

LASERSKE ZRAKE U STROJNOJ INDUSTRIJI

Bernik A.¹, Stipetić I.

¹Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

Sažetak: Laser ili naprava koja emitira koherentni snop fotona koristi se u mnogim ljudskim djelatnostima. Veliku primjenu ima u medicini, informatici, komunikacijskim tehnologijama, vojsci, industrijskoj proizvodnji. Danas se vrlo često koristi Nd:YAG laser s čvrstom jezgrom. Također veliki stupanj učinkovitosti imaju CO₂ laser - plinski laser koji kao aktivni medij koristi molekule ugljikovog dioksida. Zbog svoje velike učinkovitosti, mogu imati veliku snagu pa se upotrebljavaju u industriji za rezanje, bušenje, zavarivanje i dr. Laseri koji graviraju ispod površine stakla rade na principu multi-fotonske apsorpcije (Multi – photon absorption). Ovaj fenomen prouzrokuje stvaranje malih „mikro pukotina“ u fokusu zrake unutar materijala koji se gravira. Površina ostaje neoštećena zbog velike transparentnosti materijala, te tako omogućuje graviranje 2D ili 3D modela. Članak prikazuje i objašnjava neke laserske metode.

Ključne riječi: graviranje, laser, materijali, primjena, YAG laseri, Yvo4 Laseri

Abstrac: Laser or device that emits a coherent beam of photons is applied in many human activities. Has extensive application in medicine, computer science, communication technologies, military, industrial production ... Today is a very commonly used Nd: YAG laser with a solid core. Also a great degree of effectiveness with CO₂ laser - gas laser that is used as the active medium molecules of carbon dioxide. Because of its high efficiency can have great power and are used in industry for cutting, drilling, welding ... A laser engravings below the surface of the glass work on the principle of multi-photon absorption (Multi - photon absorption). This phenomenon causes the creation of small "micro-cracks" in the focus of the rays inside the material, which is engraved. Surface remains undamaged due to the high transparency of the material, and thus enables the engraving of 2D or 3D models.

Keywords: applications, laser engraving, materials, YAG lasers, Yvo4 lasers

1. UVOD

LASER (eng. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) je uređaj koji emitira snop fotona. Laserska svjetlost sastoji se od jedne valne duljine koja je usmjerena u uskom koherentnom snopu

(elektromagnetski valovi su u fazi – svi svjetlosni valovi titraju u fazi). Osnovni dijelovi lasera su rezonator, aktivni laserski medij i optička pumpa. Razlikujemo više vrsta lasera kao što su: plinski, poluvodički, kemijski, laseri s bojilima, laseri sa slobodnim elektronima i laseri s čvrstom jezgrom. Zbog kolimacije laserske zrake, postiže se velika preciznost emitiranog svjetla. Zato se laseri danas puno primjenjuju u medicini, vojsci, znanosti, tehnologiji, industriji. Laseri s krutom jezgrom (posebno Nd:YAG) se koriste za rezanje, bušenje i varenje. U mjeriteljstvu laseri se upotrebljavaju za označavanje položaja na nekom udaljenom mjestu, pa se u tu svrhu koriste poluvodički laseri. Još se koriste i za čitanje i pisanje CD/DVD medija, u laserskim printerima itd. Laserska zraka se stvara pomoću stimulirane emisije kada je sustav u interakciji s fotonom, čija je energija jednaka energiji pobuđenog stanja, emitiranjem novog fotona. Emitirani foton je povezan s fotonom koji je prouzročio reakciju – fotoni imaju jednaku energiju, fazu i smjer. Postoje dva uvjeta emisije fotona. Prvi uvjet je da laserski medij mora sadržavati energijske razine čija razlika energija odgovara energiji emitiranih fotona. Drugi uvjet je da većina atoma bude u pobuđenom stanju. Istodobno se u laserskom mediju mogu događati različiti procesi interakcije elektromagnetskog zračenja i materije, najviše apsorpcija i spontana emisija zračenja. Laseri s čvrstom jezgrom imaju jezgru napravljenu od kristala ili amorfne tvari najčešće u obliku štapića. Zrcala mogu biti tanki slojevi srebra napareni na krajeve štapića. Na taj način štapić čini lasersku šupljinu. Pobuđivanje atoma od kojeg se sastoji jezgra obično se provodi nekim intenzivnim izvorom svjetla. Zbog toga se često koriste ksenonske bljeskalice, a u novije vrijeme LED diode, čime se povećava energetska učinkovitost lasera.

