

Vrste lasera

Postoji više podjela lasera:

1. prema načinu rada: kontinuirani i pulsni
2. prema agregatnom stanju optičkog pojačala: plinski, tekući, laseri čvrstog stanja
3. prema načinu pobude: optički pumpani, pumpani sudarima elektrona i atoma u plinskom izboju, pumpane ozračivanjem snopovima česticama visoke energije, pumpane kemijskim reakcijama

Sve metode pobude mogu se primjeniti na sve lasere, ali one nisu jednako efikasne. Za efikasan način pobuđivanja treba uskladiti izbor aktivne tvari i načina pobude. Npr. pobuđivanje sudarima s elektronima pogodno je u plinskom laseru, dok je optičko pumpanje pogodno kod lasera čvrstog stanja. Pobuđivanje kemijskom reakcijom je pogodno kod plinskih lasera koji se sastoji od više kemijski aktivnih komponenata.

Plinski laseri

Plinski laseri se mogu podjeliti na:

1. atomske: He-Ne, Cs,..
2. ionske: Ar, Kr
3. molekulske: CO₂, N₂,
4. kemijske

Plinski izboj

Da bi laser radio potrebno je stvoriti veliki broj pobuđenih atoma i postići inverznu naseljenost. Za pobudu plinovitog sredstva vrlo pogodan način pobude su sudari s elektronima u plinskom izboju. Prolaskom struje dovoljne jakosti kroz plin dolazi do sudara elektrona atomima ili molekulama. Sudari mogu biti elastični i neelastični. Kod neelastičnih sudara elektron predaje dio svoje energije elektronu u atomu i ako je ta energija dovoljna elektron u atomu prelazi na višu energijsku razinu. Povećanjem energije upadnog elektrona dolazi do mogućnosti ionizacije atoma. Energija upadnog elektrona troši se na odvajanje elektrona iz atoma i davanje početne brzine izbačenom elektronu. Dakle, svaki upadni elektron izbojem stvara još jedan elektron i na taj način dolazi do povećanog broja elektrona tj. porasta struje. Svaki takav elektron može izazvati ionizaciju atoma pa se takav izboj zove samostalan izboj. Prema gustoći struje koja prolazi kroz cjev samostalni izboj može biti:

1. tamni izboj- struja kroz cijev je 10^{-10} - 10^{-6} A/cm²
2. tinjavi zboj- struja kroz cijev je 10^{-3} A/cm² (ovakav izboj koriste atomski i molekularni laseri)
3. lučni izboj – ako struja kroz cijev iznosi oko 1 A/cm² i više (ovakav izboj koriste ionski laseri).

Cjevi kod plinskih lasera:

Kod plinskih lasera koriste se cijevi od kvarca ili pyrex stakla. Kod ionskih lasera se zbog visoke temperature koriste keramičke ili grafitne cijevi.

Prema načinu ugradnje elektroda postoje laserske cijevi s unutrašnjim i vanjskim elektrodama. Kod cijevi s unutrašnjim elektrodama obje elektrode su ugrađene u lasersku cijev, koja je hermetički zatvorena i ispunjena plinom pod malim tlakom. Kod cijevi s vanjskim elektrodama, elektrode su u obliku prstena stavljenih na cijev, a pobuda se postiže visokofrekventnim generatorom.

Stavljanjem cijevi između dva zrcala dobiva se optički rezonator. Emitirana svjetlost iz ovakvog rezonatora nije polarizirana. Da bi dobili polariziranu svjetlost na krajeve cijevi postavljaju se prozori pod tzv. Brewsterovim kutom. Sjetimo se da je jedan od načina polarizacije el. mag. Vala polarizacija refleksijom. Kada val pada na grabicu dvaju sredstava on se djelomično lomi, a djelomično reflektira. Ako je kut upada α , a kut loma β vrijedi

Snellov zakon loma: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$.

