**Plinski laseri:**

􀂀 Atomi neutralnog plina

- (He-Ne laser, laser plinovitog bakra…)

􀂀 Ionizirani plin

- (Argon ion laser, Kripton laser…)

􀂀 Molekule plina

- (CO2 laser, N2 laser, Excimer laser,

Chemical laser, FIR laser…)

**Co2:**

PRINCIP RADA

CO2 laser je plinsko-molekularni laser, koji kao aktivni medij koristi

molekule CO2

Za njegovu pobudu upotrebljava se električni izboj, optičko, kemijsko i

toplinsko pumpanje.

􀂄 Laser se sastoji od staklene cijevi u kojoj se nalaze smjesa plinova:

ugljikovog dioksida, dušika, helija i eventualno nekog drugog plina.

􀂄 Na krajevima cijevi se nalaze dva paralelna zrcala, koja su premazana

slojem silikona, molibdena ili zlata, koja reflektiraju lasersku zraku

natrag u cijev i tvore rezonator.

􀂄 Leće i prozori su napravljeni od germanija i cink-selenida ZnSe.

􀂄 U cijevi se nalaze i elektrode na koje je priključen visoki napon.

􀂄 Visoki napon proizvodi mnoštvo brzih elektrona u cijevi koji sudarima

predaju svoju energiju molekulama plina.

CO2 simetrična molekula

3 načina vibracija:simetrično istezanje,

asimetrično istezanje i savijanje

Energije koje odgovaraju spomenutim

načinima vibracije:



Vibracijski modovi

􀂄 mod simetričnog rastezanja (V100) – odgovara simetričnom

rastezanju uzduž osi molekularne veze tako da se oba atom

kisika u jednom trenutku istovremeno udaljavaju od atoma

ugljika, a u drugom se trenutku približavaju

􀂄 Mod savijanja (0V20) – odgovara vibracijskom savijanju

okomitom na os molekularne veze

􀂄 Mod asimetričnog rastezanja (00V3) – odgovara

asimetričnim vibracijama ili rastezanju uzduž osi

molekularne veze sa time da se oba atoma kisika gibaju u

jednom, a atom ugljika u suprotnom smjeru

􀂄 Laserski prijelazi nastaju

između (001) i (100) za

λ=10,6μm te između (001) i

(020) za λ=9,6μm

􀂄 Sudarima, molekula dušika predaje energiju molekulama CO2..

Energija vibracije molekule dušika, gotovo je jednaka energiji

antisimetričnog istezanja molekula CO2. Laserski prijelaz je izmedju

prvog nivoa antisimetričnog istezanja i prvog nivoa simetričnog

istezanja ili prvog nivoa savijanja molekule CO2.

􀂄 CO2 laser može raditi u kontinuiranom modu kao i u pulsnom modu

koristeći Q-prekidanje.

􀂄 *Kontinuirani laseri* s CO2 uz stupanj djelovanja od 20% daju obično

snage 100-150 W. U smjesi CO2, N2 i He, u cijevi duljine 2m,

istosmjernim naponom od 10kV održava se struja izboja od 100mA.

Cijev se hladi vodom.

􀂄 Pri izboju u plinu se stvaraju različiti kemijski spojevi koji ograničavaju

laserski izlaz. Zato se plin u cijevi stalno zamjenjuje plinom iz

spremišta. Time se štetni proizvodi uklanjaju, a u cijevi se radi s plinom

stalnog sastava.

􀂄 *Impulsni laseri* s CO2 i Q-prekidanjem. Zbog dugog vremena života

vibracijskih razina, o kojima ovisi laserska akcija u CO2, može se

uskladištiti energija u izbojnoj sredini u trajanju od cca 1ms blokiranjem

laserske zrake unutar rezonatora i tako spriječiti oscilacije.