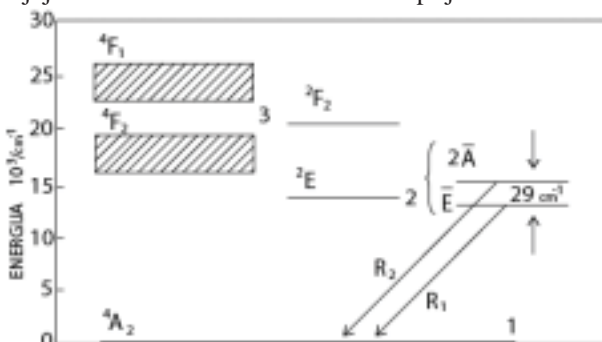
2. PODJELA LASERA

Nd:YAG laseri se dijele, s obzirom na agregatno stanje tvari, na plinske, tekuće i krute. Plinski laseri se dijele na atomske (He-Ne, Cs), ionske (Ar, Kr), molekularne (CO₂, N₂) i kemijske (samostalni). Tekući laseri se dijele na lasere «kaveznih» molekula (velike molekule koje okružuju ioni) i lasere na organskim bojama (dye lasers). Kruti laseri se opet dijele na kristalne (rubinske; YAG), amorfne (stakleni, plastični) i poluvodičke (samostalni). Prema načinu rada laseri mogu biti impulzni i kontinuirani. Laseri se pobuđuju optički, sudarima elektrona i atoma na plinskom izboju, ozračivanjem snopovima čestica visoke energije i

kemijskim reakcijama. Optički način je najefikasniji na krutim laserima, način pobuđivanja lasera sudarima elektrona i atoma je najefikasniji na plinskim laserima, dok se kemijskim reakcijama pobuđuje plinoviti laserski medij koji se sastoji od dvije ili više kemijski aktivnih komponenti.

2.1. Rubinski laser

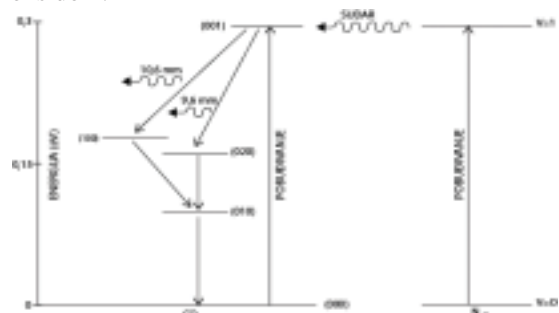
Jedan od najpoznatijih lasera, ujedno i prvi konstruirani, je laser kod kojeg se kao aktivni medij primjenjuje kristalna šipka sintetskog rubina. Rubin je zapravo aluminijev oksid Al_2O_3 koji sadrži 0,05 težinskih postotaka Cr_2O_3 , što mu daje ružičastu boju. U ovakvom težinskom omjeru 1 kubični centimetar rubina sadrži $1,6 \times 10^{19}$ iona Cr^{3+} . Povećanjem koncentracije kromovih iona, boja kristala mijenja se u crvenu, a valna dužina emisije od 694,3 nm na 700,9 i 704,1 nm. Kristalografska simetrija rubina je (gotovo) kubična, s malom distorzijom uzduž prostornih dijagonala. Posljedica distorzije je romboedarska simetrija, pa je kristal uniaksijalan, a optička os poklapa se s rotacijskom osi III. reda. Rubinska šipka mora biti homogena, bez defekata, a rubne površine rezane i optički polirane, pod kutom od 60° ili 90° prema kristalografskoj osi. Ovo je od iznimne važnosti za ostvarenje laserske akcije, jer stimulirana emisija najbolje teče u takvoj geometriji aktivnog sistema. U kristalnoj rešetki svaki aktivni ion okružen je kristalnim poljem koje održava simetriju rešetke. U konkretnom primjeru, rubinu, Cr^{3+} ion okružen je poljem Al_2O_3 rešetke koja uzrokuje cijepanje degeneriranih razina slobodnog iona. Koliki će biti stupanj cijepanja, tj. hoće li biti rascijepljene sve razine ili samo jedan dio, ovisi o simetriji polja. Separacija među rascijepljenim razinama ovisi o jakosti polja. Energetske razine u rubinu slobodnog Cr^{3+} iona cijepaju se na tri nivoa, koje označujemo s 4F_1 , 4F_2 i 4A_2 , s pripadnim multiplicitetima 12, 12 i 4. Isto tako, sljedeći nivo 2G cijepa se na 2A_1 , 2F_1 , 2F_2 i 2E razine, s multiplicitetima 2, 6, 6 i 4. Energetska shema koja odgovara ovom cijepanju izgleda kao na slici 1. Premda fizikalno i matematičko tretiranje laserske akcije na ovakvom sistemu nije sasvim jednostavno, možemo se poslužiti simplificiranom shemom koja se bazira na tri razine. Možemo, dakle, koristiti ranije opisani mehanizam populacijske inverzije na 3 nivoa, s tim da su pojedini nivoi zapravo vrpce velikog multipliciteta. Da bismo mogli objasniti lasersku akciju pomoću gornje sheme energetske razine (za slučaj rubina), potrebno je u njoj dati konkretnu sliku elektronskih prijelaza.



