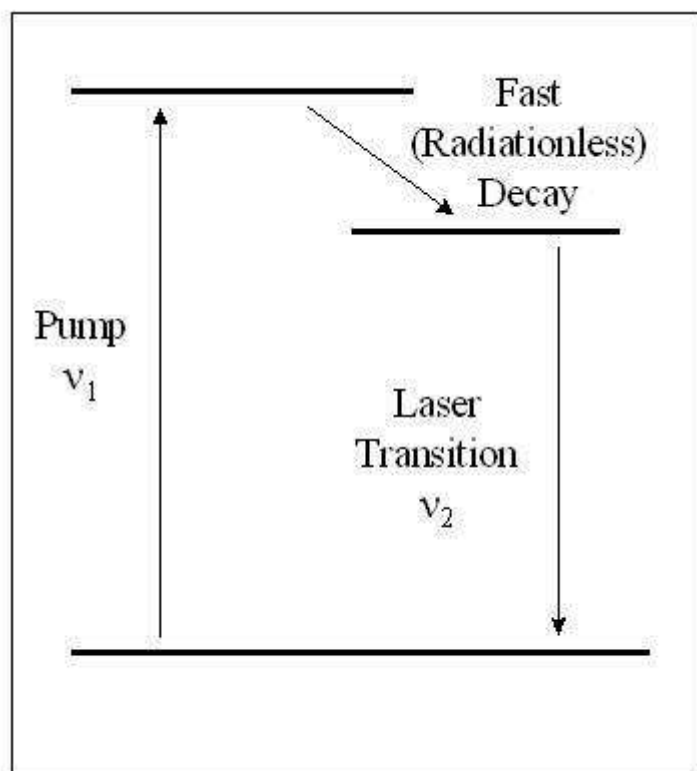


stimulovaná emise

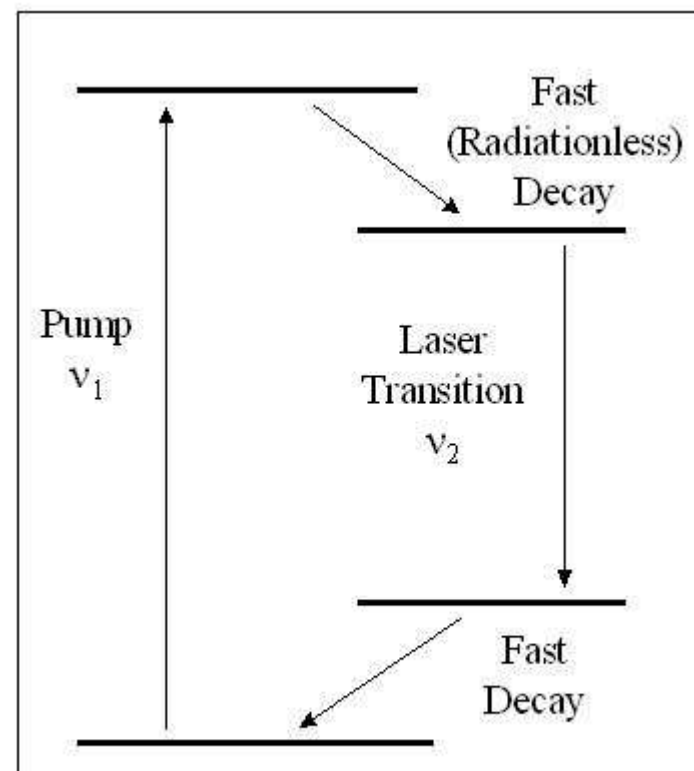
□ Stimulovaná emise

- na atom, který se nachází na hladině 2, dopadá záření (foton, elektromagnetická vlna) s frekvencí stejnou jakou by mělo spontánně emitované záření
- dopadající záření donutí atom přejít do stavu 1 za současné emise záření s energií odpovídající rozdílu energetických hladin 2 a 1 ($E=h\nu$)
- dopadající a emitované záření mají **stejný směr**, jsou ve **fázi**, **skládají se**, a tím dochází k **zesílení** původního záření – to může stimulovat další atomy k sestupu na nižší energetické hladiny – řetězová reakce – **laserování**
- nutným předpokladem souvislé stimulované emise je přítomnost inverzní populace, tedy přebytku částic ve vyšším energetickém stavu vůči počtu částic ve stavu nižším – lze toho dosáhnout jen v některých médiích (*aktivní prostředí*) pomocí dodávání energie

Schéma 3- a 4-hladinového laseru



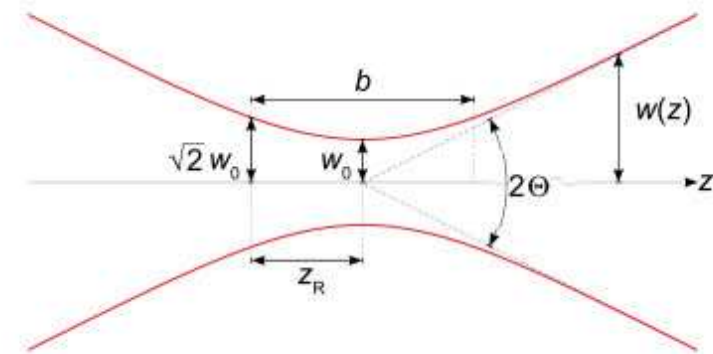
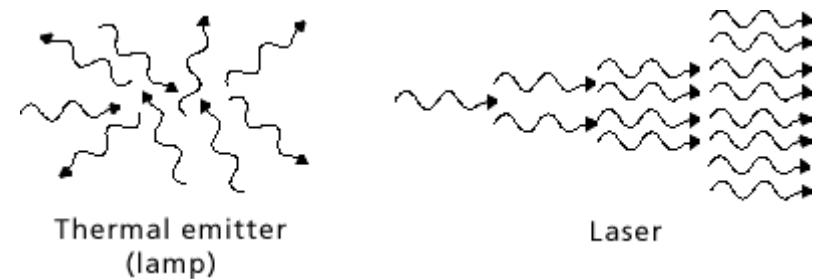
Three Level Scheme



Four Level Scheme

Vlastnosti laserového záření

- **monochromaticnost**
 - stimulovaně emitované fotony mají všechny stejnou vlnovou délku – jednobarevné světlo
- **vysoká prostorová i časová koherence**
 - koherence = míra synchronnosti vlnění
 - stimulovaně emitované fotony jsou ve fázi
 - nízká divergence svazku
- možnost fokusace na malý průměr svazku - **kvalita laserového svazku**
 - Beam Parameter Product *BPP*
 - faktor kvality svazku M^2
- vyšší kvality svazku dosahují lasery s nižší vlnovou délkou



$$BPP = w_0 \Theta \quad \Theta = M^2 \frac{\lambda}{\pi w_0}$$

3. Základní součásti laserů

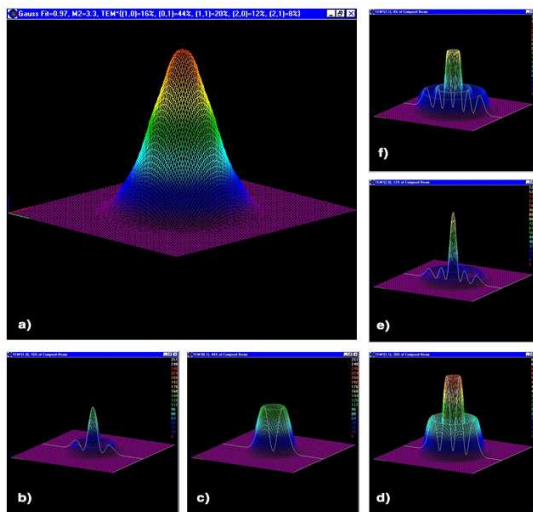
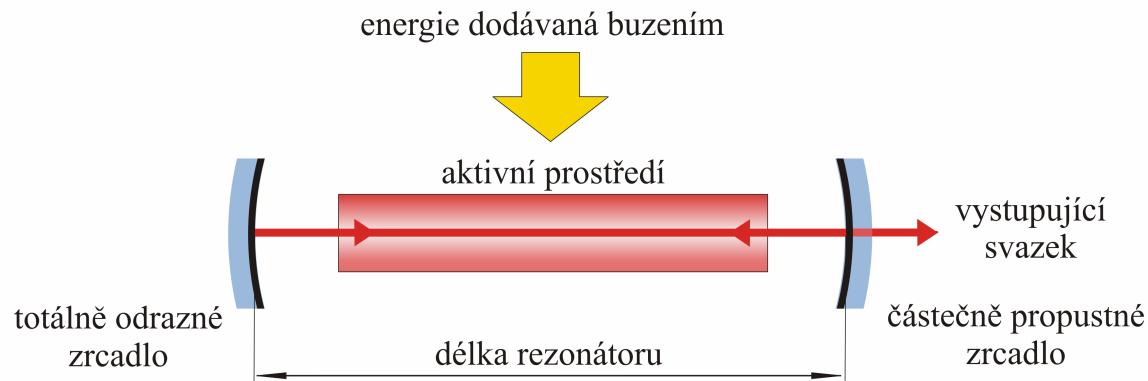
- **aktivní prostředí**
 - látka schopná zesilovat jí procházející záření
 - krystal, diodový přechod, plyn, kapalina
 - určuje vlnovou délku záření