Kod određenog upadnog kuta α vrijedi $\alpha + \beta = \pi/2$. Tada vrijedi Brewsterov zakon $\tan \alpha = n$. Intenzitet reflektirane i prolazne svjetlosti ovisi o upadnom kutu α i o polarizaciji upadne svjetlosti. Koeficijenti refleksije dani su izrazima:

$$R_p = \frac{I_{Rp}}{I_{0p}} = \left[\frac{\tan(\alpha - \beta)}{\tan(\alpha + \beta)} \right]^2 \quad R_n = \frac{I_{Rn}}{I_{0n}} = \left[\frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)} \right]^2$$

Indeks p označava paralelnu polarizaciju, a n okomitu; I_0 je intenzitet upadne svjetlosti. Kod upadnog kuta α za koji vrijedi Brewsterov zakon uvrštavanje u gornje izraze daje:

$$R_p = 0 \text{ i } R_n = \sin^2(\alpha - \beta).$$

Vidimo da za upadnu svjetlost koja je polarizirana paralelno ne postoji refleksija već ona direktno prolazi. To znači da će Brewsterov prozor od dviju komponenti upadne svjetlosti propustiti paralelno polariziranu dok će okomito polariziranu reflektirati.

Dakle, Brewsterov prozori postavljeni na cijev lasera okomito polariziranu svjetlost zadržavaju unutar rezonatora, a paralelno polariziranu propuštaju.

ATOMSKI LASER

1. He-Ne laser (iz knjige)

2. Ar⁺ ion laser

-Najčešće radi u kontinuiranom režimu rada u vidljivom i ultraljubičastom dijelu spektra
-prvi ga je konstruirao William Bridges 1964. godine

Inverzija naseljenosti se postiže u dva koraka:

-neutralni atom se najprije ionizira u direktnom sudaru s elektronom
-tako dobiveni pozitivni ion se pobudi na različite energijske nivoe odgovarajućim sudarima s elektronima

- laserska akcija se zbiva na 8 vidljivih linija između 457,9 nm i 514,5 nm u plavo-zelenom dijelu spektra sa tih nivoa ioni prelaze u osnovno stanje kroz ultraljubičastu emisiju (u dijelu spektra koji ne vidimo)
- najjača individualna laserska emisija dobivena je na 514,5 i 488 nm

Konstrukcija:

- puls visokog napona (oko 8 kV DC) ionizira plin
- nakon ionizacije istosmjerna struja od 45 A i napon od 600 V uzduž cijevi održavaju dovoljan izboj da bi plin ostao ioniziran
- izbojna cijev je obično napravljena od materijala sa malom termičkom vodljivošću kao što su berilijev oksid (BeO), grafit itd...
- zbog visokih snaga koje daju argon-ion laseri moraju biti aktivno hlađeni (7 W u UV području, 25 W u vidljivom)
- za tu svrhu se najčešće koristi vodeno hlađenje (za visoke snage), laser manjih snaga hlade se zrakom (5000 sati rada)
- Zbog izboja i sudara sa stijenkama tlak plina opada i može postati nedostatan za postizanje izboja

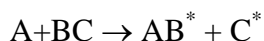
Excimerski laseri, CO₂, N₂ laseri, laseri s organskim bojama, FEL, laseri u x području, poluvodički laseri- iz knjige

Kemijski laseri

Kemijski laseri su plinski jer su komponente koje reagiraju u plinskovitom stanju. Određene kemijske reakcije mogu proizvesti molekule u pobuđenom stanju. Kemijski laseri koriste takve reakcije kako bi se postigla inverzija naseljenosti. Primjer je fluorovodikov laser koji koristi reakciju vodika i fluora, za proizvodnju fluorovodika u pobuđenom stanju. Laserska zraka nastaje u reakcijskoj komori, u koju stalno dotiču reaktanti, a produkti izlaze van. Na taj način je postignuta inverzija naseljenosti, jer je u reakcijskoj komori stalno prisutno više pobuđenih molekula od onih u osnovnom stanju. Ovakvi laseri mogu postići jako veliku snagu u kontinuiranom način rada (MW).

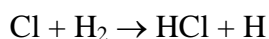
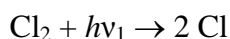
Kaspel i Pimentel 1969. god. su napravili prvi kemijski laser koji je radio s mješavinom dvaju plinova. Koristili su kemijsku reakciju između dviju kemijskih vrsta atoma ili molekula u plinovitom stanju. Reakcijom oslobođena energija prouzrokuje vibraciju nastalih molekula. Energijski kvantni prijelazi su između rotacijsko vibracijskih razina.

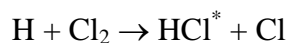
Primjer kemijske reakcije je:



(* označava produkte reakcije u pobuđenom stanju). Prednost kemijskog lasera je da se pobuda dobiva samom kemijskom reakcijom bez ikakvog vanjskog djelovanja. Reakcija počinje miješanjem komponenata (moguće je reakciju započeti pomoću iskre).