PRIMJENA CO2 LASERA

􀂄 Vojna industrija

􀂄 Medicina, kirurgija

􀂄 Obrada materijala

CO2 i Nd-YAG laseri: najčeće upotrebljavani

laseri u metaloprerađivačkoj industriji:

Hlađenje potrebno potrebno

Režim rada cw i impulsni impulsni i cw

Vođenje zrake ogledalima optičkim vlaknom

Absorpcija metali loša metali dobra

Gustoća snage 103-108 W/cm2

Iskoristivost 5-10% (20) 2-3% (10)

Pumpanje električno optičko

Kvaliteta zrake bitno bolja lošija

Snaga 40 kW 6 kW

Valna duljina 10.6 μm 1.06 μm

CO2 Nd-YAG

OBRADA MATERIJALA

􀂄 Rezanje, bušenje, zavarivanje, graviranje, markiranje,površinska obrada …

􀂄 Najzastupljenije je Rezanje

**DUŠIKOV LASER:**

• Laserska akcija na dušiku (N2) je ostvarena u

impulsnom režimu i zbiva se među elektronskim

razinama

• Kod molekula dušika postoji nekoliko

mogućnosti za ostvarenje laserske akcije

**Laserska akcija u N2**

1. mogućnost prijelaza:

• Pri prijelazima B 3Πg u A 3Σu+ elektronsko stanje dobije se velik broj prijelaza u području valnih duljina od oko 760 nm

• Emisije se ostvaruju s vršnom snagom od oko 100 W

2. mogućnost prijelaza:

• Pri prijelazima u tipletnim stanjima C 3Πu u B 3 Πg elektonsko stanje dobiju se 24 linije između 337.044 nm i 337.144 nm (UV područje) kada sustav emitira superradiativno

• Ovaj prijelaz je i najvažniji jer najuspješniji N2 laseri koriste upravo te prijelaze

• 3. mogućnost prijelaza:

• Prijelazi među singletnim stanjima. Ta stanja leže vrlo blizu pa je emisija u IC području

**EMISIJA U UV PODRUČJU**

• Zato N2 laser može raditi samo u impulsnom režimu, s vrlo kratkim impulsima

**KONSTRUKCIJA N2 LASERA**

• Brzim pražnjenjem kondenzatora osiguravaju se

elektroni srednje kinetičke energije od 16 eV, kojima se vrši pobuda s osnove u više elektronske razine

• Laserski prijelaz je impulsni i ovisi o tlaku u cijevi I izbojnom krugu (od 300 ps pri atmosferskom tlaku do oko 10 ns pri tlaku od oko 260 Pa)

Radi što bolje homogenosti pražnjenja i veće

neosljetljivosti na tranzijetno polje, niži dio laserske cijevi je zaštićen bakrenim oklopom spojenim na nižu elektrodu lasera

• Bakrene trake su međusobno izolirane 0,25 mm slojem hostafan (mylar) folije

• Izolacija ograničava radni napon na oko 30 kV

**“SUPERRADIANT” REŽIM RADA**

• Sljedeći element većinom će emitirati usmjeremo prema izlaznom

kraju cjevi pojačanom emisijom prvog elementa (prije nego

spontano emitira u ostalim smjerovima)

• Tako se postiže veliko pojačanje

• Emisija iz ovog lasera ima manju koherenciju i nešto veću

divergenciju snopa

• Kod dušikovog lasera zahtjev za kraćim vremenom života nižeg

laserskog nivoa u odnosu na dugoživeći gornji nivo (metastabilni) ne

vrijedi!!

• Stanje je obrnuto: gornji nivo je kratkoživući (~25 ns), a donji

dugoživeći (~10 μs)

**He-Ne laser:**

􀂀 Izumitelj Ali Javan 1961.