- **čerpací (budící) zařízení**
 - dodává energii aktivnímu prostředí – zajištění inverzní populace
 - elektrický výboj, chemická reakce, optické záření

- **optický rezonátor**
 - zrcadla obklopující aktivní prostředí
 - dosažení vyššího počtu stimulovaných přechodů oproti spontánním
 - svazek vystupující z aktivního prostředí se odráží od zrcadla zpět do aktivního prostředí, kde funguje jako podnět k další stimulované emisi – zesílení svazku
 - po dosažení požadované intenzity opouští svazek rezonátor jedním ze zrcadel, které je částečně propustné

- + systém vedení svazku, chladicí systém, řídicí počítač, motorizované posuvy, roboti = **laserový systém**

Základní součásti laserů

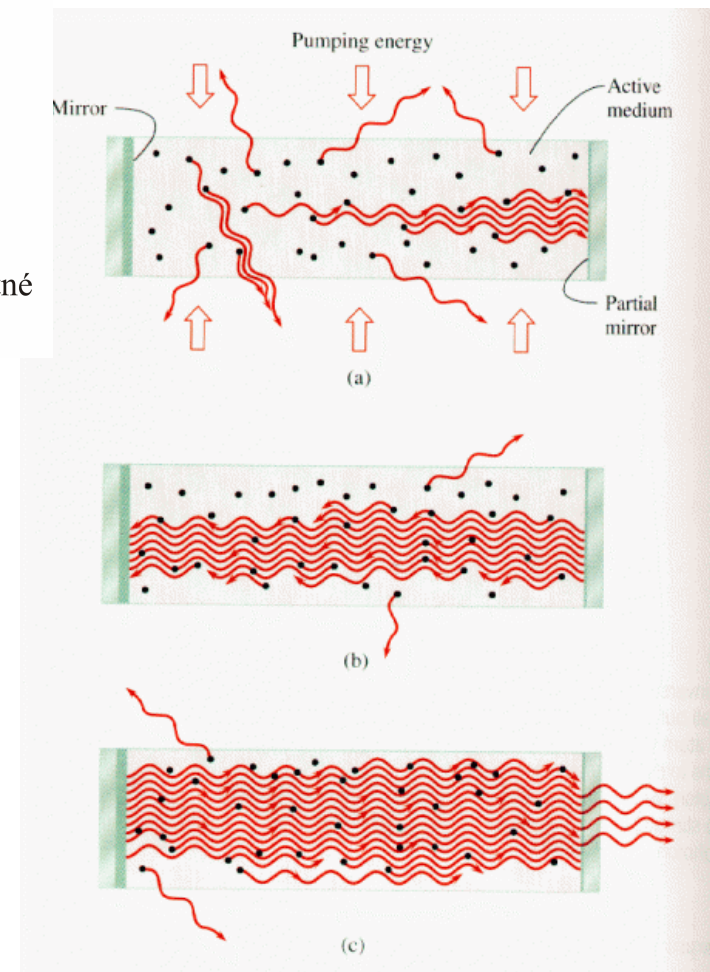


příčné módy svazku TEM_{xy}

- v rezonátoru délky L se zesilují pouze vlny splňující **rezonanční podmínku** (podélné módy)

$$L = n\lambda/2$$

- příčné módy – profil intenzity



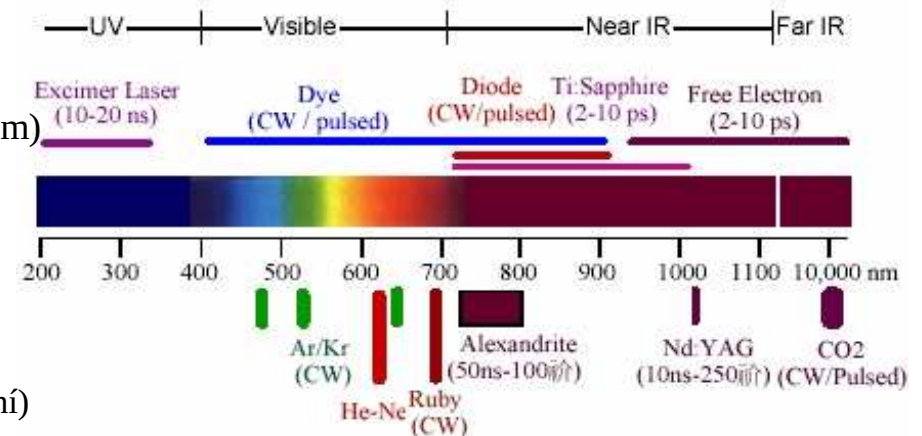
4. Klasifikace laserů

□ podle typu aktivního prostředí:

- **PLYNOVÉ** lasery: atomární: He-Ne, He-Cd, Cu, I
iontové: Ar, Kr
molekulární: CO₂, N₂, H₂
excimerové: XeBr, KrO, ArO
- **PEVNOLÁTKOVÉ** lasery: Nd:YAG, Nd:sklo, Er:YAG, Yb:YAG, Ti:safír, rubínový
- **DIODOVÉ** (POLOVIDIČOVÉ) lasery: GaAs, GaN, PbSnSe, InAsSb
- **KAPALINOVÉ** lasery: na bázi organických barviv: coumarin, fluorescein, cyanin, rhodamin, oxazine

□ podle vlnové délky emitovaného záření:

- **INFRAČERVENÉ** lasery (780 nm – 1 mm)
- lasery ve **VIDITELNÉ** oblasti (360 nm – 780 nm)
- **ULTRAFIALOVÉ** lasery (10 nm – 360 nm)
- **RENTGENOVÉ** lasery (0,01 nm – 10 nm)



□ podle režimu práce:

- **KONTINUÁLNÍ** lasery (nepřetržitá generace záření)
- **PULSNÍ** lasery (ns, ps, fs pulsy s vysokou opakovací frekvencí)
- **IMPULSNÍ** lasery (vysoce energetické pulsy s nízkou opakovací frekvencí)

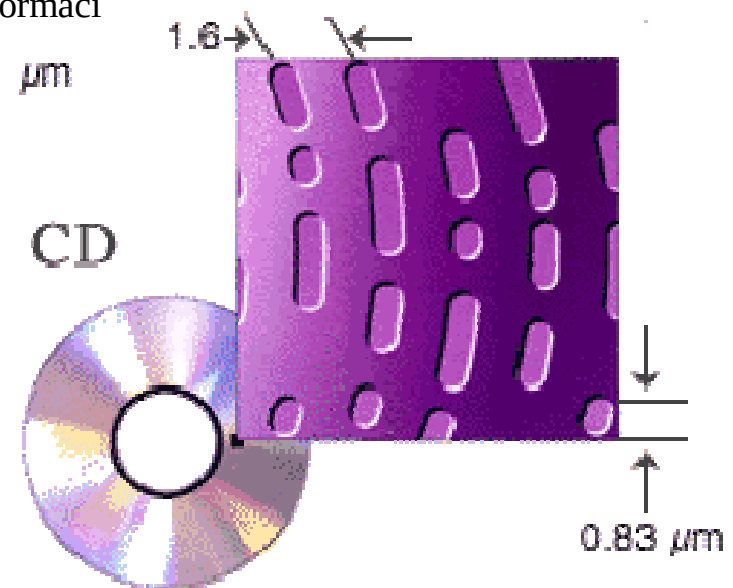
5. Současné využití laserů

- ☐ Lasery v domácnostech a kancelářích...
- ☐ Lasery v medicíně
- ☐ Laserové zaměřování a měření vzdáleností
- ☐ Laserová bezdrátová komunikace
- ☐ Restaurování památek a laserové dekorace
- ☐ Průmyslové aplikace výkonových laserových systémů
 - Laserové vrtání, řezání, svařování, zpracování povrchů
- ☐ Laserové zbraně

- ☐ a řada dalších aplikací: laserová interferometrie, holografie, spektrometrie, laserová manipulace...

Lasery v domácnostech a kancelářích...