Prvi kemijski laser je klorovodikov laser koji koristi smjesu H₂ i Cl₂. Shema reakcije je:





U reakciji su nastale pobuđene molekule HCl^* koje prelaze u osnovno stanje emitirajući foton $h\nu_2$.

Poznati kemijski laseri korise smjesu:

1. kisika i joda - chemical oxygen iodine laser (COIL),
2. plin joda
3. vodika i fluora (reakcija pokrenuta električnim izbojem)
4. deuterija i fluora

Lasери čvrstog stanja

Kao medij u kojem se pojačava laserska svjetlost pri svakom prolazu (tzv. optičko pojačalo ili aktivni medij) koriste se:

- **Kristali**
- **Stakla**

Kristali i stakla najčešće ne luminisciraju već energiju predaju rešetci. Da bi dobili luminiscenciju dodaju se **primjese** iona plemenitih ili prijelaznih metala i to od 0,001% i više (neodimija, kroma, erbija, itd). Luminiscencija potječe od ugrađenih iona.

Energijska pobuda

energijska pobuda svih lasera čvrstog stanja je **svijetlosna**.
Izvori te svijetlosti su:

- bljeskalice ili svijetiljke
- laserske diode

Prednosti:

- relativno jeftini izvori

Nedostatci:

- veoma mala iskoristivost
- umjereni vijek trajanja
- Dolazi do jakih toplinskih efekata kao npr. temperaturna razlika u optičkom pojačalu

Vrste Lasera čvrstog stanja

Postoji dvadesetak vrsta

-rubinski laser koji je bitan iz povijesnih razloga iako se i danas koristi (rubinski –iz knjige)

-laseri dopirani ionima neodimija, sa naglaskom na Nd-Yag laser koji je najzastupljeniji u upotrebi

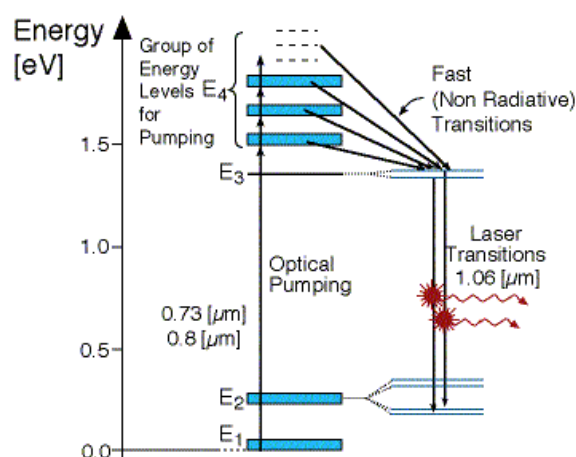
VRSTA LASERA ČVRSTOG STANJA	VALNO PODRUČJE	VALNA DULJINA
<i>Duplicirani Nd:YAG</i>	Zeleno	532 nm
<i>Nd:YAG</i>	NIR	1064 nm
<i>Erbium:YAG</i>	MIR	2940 nm
<i>Krom safir (Rubinski)</i>	Crveno	694 nm
<i>Titan safir</i>	NIR	840 – 1100 nm

Staklo kao aktivni medij

- kada je potreban pulsni laser sa impulsom velike snage, te niskom frekvencijom
- može se proizvesti u obliku diska ili šipke u promjeru do 0.5m i dužine do nekoliko metara jer je jeftin materijal i lako se oblikuje
- visoki postotak primjese neodimijskih iona, do 6%.
- Problemi nastaju zbog slabe toplinske vodljivosti

Nd:YAG LASER

Nd:YAG laser je najčešća vrsta lasera čvrstog stanja kod kojeg se neodimij dopira u itrij aluminij granat (YAG – $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$). Atomi neodimija su slične veličine kao i atomi itrija, pa ga mogu zamijeniti u strukturi. Nd:Yag je laser s 4 energijske razine. Osnovno energijsko stanje Nd^{3+} iona je 4f stanje u kojem se nalaze 3 elektrona. Ion ugrađen u kristalnu rešetku osjeća djelovanje jakih električnih sila od okolnih iona koji tvore kristalno polje. Ovo kristalno polje izaziva cijepanje energijskih 4f razina između koji su mogući laserski prijelazi.