􀂀 Razvijen na osnovu malih energijskih

razlika razina u heliju i neonu

􀂀 4 laserske razine

􀂀 Vrlo niska izlazna snaga

􀂀 Aktivni medij je plemeniti plin Neon

􀂀 Helij povećava učinkovitost pobuđivanja

He-Ne laser

􀂀 Laserski prijelazi vrše se između energijskih razina u neonu

􀂀 Razine 2³S i 2¹S u He su metastabilne

􀂀 Elektronskom pobudom elektroni se akumuliraju na tim razinama

􀂀 Sudarima atoma He i Ne pobuđuju se atomi Ne

􀂀 Dolazi do inverzne naseljenosti u Ne

􀂀 Helij služi za pobudu neona i postizanje inverzijenaseljenosti

􀂀 85 % He

􀂀 U neonu postoji oko 130 mogućih laserskih linija

􀂀 Može se dobiti crveno, žuto i zeleno

􀂀 svjetlo, kao i UV i IR

􀂀 Najčešće se koristi prijelaz na 632.8 nm

Dijagram energijskih razina

-Spontana i stimulirana emisija

između 3s i 2p daje 632.8 nm

-Brzi prijelaz sa 2p na 1s,

-sudarima sa stijenkom cijevi

prijelaz s 1s na osnovnu razinu u

neonu

Sastavni dijelovi

􀂀 Pyrex cijev duljine 35 cm i promjera 2 mm s

elektrodama sa strane

􀂀 Brewsterovi prozori na kraju izbojne cijevi

􀂀 Elektrode su priključene na oko 4kV istosmjerno

􀂀 Zrcala su smještena izvan cijevi okomito na os

􀁹 Jedno 99.9 % refleksivnosti

􀁹 Izlazno 99.0 % refleksivnosti

He-Ne laser

􀂀 Tipična snaga je nekoliko desetaka mW

􀂀 Rade u kontinuiranom načinu

􀂀 Vrlo su stabilni (valna duljina i intenzitet svjetlosti)

􀂀 Malih dimenzija

􀂀 Kvalitetan snop, rade u osnovnom Gaussovom modu

􀂀 Dugotrajni su (rade do 50 000 sati)

􀂀 Niska cijena

􀂀 Neznatno se zagrijavaju, hlade se strujanjem okolnog

Zraka

**Pulsni laseri:**

Podjela prema načinu rada

􀁺 Kontinuirani laseri, koji daju neprekinute laserske

snopove

􀁺 Pulsni laseri, koji daju isprekidane laserske

snopove

Razlika - snaga laserske zrake.

Laser s kontinuiranim izlazom

􀁺 Medij stavljamo između dva paralelno postavljena dva zrcala

􀁺 Snop se reflektira puno puta što daje povećanje gustoće

energije zračenja

􀁺 Jedno od dva zrcala se obično napravi tako da nije 100%

reflektirajuće već propušta određenu količinu svjetla (obično

manje od 1%)

􀁺 koherentni fotoni mogu izaći iz laserske šupljine kroz zrcalo

koje nije 100% reflektirajuće

Kontinuirani laser

1:laserski medij;

2:energija za pobuđivanje

medija;

3:100% reflektirajuće zrcalo;

4: 99% reflektirajuće zrcalo;

5: laserska zraka

Kako dobiti puls?

Postoje 3 načina:

1)Gain-switching

2)Q-switching

3)Mode-locking

**1)Gain-switching**

􀁺 Kod gain-swichinga (prekidanje pojačanjem) trajanje

jednog pulsa iznosi ~10-12 s (ps)

􀁺 Najčešće se upotrebljava poluvodički aktivni medij

􀁺 Injektiraju se nosioci (elektroni) u poluvodički medij

􀁺 Kada gustoća nosioca dosegne prag stvaranja

laserske zrake nastaje puls

􀁺 Stimulirana emisija je brža od injekcije nosioca 􀃆

prekid pulsa (nakon otprilike 50 ps)

􀁺 Nakon završetka pulsa gustoća nosioca se opet

povećava i nakon što dosegne prag proces počinje

iznova

**2) Q-switching**

􀁺Trajanje pulsa u tehnici Q-switchinga

(Q-prekidanje) je reda veličine ns (~10-

9 s )

􀁺Unutar rezonatora postoji mehanizam

koji spriječava dovoljno malu

stimuliranu emisiju (niski Q-faktor -

medij se pumpa energijom) dok

inverzija naseljenosti ne dostigne prag

zasićenja

􀁺 Mehanizam za pumpanje medija se sastoji od

pumpne zrake (energije koja se dovodi izvana) i Qprekidanja

􀁺 Q-prekidanje može biti:

*aktivni* – promjena Q-faktora se kontrolira

izvana

IZVEDBA: npr. zrcalo u vrtnji, neka vrsta modulatora

kao što je akustičko-optički ili elektro-optički modulator

*pasivni* – promjena Q-faktora određena je

materijalom od kojeg je načinjen aktivni

medij (medij apsorbira energiju dok ne dosegne

neki prag zasićenja te onda okine puls –

slično kao gain-swiching)