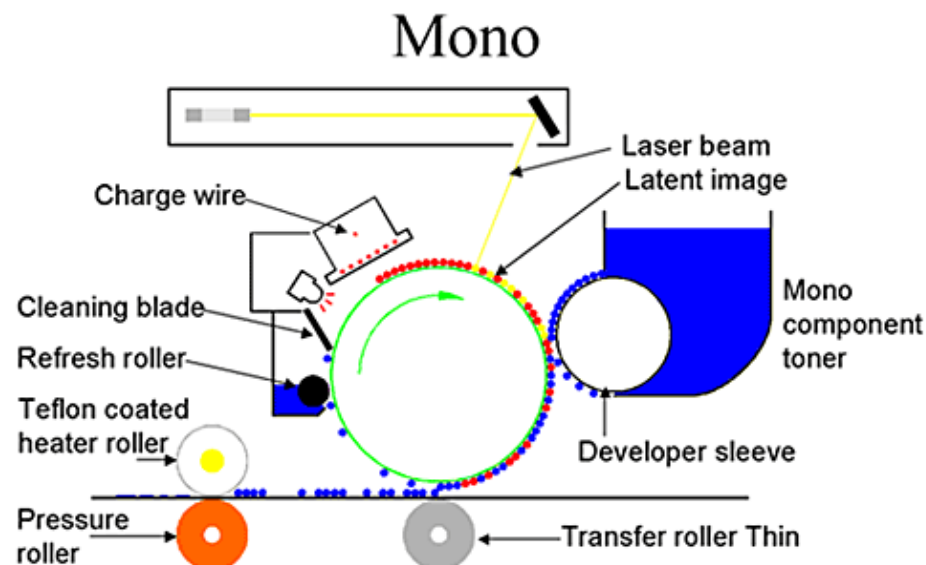
- **optická mechanika** – zápis a čtení digitálních dat pomocí laserového svazku
 - počítačové (CD, DVD, Blu-ray)
 - nepočítačové (CD a DVD přehrávače a rekordéry)
 - zapisovací polovodičový laser (780 nm pro CD, 650 nm pro DVD a 405 nm pro Blu-ray)
 - čočkou usměrněný laserový svazek (225 mW v pulsu pro DVD) dopadá na povrch zapisovatelného disku, který na vrstvě zlata či hliníku obsahuje organickou vrstvu krytou vrstvou polykarbonátu
 - laserový paprsek projde vrstvou polykarbonátu, propálí organickou vrstvu až k vrstvě zlata, a tím vytvoří důlek - série důlků pak reprezentuje konkrétní informaci
 - rychlost vypalování je úměrná výkonu použitého laseru
 - čtecí laser (do 5 mW) vysílá detekční svazek na otáčející se disk - místa s odpařenou organickou vrstvou odráží svazek s různou intenzitou než místa neovlivněná - změny intenzity zaznamenává fotodioda, která je převádí na elektrický signál, který se dále zpracovává



Lasery v domácnostech a kancelářích...

□ laserová tiskárna

- světlocitlivý válec s povrchovou polovodičovou elektricky nabitou vrstvou
 - laserový paprsek vykresluje na světlocitlivý válec požadovaný obraz - v místě dopadu laserového svazku významně poklesne náboj válce
 - na povrch válce je pak nanesen toner (prášek nabitý na stejnou polaritu jako válec) - přilne pouze na místech, která byla ovlivněna laserovým paprskem (mají opačný náboj), v ostatních částech povrchu válce je toner odpuzován
 - uchycený toner se otiskne na papír a proběhne jeho tepelná fixace
 - mechanický stěrač setře zbytky toneru z válce a odvede se i jeho náboj - válec je připraven pro vykreslení dalších obrazů
-
- vyšší kvalita tisku a nižší náklady na tisk (vyšší pořizovací cena) ve srovnání s inkoustovou tiskárnou



Lasery v domácnostech a kancelářích...

☐ laserová myš

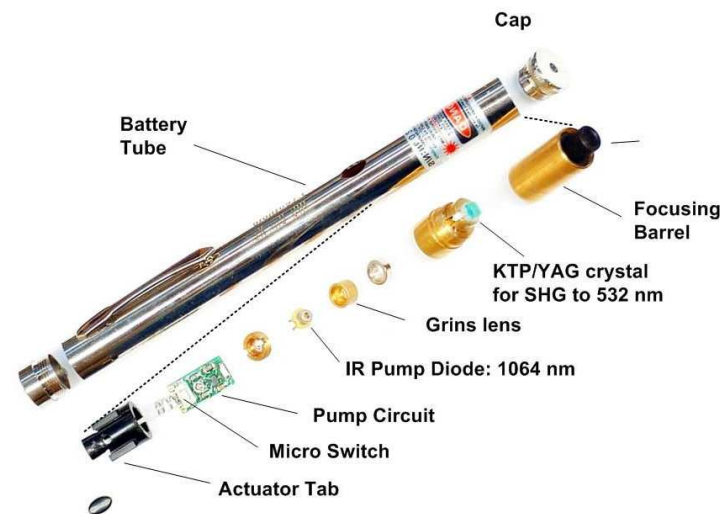
- vyšší rozlišení než optické myši s LED technologií
- intenzivní úzký svazek červeného laseru dopadá na podložku – odráží se – detekován senzorem
- senzory s vyšším rozlišením, výkonnější mikroprocesor

☐ laserové ukazovátko

- **červené** (650 nm, diodový): 1 mW, 5 mW (dosvit stovky metrů)
- **zelené** (532 nm 2.harm. Nd:YAG): 5 mW, 30 mW, 200 mW (dosvit několik km, na krátkou vzdálenost propálí tenký plast, zapálí zápalku)
- **modrofialové** (405 nm, diodový): 5 mW, 50 mW, 200 mW (méně výrazný; vyvolává fluorescenci - prosvěcování minerálů, na krátkou vzdálenost zapaluje předměty, propaluje plasty, v blu-ray vypalovačkách) – riziko poškození zraku i odraženým paprskem (IIIb, v USA nelegální nad 5mW – zbraň!)

☐ hračky s laserem !

- viz Bezpečnost práce s lasery



Lasery v domácnostech a kancelářích...

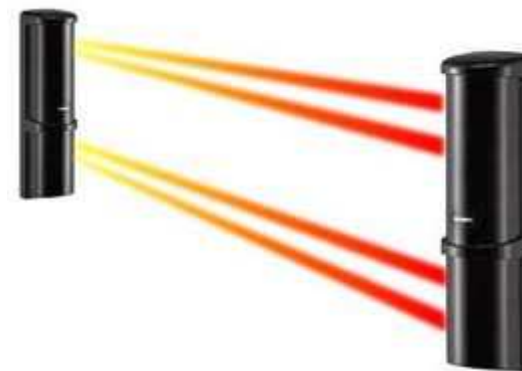
☐ **nářadí se zaměřovacím laserem**

- přímočará pilka



☐ **laserové závory a alarmy**

- zdroj laserového záření + senzor
- laserový svazek míří na senzor, který detekuje maximální intenzitu záření - při přerušení paprsku osobou nebo předmětem) zaznamená senzor významný pokles intenzity (detekuje pouze okolní světlo, ne laser)
- změna intenzity - podnět k reakci, např. ke spuštění zvukového alarmu



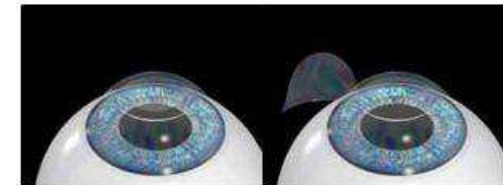
☐ **laserové snímače čárových kódů**

- čárový kód = tmavé proužky na světlém podkladu
- dopadající svazek se odráží od světlých a tmavých ploch různou měrou – zaznamenává se změna intenzity odraženého svazku – detekce kódu – přiřazení výrobku



Lasery v medicíně

- ❑ 1961 první operace rubínovým laserem (USA) – přivaření odchlípnuté sítnice lidského oka
- ❑ ve stejné době bylo vyzkoušeno působení laseru na kůži při odstraňování červených skvrn na kůži (ohěň) a kožních nádorů
- ❑ 1964 první chirurgický CO₂ laser
- ❑ 1965 první pokusy laserových operací duhovky, představen Nd:sklo laser
- ❑ postupně argonový laser (silná absorpce hemoglobinem – koagulace krve a cév), kryptonový laser, pulsní Nd:YAG, Er:YAG, excimerové, diodové lasery
- ❑ přenos záření do vnitřních orgánů pomocí optických vláken
- ❑ invazivní (operační) / neinvazivní (biostimulační) lasery
- ❑ **oftalmologie** (korekce krátkozrakosti, dalekozrakosti, astigmatismu atd.)
- rychlé, méně bolestivé a často jen ambulantně
- ❑ **stomatologie** (desenzibilizace citlivých zubních krčků, sterilizace kořenových kanálků, léčba oparů a aft, léčba paradentózy, chirurgie měkkých tkání)
- ❑ **plastická a estetická chirurgie** a **dermatologie** (laserové omlazení pleti, korekce vrásek, odstranění žilek či tetování, laserová liposukce)
- ❑ **kardiovaskulární chirurgie** (rozbití krevních sraženin, operace cév),
neurochirurgie, gynekologie (odstranění nádorů, labioplastika), **urologie** (rozbíjení močových kamenů)
- ❑ vysoká přesnost zásahu, intenzivní lokální účinek, řez tkání je doprovázen koagulací – cévy se teplem uzavřou – rána nekrvácí
- ❑ součástí diagnostických zařízení - optický koherentní tomograf, skenovací laserový oftalmoskop, konfokální mikroskop



Step 1: Corneal flap is created with a microkeratome.