-
- Laserska akcija je u ionima Nd
- Sa visokopobuđenih energijskih nivoa E4 neodimijski ioni prelaze u nivo E3 neradijativnim putem
- Stimulirana emisija se događa prijelazom iz gornjeg nivoa laserskog prijelaza E3 na donji nivo E2
- valne duljine tako emitiranih fotona su oko 1064 nm (mogu biti i na 940, 1120, 1320, 1440 nm)
- Prijelaz sa donjeg nivoa laserskog prijelaza E2 na osnovni nivo E1 je neradijativan.

NdYAG laser emitira infracrveno zračenje valne duljine 1064 nm.

Upotreba

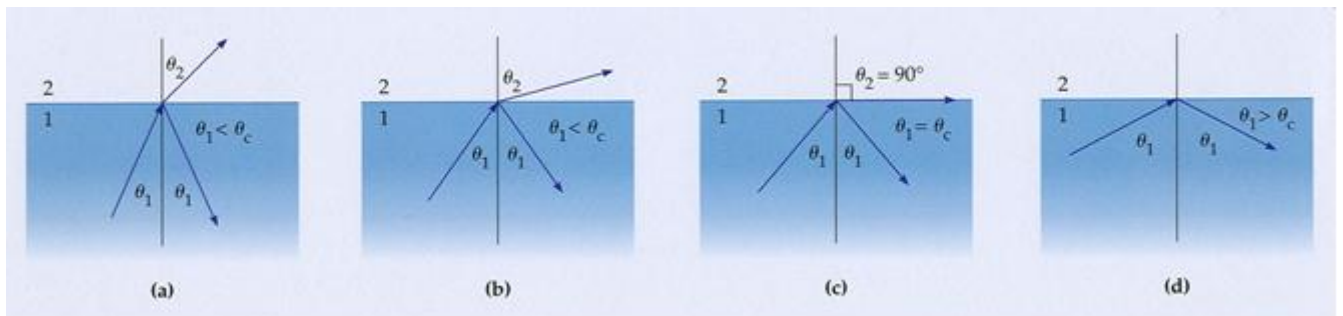
NdYAG laser ima veliku primjenu u medicini. Pogodan je bog toga što voda slabo apsorbira zračenje na 1064 nm pa laserski snop može ući dublje u tkivo.

- u oftalmologiji
- u estetskoj kirurgiji kao
- laser za uklanjanje dlaka
- i za tretman manjih vaskularnih oštećenja kao što su popucale kapilare na licu i nogama
- U proizvodnji kao sredstvo za graviranje, rezanje, zavarivanje ili obilježavanje raznih metala i plastika
- u dinamici fluida koriste se za vizualizaciju protoka
- u stomatologiji

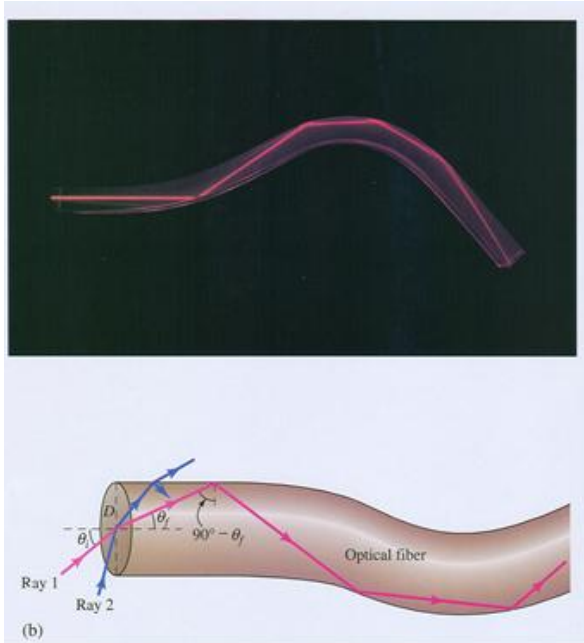
Optički (fiber) laseri

Optički laseri su laseri koji za medij pojačanja koriste dopirano optičko vlakno, ili (ponekad) laseri koji veći dio optičkog rezonatora imaju napravljenu od optičkog vlakna.

Rad optičkih vlakana temelji se na principu totalne refleksije. Na sl. 1 vidi se da će se svjetlost totalno reflektirati ako je kut upada veći od graničnog.