Slika 1. Energetske razine u rubinu

2.2. CO₂ laser

CO₂ laser je bio punjen pod pritiskom oko 1 torr. U eksperimentima, električni izboj ostvaren je primjenom istosmjernje struje visokog napona na jednom dijelu cijevi. U izboju nastaje veliki broj sudara između molekula CO₂ i elektrona. Neki od tih elektrona izazivaju kršenje veza između atoma i C i O, tj. disocijaciju CO₂ molekula. Prag za taj događaj je vrlo velik, pa je broj elektrona koji to mogu učiniti vrlo mali. Za ostvarenje laserske reakcije potrebna je pobuda molekula CO₂ koju samo može izazvati većina elektrona na različite vibracijske razine. U najvećem broju slučajeva elektroni pobuđuju molekule CO₂ na nivo, te su oni gotovo ekvidistantni. U plazmi se mogu događati međusobni sudari molekula. Kod sudara pobuđene i nepobuđene molekule, CO₂ (OOV₃) i CO₂ (000) rezultat je transfer energije vibracije s pobuđene na nepobuđenu molekulu. Molekula CO₂ (OOV₃) gubi sudarom 1 kvant vibracijske energije i postaje CO₂ (OOV₃-1) molekula, dok CO₂ (000) postaje CO₂ (001) molekula. Taj proces je rezonantan, pa je efikasnost konverzije vrlo velika i odvija se bez gubitka. CO₂ (001) molekula može emitirati laserski foton na 10,6μ i može prijeći na (100) nivo, a zatim na osnovno (000) stanje. Deeksitacija i prijelaz u osnovno stanje događa se sudarom s drugim molekulama, a može se također odvijati u rezonantnom procesu. U rezonantnom sudaru mogu sudjelovati CO₂ (100), ili CO₂ (020) molekule s nepobuđenom CO₂ (000) molekulom, pa može doći do redistribucije vibracijske energije između dviju molekula (obje pobuđene na (010) nivou). Sljedeći korak u deekstacionom procesu je prijelaz na osnovno stanje (000) i on se mora završiti prije nego što molekula ponovno sudjeluje u laserskoj emisiji. Za razliku od prijašnjih rezonantnih prijelaza u sudarima, prijelaz (010) -> (000) događa se u sudarima koji nisu rezonantni. Vibracijska energija jedne molekule transformira se u kinetičku energiju. U takvim nerezonantnim procesima mogu sudjelovati i čestice nekog drugog plina ili može biti čak posljedica zagrijavanja (zidovi laserske cijevi). Budući da deeksitacija nije rezonantan proces, može doći do usporavanja laserskog ciklusa eksitacija – deeksitacija, ili do stvaranja tzv. uskog grla kojemu je posljedica pad izlazne strane lasera. Osnovni uzrok ovih problema leži u tome što elektronski sudari s molekulama mogu pobuditi CO₂ molekulu, a i ostale razine, osim (OOV₃). Da bi se dobila veća kvantna efikasnost pobude, potrebno je imati neku vrstu selektivne pobude CO₂ molekula na gornji nivo, koja se ostvaruje dodatkom dušika ugljičnim dioksidom.