Step 2: The corneal flap is folded back.

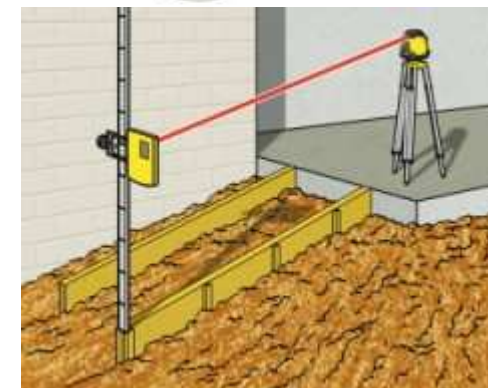


Step 3: Excimer laser beam reshapes the cornea.

Step 4: The corneal flap is folded back in place.

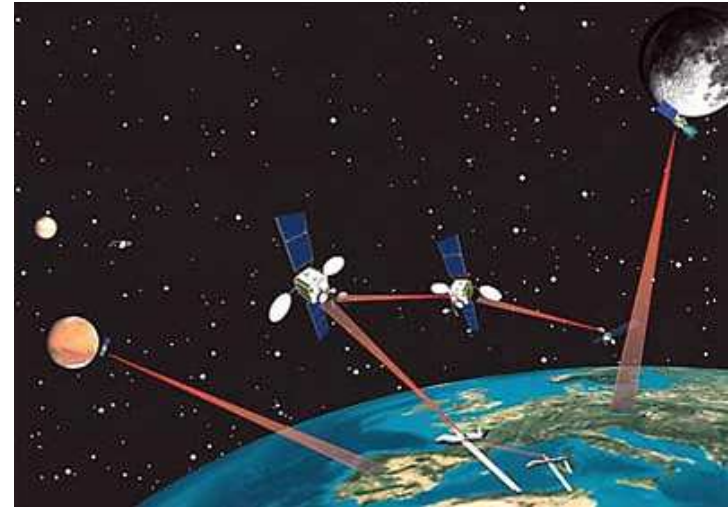
Laserové zaměřování a měření vzdáleností

- kontrola přesnosti miniaturních součástí – submikronová měření (laserové konfokální mikroskopy)
- přesné odměřování nanometrových vzdáleností (laserová interferometrie)
- měření vzdálenosti velkých objektů - **laserový radar**
 - vyslání světelného impulsu (rubínový, Nd:YAG laser) – odraz od měřeného objektu – detekce odraženého svazku
 - založen na měření času, který uplyne od vyslání světelného impulsu k jeho detekci
 - dosah < 20 km při měření pozemních objektů, letadel či lodí s přesností několika decimetrů
 - použití laserových odražečů (vyšší intenzita odraženého svazku) – měření velkých vzdáleností s přesností několik mm (vzdálenost umělých družic Země 10 000 km, nejvzdálenější měřený objekt - Měsíc (384 400 km))
- studium dynamiky zemských družic
- geofyzika (pohyb kontinentů - až 5 cm za rok)
- geodézie (navíc He-Ne laser pro vytyčování tras)
- stavebnictví (zaměřování, nivelační lasery pro vytyčování vodorovné roviny a pravých úhlů, kompaktní laserové dálkoměry – běžně až 40 m / $\pm 2\text{mm}$)
- policejní radary



Laserová bezdrátová komunikace

- založena na přenosu signálu laserovým svazkem
- laserový vysílač generuje světelné paprsky s nízkou rozbíhavostí (do 6 mrad) – paprsek nesoucí informaci se šíří prostředím k přijímači - prochází aperturou a promítá se na detekční prvek pro dekódování přenášené informace
- nízká intenzita používaných laserů – nehrozí žádné ohrožení zdraví či majetku
- velmi vysoká kvalita a rychlost přeneseného signálu i dosah přenosu
- používají se lasery v rozsahu optických vlnových délek - nedochází k znečišťování životního prostředí vyzařováním
- velmi úzký laserový svazek – velmi obtížné rušení či odposlouchávání - přenos šifrovaných zpráv
- komunikace mezi stacionárními pozemními objekty i satelitní optické spoje (Země-družice, družice-letadlo - poprvé v r. 2006)
- výhody oproti rádiové komunikaci
 - přenosové rychlosti (až 2,5 Gbit.s⁻¹)
 - nemožnost vzájemného rušení
 - možnost vysílání bez kmitočtové licence (mimo regulované spektrum)
 - příznivý poměr cena/výkon
- nedostatky laserové komunikace
 - potřeba přímé viditelnosti vysílače a přijímače
 - značný útlum záření v atmosféře (použití více svazků)



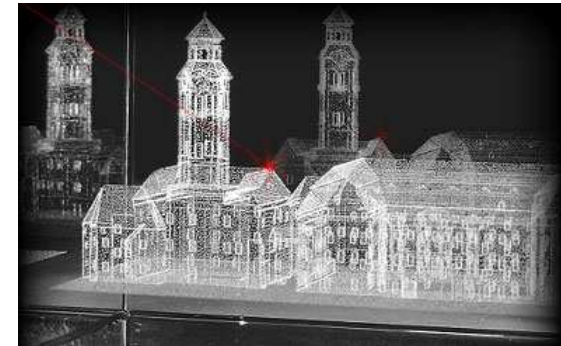
Restaurování památek

- excimerové a vláknové lasery - restaurování obrazů, soch
- odstranění několik desítek mikrometrů (definovaně pomocí pulsních laserů) tlusté nežádoucí vrstvy starého laku nebo nánosů prachu či sazí a postupně tak odhalit původní barevnost



Laserové dekorování skla

- v místě dopadu fokusovaného svazku (CO_2) dojde k částečnému odpaření skloviny a jejímu povrchovému popraskání - vzniklé prasklinky rozptylují dopadající světlo - vzniká efekt zářivého dekoru (levnější než pískování)
- 3D objekty uvnitř skleněných bloků (Nd:YAG) - záření prochází sklem a vytváří malou stopu pouze v místě, na které je fokusováno (rozmítání svazku a přeladování polohy ohniska)

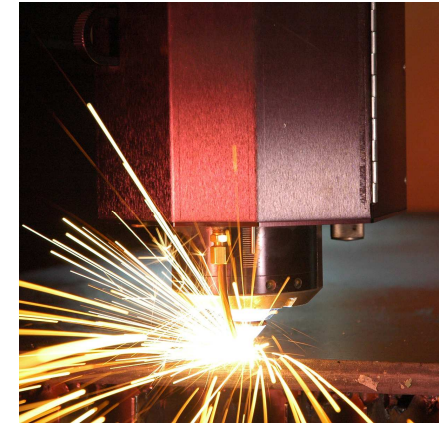


Průmyslové aplikace výkonových laserových systémů

- interakce záření s technickými materiály - od 2. pol. šedesátých let
- výkonové systémy (desítky W – desítky kW)
- fokusace svazku na velmi malý průměr - vysoká plošná hustota výkonu
- dnes nepostradatelný nástroj

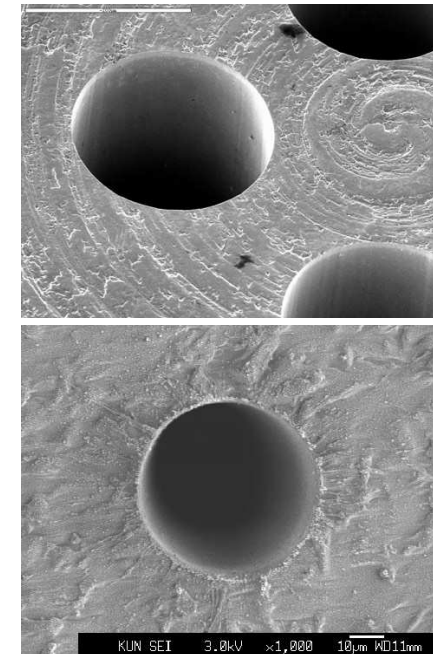
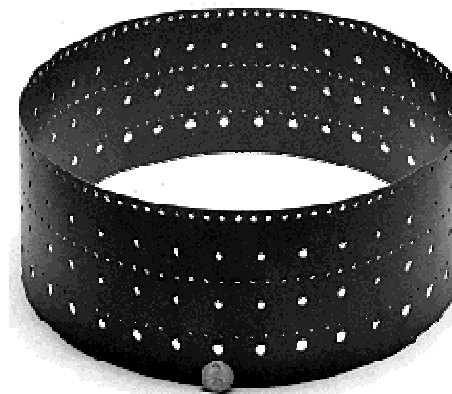
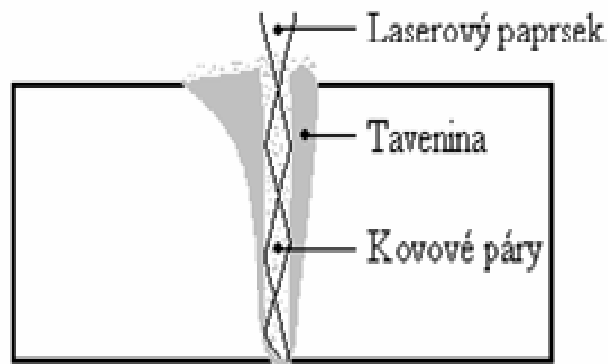
- vrtání – řezání – svařování - úprava povrchů