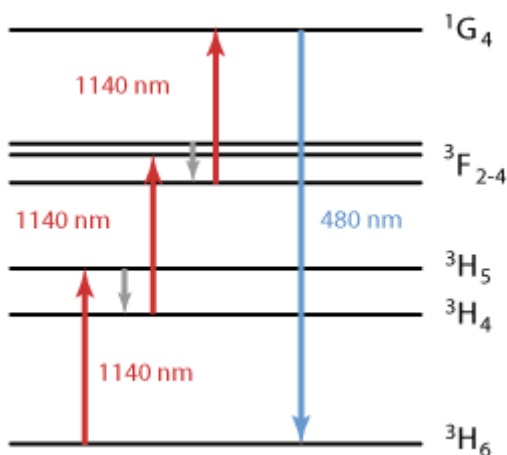
Sl. 1 Totalna refleksija



Sl. 2 Optičko vlakno

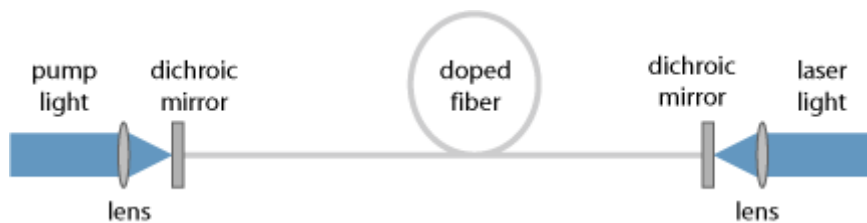
U većini slučajeva, medij pojačanja je optičko vlakno dopirano s rijetkim zemljinim ionima kao što su erbij (Er^{3+}), iterbij (Yb^{3+}), neodimij (Nd^{3+}) i drugi.

Laserska emisija se događa u optičkom vlaknu. Silicijsko staklo nije prikladno za optički laser, zato što je potrebno elektron što duže zadržati u pobuđenom stanju, a kod silicija to nije moguće. Zbog toga se prijelazi odvijaju u primjesnim ionima. Primjer prijelaza u optičkom vlaknu dopiranom tulijem.



Slika3. Pobuda sa 1140-nm laserom dovodi do emisije svjetlosti plave boje

Na slici 2. je prikazan je jednostavan optički laser. Optičko pumpanje postiže se pomoću lasera na lijevoj strani i ulazi u vlakno. Na desnoj strani se pomoću drugog zrcala dobiva laserski signal iz optičkog vlakna.



Slika 4. Princip rada optičkog lasera (linearni rezonator)

Rezonatori u optičkim laserima

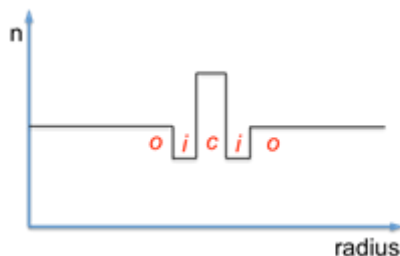
Kako bi se formirao rezonator u optičkom laseru, potrebno je dodati zrcalo koje će uzrokovati refleksiju. Refleksija se postiže:

1. Dielektričnim zrcalom koje se stavlja na kraj optičkog vlakna, kao na slici 4. Ovaj pristup nije praktičan za masovnu proizvodnju zbog toga što nisu trajni.
2. Braggova rešetka zamjenjuje zrcala na način da propušta određene valne duljine, a druge blokira. Braggova rešetka se nalazi direktno u dopiranom optičkom vlaknu (sl 5).



Slika 5. Dopirano optičko vlakno s dvije Braggove rešetke

Jedna moguća izvedba lasera je s optičkim vlaknom koje ima jezgru te unutarnju i vanjsku ovojnicu. Indeks loma se mijenja kao na slici:

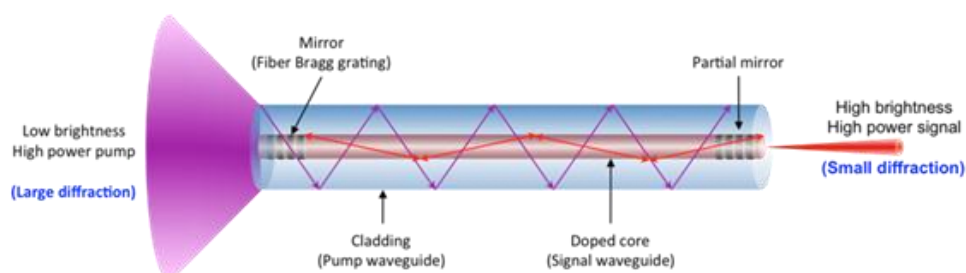


Sl. 6. Promjena indeksa loma u vlaknu

c- jezgra

i- unutarnja ovojnica

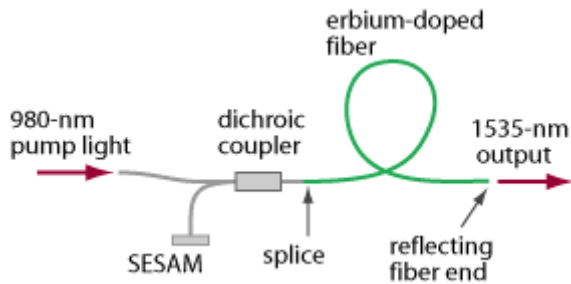
o- vanjska ovojnica.



Sl. 7. Fiber laser

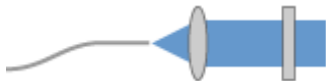
Fiber laseri mogu biti optički pumpani direktno u jezgru ili u ovojnicu kao npr. na sl.7.

3. Fresnelovom refleksijom na stražnjem kraju optičkog vlakna. Ovaj princip je vidljiv na slici 8.



Slika 8. Fresnelova refleksija u optičkom laseru (kružni laser)

4. Rezonator s lećom i zrcalom – bolje je upravljanje snagom lasera (ulazna zraka se pomoću leće vraća natrag te se potom odbija od zrcala i kreće prema izlazu).



Slika 9. Rezonator s lećom i zrcalom

Optički laseri su često pumpani diodnim laserima.

Postoji više vrsta optičkih lasera, mogu raditi u pulsnom načinu rada koristeći Q prekidanje (trajanje pulsa nanosekunda) ili sprezanje modova (trajanje pulsa femtosekunda).

Snaga optičkih lasera

Prvi optički laseri imali su izlaznu snagu nekoliko milivata, danas postoje laseri velikih izlaznih snaga. Neki laseri daju izlaznu snagu od sto W do kW. Taj potencijal proizlazi iz činjenice da se u današnje vrijeme rade laseri koji nemaju problema s pregrijavanjem.

Primjena optičkih lasera je najčešća u telekomunikacijama, spektroskopiji i medicini.

Prednosti i nedostaci optičkih lasera

Prednosti ovih lasera u odnosu na druge su:

- svjetlost je u samom startu integrirana u optičko vlakno,
- velika izlazna snaga te veliko pojačanje,
- velika kvaliteta izlaznog signala,
- kompaktnost samog lasera te optičke niti.
- Pouzdanost samog lasera.

Optički medij ima veliki spektar pojačanja, dopuštajući ugađanje valne duljine i generiranje jako kratkih pulseva.

Kako optička vlakna odlično zaštićuju svjetlost koja se propagira kroz vlakno, postoji mogućnost da se cijeli laserski rezonator napravi od optičkih komponenata kao što su Braggove rešetke i optički razdjelnik.

Zahvaljujući velikom pojačanju dopiranih optičkih vlakana, optička vlakna imaju mogućnost da rade s jako malom snagom laserske pumpe. Isto tako, moguće je zadržati veliku efikasnost izlazne snage.

Nedostatci:

Kada svjetlost treba biti emitirana iz zraka u jezgru jednomodnog vlakna, poravnanje svjetlosne zrake je veoma kritično. Problem se eliminira uporabom optičkih dioda (engl. fiber – coupled pump diodes)

Nelinearna izobličenja često ograničavaju performanse ovih lasera, u pogledu snage u jednomodnom načinu rada ili kvalitete pulsa u laseru koji radi u mode-locking (sprezanje modova) načinu rada.

Pri većim snagama, postoji mogućnost od oštećenja optičkog vlakna.

Optički laseri imaju ograničeno pojačanje i apsorpciju svjetlosti po jedinici dužine, pa je teško konstruirati jako kratke rezonatore. Napredak je postignut preko razvoja visoko dopiranih vlakana, uobičajeno napravljenih od stakla s primjesom fosfata.