Q - prekidanje

􀁺 - do časa t0 traje proces pobude (zrcala se blokiraju)

􀁺 Razvija se velika inverzija naseljenosti do postizanja praga

􀁺 Ako se zrcalo zakrene mehanički iz lasera izlazi snažan impuls

􀁺 Pockelsova ćelija – anizotropni kristal koji zakreće ravninu polarizacije narinutog

vanjskog el. polja

􀁺 Kada na ćeliju dolazi el. polje zakreće se ravnina polarizacije za 90º i polarizator

propušta laserski impuls

**3)Mode-locking**

􀁺 Najkraće trajanje pulsa (fs – ps)

􀁺 Oscilacije različitih frekvencija unutar rezonatora

nazivamo modovima

􀁺 U rezonatoru opstaju samo oni modovi koji zadovoljavaju

sljedeće uvjete :

􀂾 da su longitudinalni ,tj. zadovoljavaju uvjet stojnog vala

(ograničenje rezonantne šupljine )

λ=2\*L/m , tj. ω=2πc/λ

λ – valna duljina,

L – duljina rezonatora

m – m-ti mod

􀂾 da se nalaze ispod emisijske anvelope

(ograničenje medija od kojeg je laser napravljen )

􀁺 Opstaju samo modovi koji se nalaze unutar pojasa

pojačanja laserskog medija

􀁺 frekvencijski razmak ( frekvencija repeticije) između dva

susjedna moda :

Δf=c/2L

􀁺 npr. HeNe 1.5GHz 0.002nm 3 moda

Ti:safir 128 THz 300nm 250 000 modova

Δν ·Δt ≥ 1 (Fourier, Heisenberg)

Ako je Δν cijeli vidljivi spektar

Δt ≈ 2-3 fs, gibanje atoma, češalj frekvencija

Atosekunde (as) ?, gibanje elektrona

F. Krausz et al. Nature, 29 November 2001, pp 509 (494)

Mode locking.- sprezanje modova..

􀁺 Moguća su dva načina ponašanja

longitudinalnih modova :

*1) Kontinuirani režim*

- modovi su nezavisni i promjenjive faze

- interferencijom takvih modova stvara se približno

konstantan izlazni intezitet

- nastaje kontinuirani val

*2) Režim sinkronih modova*

- modovi rade s konstantnom faznom razlikom

( phase- ili mode- locked - spregnuti)

- u nekoj fiksnoj točki unutar šupljine modovi

inerferiraju kontruktivno, a u drugoj destruktivno

- nastaje niz pulseva

Mode locking.- sprezanje modova..

􀁺 Ovisno o mogućnostima lasera, pulsevi mogu

biti različitog trajanja, čak i do reda femto.

􀁺 Pulsevi nastaju odvojeno,nakon٦ = 2L/c,

vremena potrebnog svjetlosti da točno jednom

prođe laserskom šupljinom.

􀁺 Oblik pulsa jako ovisi o broju modova koji se

sinkroniziraju

Stvaranje pulsa u rezonatoru povećanjem

broja modova

Mode locking...- sprezanje modova

􀁺 Širina pojasa je na

kojem laser radi je NΔf

N - broj modova

Δf - frekvencijski

razmak (separacija

modova)

􀁺 Što je frekvencijski

pojas širi, to je trajanje

pulsa kraće !

Načini sinkronizacije modova

􀁺 Aktivna sinkronizacija

– Koristi se vanjski signal iz aktivnog elementa →

modulator

– Modulator propušta snop u točno određenom trenutku

('zaključa' modove) , te sustav ne izbacuje signal do

trenutka kada se modovi poslože na traženi način

– Dva načina modulacije: amplitudna (AM) i fazna (FM)

– Ovisno o tome koristimo akustičko-optički modulator

(AOM) ili elektro-optički modulator (EOM)

Aktivna sinkronizacija

􀁺 Sinkronizacija: ν=

c/2L

ν – frekv. modulatora

􀁺 Modulator propušta

puls kad su

rezonatorski gubici

minimalni

AM - amplitudna modulacija moda

􀁺 Oko centralne

frekvencije nastaju

lijevi i desni bočni

pojas na

frekvencijama ν-kf i

ν+kf

k=1,2,3...