- přednosti použití laseru
 - přesnost, opakovatelnost, vysoká kvalita provedení
 - možnost automatizace, bezkontaktní metoda
 - minimální ovlivnění okolí místa dopadu svazku (obrábění tepelně citlivých součástí)
 - možnost zpracování materiálů, které jsou běžnými metodami obtížně zpracovatelné
 - vrtání křehkých materiálů (keramika)
 - svařování plastů, svařování materiálů obsahující složky s výrazně rozdílnou teplotou tavení, hybridní svary
 - mikro aplikace – úzký svazek
 - elektronické součástky
 - medicínské komponenty (stenty)



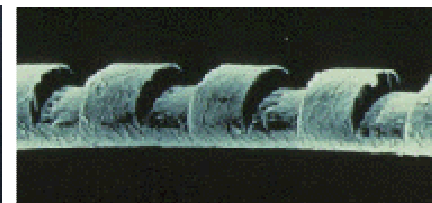
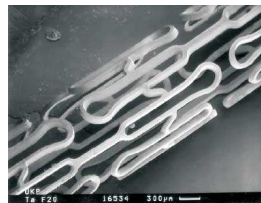
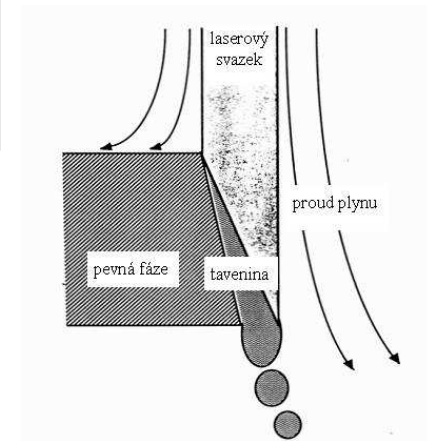
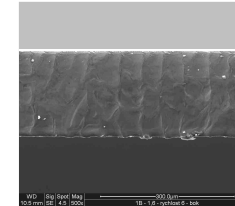
Laserové vrtání

- poprvé v r. 1965 - příprava otvorů v diamantových průvlacích pro tažení drátů (rubínový laser)
- založeno na odpařování materiálu – vyžaduje vysokou hustotu výkonu dopadajícího laserového svazku (10^6 W.cm^2)
- lokálně ohřev materiálu po dopadu svazku - částečné odpaření – dutina *keyhole* - uvnitř mnohonásobné odrazy záření – nárůst absorpce - prohloubení otvoru
- především pulsní lasery (v závislosti na výkonu - úplná penetrace po dopadu jediného pulsu / série pulsů)
- kovy, plasty, dřevo, sklo, keramika atd.



Laserové řezání

- úzké, přesné a hladké řezy bez okují
- kolmé hrany i při větších tloušťkách materiálu
- zpravidla nejsou nutné žádné další úpravy
- hloubka řezu závisí na výkonu laserového systému a na druhu řezaného materiálu (např. 20 mm ocelový plech - průměrný výkon 5 kW)
- různé technologie řezání
 - **odpařovací** (vrtání + pohyb pracovní hlavy nebo stolu)
 - **tavné** (natavení + vysokotlaký plyn)
 - **kontrolovaný lom** (ohřev tenké povrchové vrstvy nefokusovaným svazkem - pnutí v okolí – je-li přítomen vrub (např. vytvořený fokusovaným svazkem o nízkém výkonu), vzniká trhлина - růst - šíření – lom)
 - **laserové orýsování** (série otvorů (částečná nebo úplná penetrace) pomocí laserového svazku s nízkou energií a vysokou plošnou hustotou výkonu (odpaření) - zeslabení materiálu - mechanický lom)
 - **studené řezání** - excimerové lasery – narušení molekulárních vazeb
- kovy (nad 1 kW), keramika, slinuté karbidy, dřevo (nad 200 W), plasty, textilie, kůže, sklo atd.



Laserové svařování

- tavné svařování - zdroj s vysokou plošnou hustotou výkonu
- na 1 cm délky svaru připadá relativně malá energie 1 kJ (elektronový svazek – 2 kJ, elektrický oblouk – 22 kJ, acetylen-kyslíkový oblouk – 52 kJ) – užší tepelně ovlivněná oblast
- velké nároky na přípravu svařovaných dílů (mezera by neměla překročit čtvrtinu šířky stopy)
- asi 15 % využití CO₂ a Nd:YAG laserů v průmyslu, rozvoj použití polovodičových laserů

- **technologie svařování podle hustoty výkonu svazku**



- **kondukční** - do 10^6 W.cm^{-2} , malá hloubka svaru (desetiny mm, šířka > hloubka), velmi hladký povrch - výroba miniaturních součástí (elektronika)

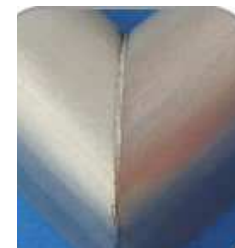
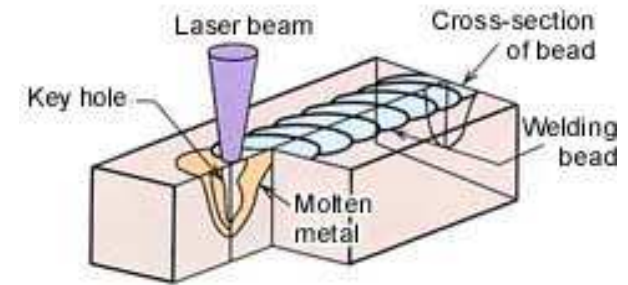


- **keyhole** - nad 10^6 W.cm^{-2} , lokální ohřev - odpaření - vytvoření dutiny - absorpce laserového záření i na stěnách dutiny, velký poměr hloubka:šířka



- **penetrační** - podobně jako u „keyhole“ svařování dojde k odpaření, ale tlak vzniklých par není dostatečný, aby udržel otevřený plynový kanál - není stabilní, průvar až 2,5 mm, méně účinný než „keyhole“, ale často dostatečný

- automobilový průmysl (převodové systémy, písty, tlumiče, dveře, podlahové panely, karoserie), letecký průmysl, bimetallické listy pil, žiletky, trubky, vysokotlaková zařízení, elektronika - hermeticky těsná miniaturní pouzdra (relé, tranzistory), svařování kontaktů, zdravotnická technika



Laserové zpracování povrchů



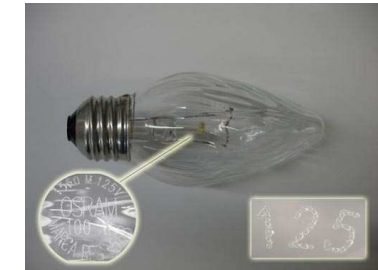
☐ laserový popis

- v současnosti nejrozšířenější aplikace
- 10 – 100 W podle požadované hloubky
- odstranění nebo modifikace vrstvy materiálu
- odolnost, stálost, kontrast, rychlost až 4 m.s^{-1} s rozlišením 0,002 mm.
- gravírování – hloubkové značení
- kovy i nekovy (značení skel automobilů, popis plastových součástí klávesnic, reklamní předměty...)



☐ plátování, legování, přetavování

- sycení roztaveného povrchu určitým prvkem nebo nanášení vrstev
- zpevnění základního materiálu, zvýšení korozní odolnosti, odolnosti proti opotřebení...



☐ kalení

- zachování houževnatého jádra materiálu, zvýšení tvrdosti povrchu
- desítky mm.s^{-1} (10 kW CO_2) – rychlé ochlazení – zakalení do hloubky desítek μm (jemný martenzit)
- směnou struktury můžeme dosáhnout i zvýšení korozní odolnosti
- 2x větší životnost než při klasickém zakalení
- pro menší plochy – ms puls, desítky J



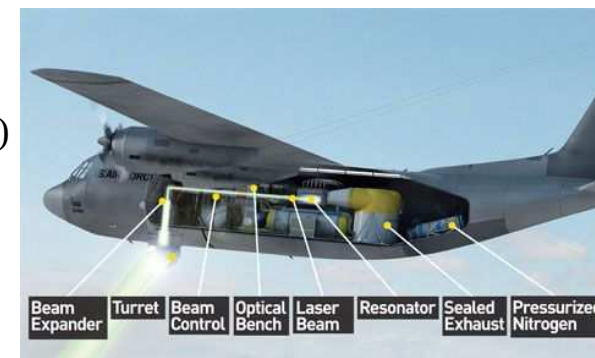
☐ žíhání

- snížení počtu defektů v mřížce kovu – rekrystalizace



Laserové zbraně

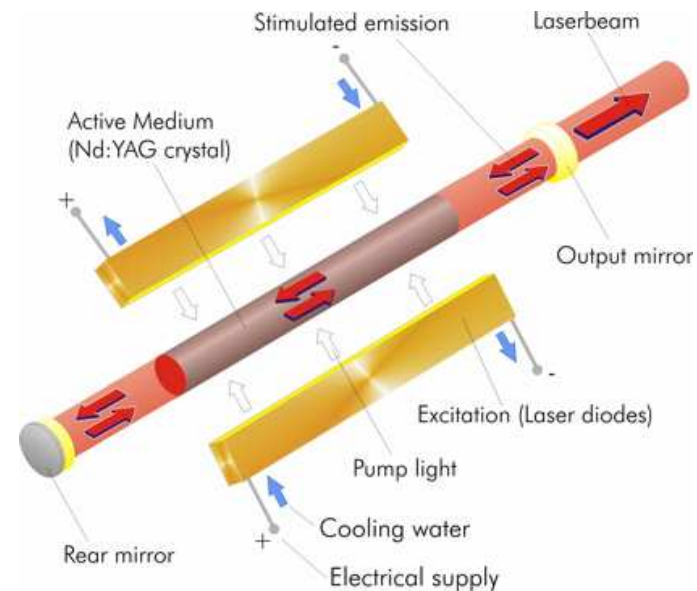
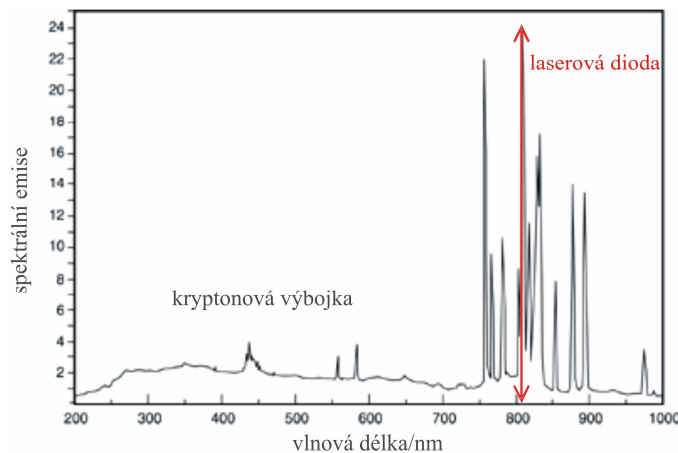
- ❑ vývoj laserových zbraní ve většině vyspělých zemí světa
- ❑ **laserové zbraně** (pozemní laserové zbraně, laserové pušky, lasery vyzbrojená letadla nebo družice)
- ❑ **ochrana před jinými zbraněmi** (k ničení nepřátelských raket, granátů a min)
- ❑ vysoká hustota výkonu
- ❑ vysoká rychlost šíření laserového svazku, není nutné počítat s pohybem cíle vůči zbraní
- ❑ laserové paprsky jsou obvykle okem neviditelné, jsou neslyšitelné - nehrozí prozrazení pozice zbraně
- ❑ hlavní nedostatky
 - energetická náročnost laserů z důvodu jejich nízké účinnosti (omezený vývoj přenosných laserových zbraní)
 - nutnost přímé viditelnosti cíle a silná absorpce záření některých vlnových délek atmosférou - omezení dosahu laserových zbraní
- ❑ výkony laserových zbraní
 - stovky W (pro oslnění osob nebo optických senzorů – běžná součást výzbroje armády i bezpečnostních sborů, oslepující pušky)
 - desítky kW (pro likvidaci přístrojů nebo osob)
 - stovky kW (pro sestřelování vzdušných cílů)
 - stovky MW (určené k ničení řízených střel, balistických raket, těžké dělostřelecké munice, družic či odolných pozemních cílů)



6. Trendy v oblasti laserů a laserových systémů

□ Diodou čerpané pevnolátkové lasery

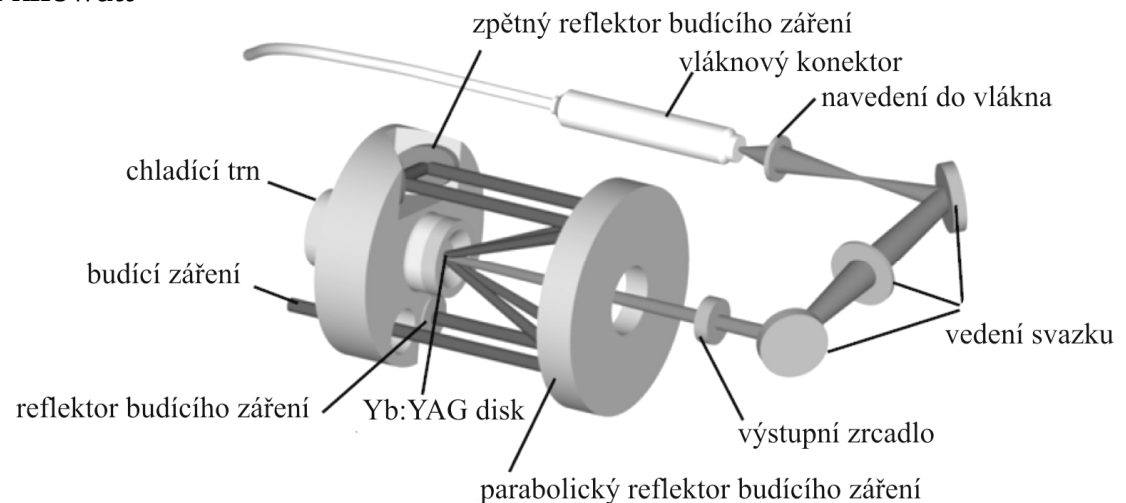
- zvýšení účinnosti klasických pevnolátkových laserů s ionty dopovanými krystaly (YAG, YLF, YVO, sklo)
- dříve používané buzení pomocí kryptonové výbojky nahrazeno buzením bloky laserových diod.
- v případě Nd:YAG laseru se používá čerpání diodami s emisní čarou na vlnové délce 808 nm, která odpovídá absorpčnímu pásu krystalu aktivního prostředí těchto laserů
- nahrazením širokospektrální výbojky se dosahuje podstatně nižších ztrát díky vyšší účinnosti čerpání aktivního prostředí, která dosahuje až 45%
- potlačení *thermal lensing effect*
- delší životnost diod ve srovnání s výbojkou



Trendy v oblasti laserů a laserových systémů

□ Diskové Yb:YAG lasery

- aktivní prostředí YAG s 30 % ytterbia (1030 nm) ve tvaru válce o výšce několika desetin milimetru a průměru do 100 mm (obvykle 10-20 mm)
- čerpání vícenásobnými dopady záření diod s vlnovou délkou 940 nm přiváděným optickým vláknem - budicí záření je absorbováno celou tloušťkou aktivního prostředí a účinnost čerpání dosahuje 90 %
- dostatečné je chlazení vzduchem
- celková účinnost diskových laserů je až 20 %
- *BPP* 5 mm.mrad až 7,5 mm.mrad – nezávisí na výkonu laseru (TLE potlačen) – lze svařovat díly větších tloušťek s nižším tepelným ovlivněním
- výstupní průměr svazku několik desetin milimetru, vázán do optického vlákna
- jednokotoučový laser dosahuje až 500 W, pro vyšší výkon sériové spřažení více disků do jednoho výstupního vlákna - několik kilowatt



Trendy v oblasti laserů a laserových systémů

□ Vlákňové lasery

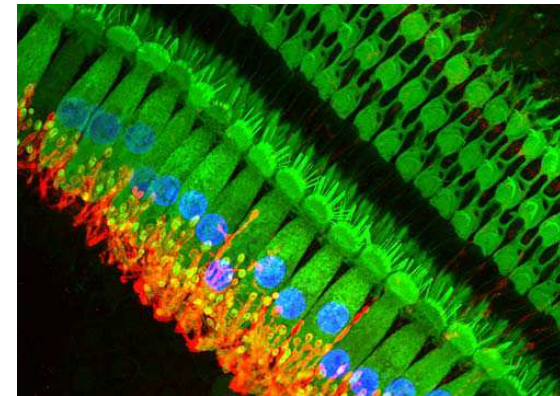
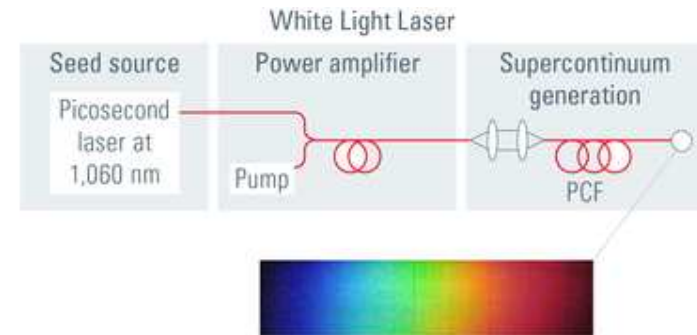
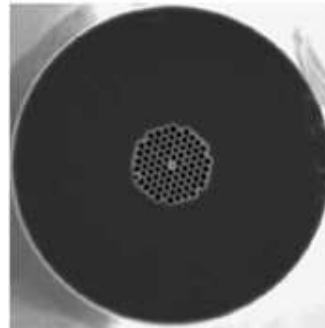
- aktivním prostředím je křemíkové vlákno (průměr jádra několik mikrometrů, délka několik metrů) dopované nejčastěji ionty erbia (1540 nm až 1620 nm), ytterbia (1060 nm až 1120 nm) nebo thulia (1720 nm až 2000 nm)
- vysoká účinnost čerpání (80 %) zářením laserových diod kolmo na průřez aktivního vlákna
- celková účinnost až 30 %
- rezonátor laseru tvoří Braggovy mřížky na koncích vlákna
- dostatečné chlazení vzduchem
- $BPP < 0,5 \text{ mm.mrad}$ až $3,5 \text{ mm.mrad}$
- výkon jednoho vlákna může být až 10 kW (pro většinu průmyslových aplikací dostatečné)
- pro vyšší výkony prostorové složení dílčích výstupních svazků do apertury společné výstupní čočky (pokles kvality) – takto realizován 50 kW kontinuální vlákňový laser (dostatečný pro 5 cm hluboké svary).
- kompaktnost, vysoká životnost a minimální údržba a u jednovláknových laserů především vysoká kvalita svazku