􀁺 Sinkronizacijom bočni

pojasevi postaju

susjedni modovi

centralnom modu

FM – Fazna modulacija moda

􀁺 Modulirajući signal

pomiče frekvencije

rezonatora iz

spektralne širine

medija

􀁺 Sinkronizacija: ν=c/2L

􀁺 Nepromijenjene

ostaju samo one

frekvencije za koje

vrijedi ν=0

Regenerativna sinkronizacija modova

􀁺Oblik aktivne sinkronizacije

􀁺Eliminirana mana klasične aktivne

sinkronizacije

􀁺Sinkronizacija je uvijek postignuta

Načini sinkronizacije modova:

*1) Pasivna sinkronizacija*

– Koristi se sama laserska svjetlost, a promjenu signala

postižemo apsorberom

– transmisija ovisi o intezitetu upadne svjetlosti, tj. ako je

svjetlost koja upadne na apsorber dovoljno jakog inteziteta

doći će do transmisije, a svjetlost slabog inteziteta će

apsorbirati

– Mnogo kraće trajanje pulsa → femtosekunde

􀁺 Kad puls dođe na

apsorber, on izazove

zasićenje apsorpcije

te se smanje gubici

rezonatora

Što je to CHIRP?

􀁺 (eng. chirp = cvrkut) –

frekvencijska modulacija pulsa koja

podsjeća na ptičji pjev, pa odatle i naziv

chirp

Što znači da je puls frekventno moduliran ?

􀁺frekvencija vala nosioca se mijenja u

vremenu

􀁺Chirp ima važnu ulogu u oblikovanju

pulsa.

Optimalan dizajn mode-locked lasera

􀂃 Potrebno je dobro poznavanje odnosa

između parametara i načina rada lasera

Laserski sustav za stvaranje ultra kratkih

pulseva

Sastoji se od tri zasebna sustava:

Diodni pumpni laser

Sastoji se od 4 osnovna dijela:

􀁺 diodne pumpe - sustav diodnih

lasera, čiji se izlazni snop, nakon

kolimiranja na sustavu leća i

optičkih vlakana, dovodi do

laserske glave.

􀁺 laserska glava - ključni dio

laserskog sustava.

Sastoji se od :

1. optičkog rezonatora (Nd:YVO4

kristal , neodinijev itrijev vanadat)

2. kristala za udvostručenje

frekvencije (LBO kristal)

3. sustav zrcala za usmjeravanje

snopa

􀁺 kontrolera - upravlja čitavim

sustavom (podešava ulazna

snagu lasera, struju kroz lasersku

diodu, temp. stabilnost, temp

diode i sl.)

􀁺 hladnjaka. -za temperaturnu

stabilizaciju kristala

Femtosekundni laserski rezonator

􀁺 Proizvodi nisko-energetske kratke pulseve

Femtosekundno pojačalo

􀂾 strecher – pretvara femtosekundni puls u 50 – 200 ps

chirp-ani puls

􀂾 pojačalo s više stupnjva – pojačava energiju pulsa za faktor 107 – 109 (s 1 nJ na 1 mJ i više)

􀂾 compresor – smanjuje trajanje pulsa na fs

Zašto je potrebno prvo rastezati, pa potom

kompresirati puls?

􀁺Kad bi pojačali puls prije nego što ga

rastegnemo (kraće trajanje pulsa veća

snaga) došlo bi do oštećenja optičkog

sistema zbog prevelike snage pulsne

zrake (TW)

Pulsni laseri

􀁺 Trajanje pulsa do reda veličine femtosekunde

(atosekunde)

􀁺 Velika snaga iako u prosjeku relativno niska

sveukupna energija

Primjena pulsnih lasera

􀁺Bušenje zubne cakline

􀁺U oftamologiji

􀁺U preciznim mjerenjima (zbog učestalosti

ponavljanja pulseva i razlike frekvencija

susjednih modova lasera 1GHz)

􀁺Pri obradi različitih materijala (plastike,

metala, keramike)

􀁺Za zavarivanje, rezanje, bušenje

􀁺Spektroskopija (femtosekundni laseri) -

zbog njihove velike snage

􀁺Femtosekundni laserski oscilator na bazi

kristala safira dopiranog titanom.