Trendy v oblasti laserů a laserových systémů

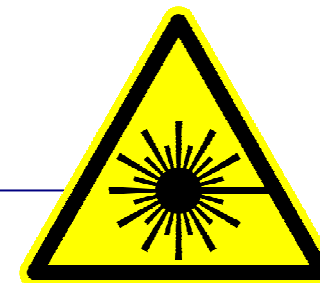
□ Bílý laser = laser s generací superkontinua

- na výstupu bílé světlo s vlastnostmi laserového svazku a spektrální šířkou v rozsahu 400-2400 nm (spektrální kontinuum) – rozsah jako lampa, jas jako laser
- superkontinuum vzniká při šíření krátkých vysokoenergetických pulsů (např. pulsní IČ vláknový laser + diodou čerpaný vláknový laserový zesilovač, průměrný výkon 10 W, délka pulsů 200 ps, opakovací frekvence 80 Hz) fotonickým vláknem – zde probíhají silně nelineární procesy vedoucí k rozšíření spektra původně monochromatického pulsu až na několik stovek nm v závislosti na délce vlákna (vlákna typicky 0,5 - 2 m) při zachování koherence
- volba libovolné vlnové délky pomocí akusto-optického laditelného filtru – fokusovatelné světlo (několik mW) – možnost navázání do vlákna (bez nutnosti výměny optických komponentů)
- lze několik vlnových délek současně
- využití např. v fluorescenční konfokální mikroskopii k buzení fluorescence (standardně 8 vlnových délek současně)



Vnitřní ucho hlemýždě - zeleně vláskové buňky = receptory zvuku
- modře jádra vnitřních buněk
- červeně neurony)

7. Bezpečnost práce s lasery



□ nebezpečí pro živé tkáně – účinky:

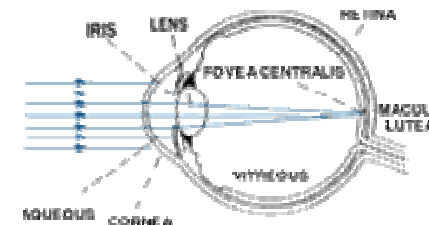
- **tepelné** - způsobené absorpcí energie záření a její přeměnou na teplo, podráždění nebo devastace tkání
- **netepelné** - akustický tlak velmi krátkých pulsů, vysoce intenzivní elektrické pole nebo fotochemické účinky
- **vedlejší** - poškození zdraví nebo destrukce okolního prostředí – úraz elektrickým proudem, požár, výbuch při nevhodné manipulaci s plynovými lahvemi apod.

□ ochranné pracovní pomůcky

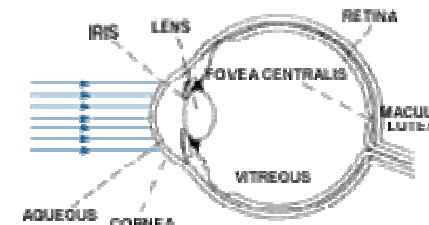
- ochrana kůže, zraku, sluchu, dýchacího ústrojí
- zaměřujeme se především na ochranu před přímým zasažením samotným svazkem (i před difúzně rozptýleným zářením)



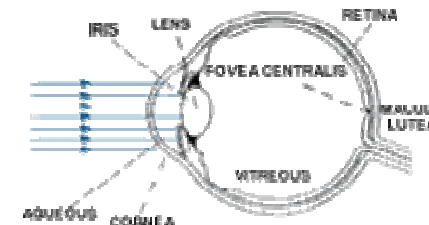
viditelné a blízké IČ záření
(400 nm – 1400 nm)
ohrožení sítnice



Střední a vzdálené IČ
(1400 nm – 1 mm)
Střední UV (180 nm - 315 nm)
ohrožení rohovky



blízké UV (315 nm – 390 nm)
ohrožení čočky



Bezpečnost práce s lasery

- **Třída I:** Lasery **všech vlnových délek o výkonu menším než $0,4 \mu\text{W}$ nebo** všechny laserové systémy s libovolným výkonem, které mají **zcela zakrytou dráhu svazku a pracovní plochu**, všechna víka, kryty a dveře jsou zabezpečena proti neoprávněnému otevření během činnosti laseru. K práci s laserem této kategorie není třeba žádných dalších ochranných pomůcek.
- **Třída II:** Kontinuální lasery emitující záření **ve viditelné oblasti s výkonem menším než 1mW** , před kterými je oko schopno se dostatečně chránit vrozenými reflexy, poškození však může způsobit přímý pohled po delší dobu, stejně jako do konvenčních světelných zdrojů.
 - Pozn.: Oko fokusuje dopadající laserový svazek na plochu $3 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2$ (průměr kruhu přibl. $100 \mu\text{m}$), což pro kontinuální výkon 1mW představuje hustotu energie 333 W.cm^{-2} . To je přibližně 30x více než při přímém pohledu do poledního letního slunce. Do této třídy patří i laserové ukazovátko, jehož běžná dostupnost dětem představuje značné nebezpečí.
- **Třída IIIa:** Kontinuální lasery s **výkonem menším než 5 mW** , jejichž plošná hustota výkonu po fokusaci **není větší než $2,5 \cdot 10^3 \text{ W.cm}^{-2}$** . Oko není poškozeno, pokud okamžitě zareaguje a svazku se intuitivně vyhne. Nelze však používat pro pozorování svazku spojnou optiku. Tyto lasery musí být označeny nálepkou CAUTION nebo DANGER.
- **Třída IIIb:** Kontinuální lasery s **výkonem $5 - 500 \text{ mW}$ nebo pulsní lasery s plošnou hustotou energie do 10 J.cm^{-2}** , které poškozují tkáň při přímém vystavení, difúzní odraz není nebezpečný.
- **Třída IV:** Všechny lasery s **výkonem od 500 mW nebo energií nad 10 J.cm^{-2}** , jejichž difusní odraz poškodí živou tkáň. Pro práci s touto třídou laserů je bezpodmínečně nutné používat ochranné pracovní pomůcky a dodržovat předepsaný provozní řád.

Bezpečnost práce s lasery

❑ **!!! nebezpečné výrobky obsahující laser III. třídy (převážně IIIB)**

- téměř 100 nebezpečných výrobků s laserem evidovaný spotřebitelským sdružením dTest
- často bez označení rizika, vše Made in China
- laserová ukazovátka a pera
- laserové vodováhy
- sada nářadí s osvětlením
- laserové osvětlení jeviště se zeleným a červeným laserem a různými vzory, laserové disco světlo, laserový projektor
- airsoft pistole s laserovými zaměřovači
- dětské laserové pistolky, luky s laserovým, zaměřováním – povolený limit energie laserového svazku pro hračky (0,39 mW) překročen často více než 10x

- 1 W laser + padající sněh



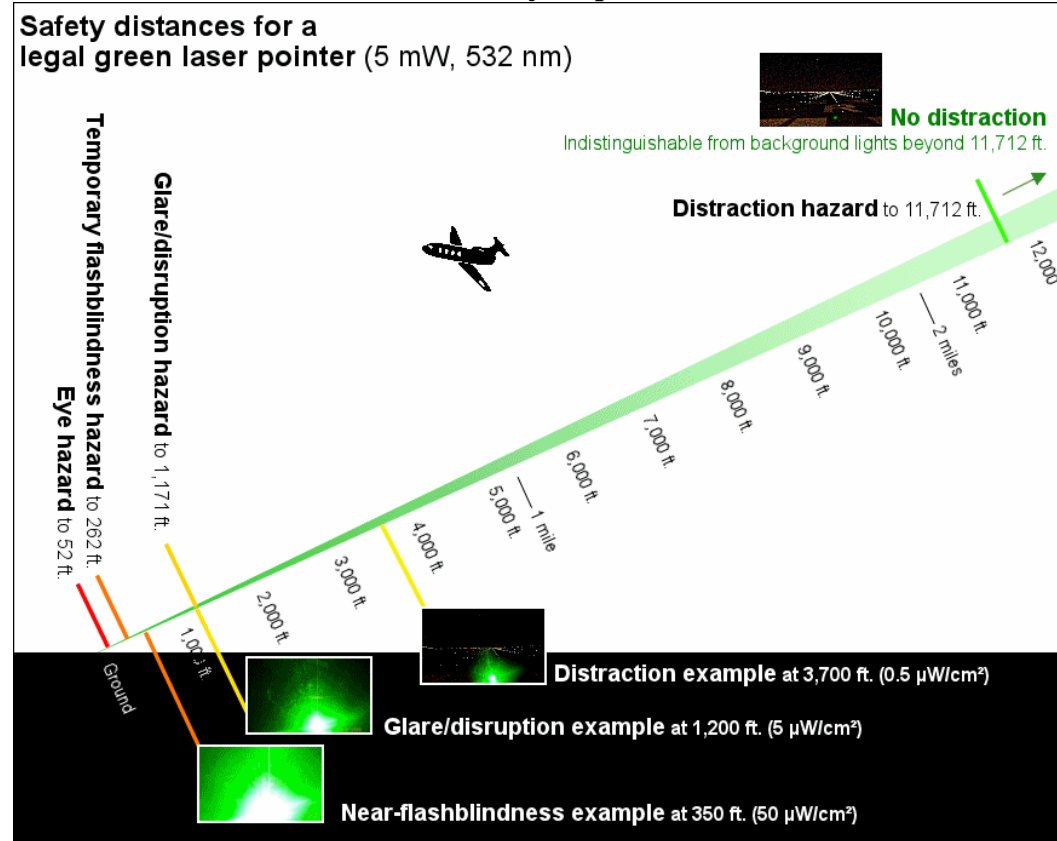
Bezpečnost práce s lasery

□ Nutnost zavedení legislativy v oblasti používání laserů!

- aféra únor 2010 – ohrožování pilotů laserem – oslnění + od 50 mW poškození sítnice (pachatel použil laser tř. III – na 2 km je schopen zapálit papír, mohlo jít o výkonnější laserové ukazovátko nebo laserovou vodováhu)
- únor 2011 – novela zákona o civilním letectví – zavedení ochranných pásem v okolí letišť, kde se nesmí používat některé lasery
 - pod pokutou 5 mil. Kč
 - v závažných případech hrozí i trestní stíhání

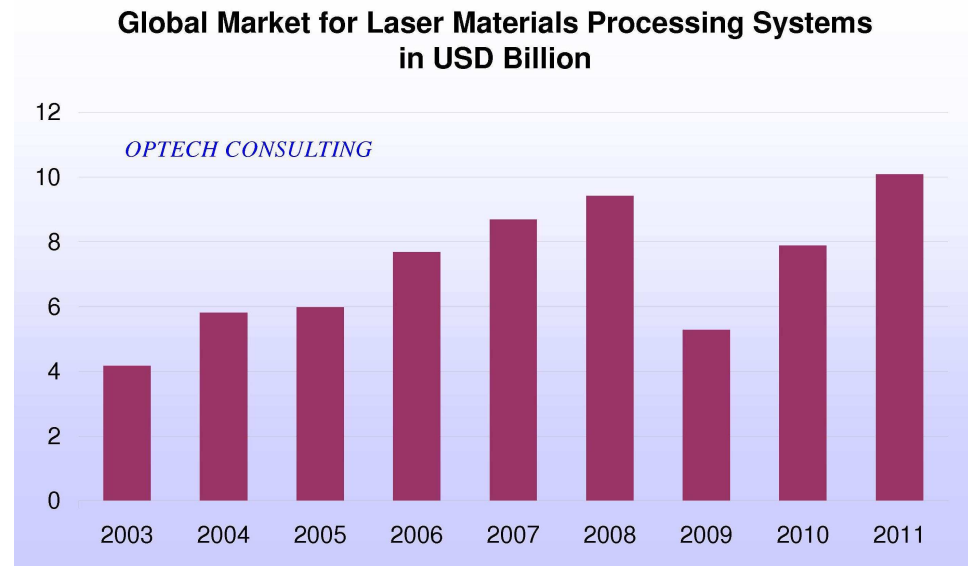


Pohled z pilotní kabiny přistávajícího letadla



8. Závěr

- Použití laserů se stále více prosazuje v mnoha oblastech lidské činnosti. V dnešní době se laser stal již běžným nástrojem ve strojírenství, stavebnictví, elektrotechnice, výpočetní technice, ale také medicíně nebo zábavném průmyslu. **Laser se stal nepostradatelnou součástí moderního života.**
- Společnost Optech Consulting – analýza trhu s lasery od 1992
 - odhad z 2007 na 2010: nárůst světového trhu laserových systémů pro zpracování materiálů na 10,5 mld \$ - tento odhad se díky hospodářské recesi v r. 2009 nenaplnil
 - odhad z 2009 na 2010: nárůst o 11 %, skutečnost: nárůst o 55 %
- Společnost Strategies Unlimited
 - odhad z 2009 na 2014: 8,8 mld \$ - dle tiskové zprávy Optech Consulting 10,1 mld \$ už v 2011 (nárůst o 28 % oproti 2010; o 90 % oproti 2009)
- Suverénně nejvyšší růst prodeje ve Východní Asii (Čína, Korea, Taiwan), dále Indie, Brazílie.
- Především diskové a vláknové lasery, které mají ve srovnání s CO₂ lasery přibližně 5x nižší spotřebu energie.



Závěr

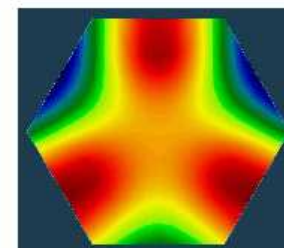
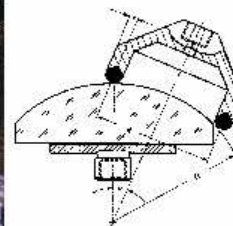
- Doposud nejvýkonnější laser NIF (National Ignition Facility) byl zprovozněn v roce 2009 v Kalifornii. Jeho primárním určením je výzkum možností laserem poháněné termonukleární fúze.
- V roce 2011 začala výstavba ještě výkonnějšího laseru - projekt **ELI** (Extreme Light Infrastructure), který má být schopen každou minutu vytvořit extrémně krátký (10^{-15} s) světelný puls s energií měřitelnou v exawattech (10^{18} W)! ELI bude sloužit především ke studiu struktury materiálů a vývoji materiálů s novými vlastnostmi. Bude stát v obci Dolní Břežany u Prahy. Koordinátorem projektu je FZÚ AV ČR. Financováno ze strukturálních fondů EU (260 mil. euro).
- Naopak nejmenší laser se chlubí rozměrem 44 nm. Je vyroben z částičky zlata na křemíkovém obalu a využívá oscilace elektronů vznikajících v místě kontaktu kovu a izolátoru. Tento laser generuje zelené světlo o vlnové délce 530 nm, tedy mnohem větší než je on sám. Miniaturní lasery lze využít v počítačových čipech nebo medicíně pro ničení karcinogenních buněk.

Závěr

- Studium laserů a laserových technologií ve SLO UP a FZÚ AV ČR
 - Přístrojová fyzika, Aplikovaná fyzika, Nanotechnologie...
 - Základy fotoniky 1 a 2
 - Laserové technologie v praxi 1 a 2
 - Úvod do moderních technologií 1
- Pozvánka na exkurzi do laboratoře laserových technologií a dalších laboratořích SLO
- Diskuze

Děkuji Vám za pozornost.

Program B1701 Fyzika
1701R030 Přístrojová fyzika
specializace Optické a laserové technologie



Povinné předměty

zkratka	Název předmětu	Rozvrh předmětu
SLO/ZNM1	Základy nauky o materiálu 1	2. ročník , ZS
SLO/LTP1	Laserové technologie v praxi 1	2. ročník , LS

Povinně volitelné předměty B1, podmiňující povinně volitelnou státní závěrečnou zkoušku:

SLO/SZZSOL – OPTICKÉ A LASEROVÉ TECHNOLOGIE

zkratka	Název předmětu	Rozvrh předmětu
SLO/MVOP	Materiály pro výrobu optických prvků	1. ročník , LS
SLO/VOP	Výroba optických prvků	2. ročník , ZS
SLO/UMT1	Úvod do moderních technologií 1	2. ročník , LS
SLO/LTP2	Laserové technologie v praxi 2	3. ročník , ZS
SLO/ZJMK	Základy jemnomechanické konstrukce	3. ročník , ZS



Darth Vader; it is broken!