Slika 2. Selektivna pobuda i laserski prijelazi u sistemu CO₂ - N₂

Dodatak N_2 molekula u sistem koji sadrži CO_2 rezultira u selektivnoj pobudi molekula ugljičnog dioksida. Dušik koji je dvoatomska molekula ima samo jedan stupanj vibracijske slobode, pa prema tome jedan vibracijski kvantni broj v , a koji opisuje sva njegova vibracijska stanja. Sudarom s elektronom u plinskom izboju, molekule dušika mogu se pobuditi s nivoa $v=0$, na nivo $v=1$. Budući da je energija pobude N_2 molekule (za $v=1$) gotovo jednaka energiji pobude CO_2 molekule za stanje (001), u međusobnom sudaru nastat će veoma efikasni transfer vibracijske energije od molekule dušika na molekulu ugljičnog dioksida. U tom sudaru molekula N_2 vraća se s razine $v=1$ na osnovno stanje gubitkom kvanta vibracijske energije, koji je predala molekuli CO_2 te time pobudila iz osnovnog stanja na (001) nivo. Nakon toga molekula CO_2 može prijeći na (100) ili (020) nivo, emitirajući infracrvenu svjetlost od 10,6 μ m, odnosno 9,6 μ m. Korisnost dušika može se objasniti polazeći od energetskog dijagrama, njegovih niskoležećih vibracijskih razina. Zbog dugo živućeg stanja, molekularni dušik na razne vibracijske nivoe osnovnog laserskog stanja ne može prijeći radioaktivno na niži nivo. Pokazuje se da je pobuda N_2 s $v=0$ nivoa na više vibracijske razine efikasna primarno u plinskom izboju, dakle kod uvjeta koji su osnovni za konstrukciju CO_2 lasera. U plinskoj cijevi koja pored CO_2 sadrži N_2 pod niskim pritiskom, može se pobuditi oko 30% N_2 molekula na $v=1$ nivo. Vibracijski nivoi dušika, viši od nivoa $v=1$, gotovo su ekvidistantni kao za CO_2 molekulu u stanju (OOv_3). Odavde slijedi da u sudarima molekula N_2 u stanju v , s molekulama CO_2 u stanju (000), nastupa efikasan transfer energije vibracija za neki v' . To dovodi do deeksitacije molekula N_2 na nivo $v-v'$ i pobuđivanja molekula CO_2 s nivoa (000) na nivo (00 v'). Očito je da je ovdje $v_3 = v'$. Budući da je razmak između pobuđenih nivoa dušika v i ugljičnog dioksida (OOv_3) gotovo jednak, spomenuti sudari označuju rezonantni proces. Posljedica selektivne pobude je znatno povećanje izlazne snage lasera na sistemu $CO_2 - N_2$, nasuprot čistom CO_2 .

2.3. CO_2 laseri velike snage

Zbog dugog vremena života vibracijskih razina o kojima ovisi laserska akcija na CO_2 , možemo uskladištiti energiju u izbornom mediju oko 1 ms blokiranjem izlaza laserske zrake unutar rezonatora i tako spriječiti oscilaciju. Ako se blokada odjednom odstrani, tada se emisija lasera dogodi u obliku oštrog impulsa, čija vršna snaga oko 1000 puta premašuje prosječnu snagu kontinuirane operacije. Takav način operiranja naziva se „Q switching“ i najlakše se ostvaruje zamjenom jednog zrcala rezonatora rotirajućim zrcalom. Isti princip može se upotrijebiti i kod drugih lasera. Laser imitira svaki put kada rotirajuće zrcalo dođe u opoziciju s fiksnim zrcalom, no moguće su i druge konstrukcije, kao npr. kod rubinskog lasera. Očito je da rotacija zrcala narušava strukturu rezonatora, tj. mijenja njegov Q-faktor. Laserska operacija dogodit će se svaki put kada Q postane dovoljno velik da budu ispunjene relacije. Zato se ovakav način operacije naziva „Q switching“. U ovakvoj konstrukciji CO_2 laser, koji u kontinuiranom režimu rada daje snagu oko 50W, dat će (20-50)kW

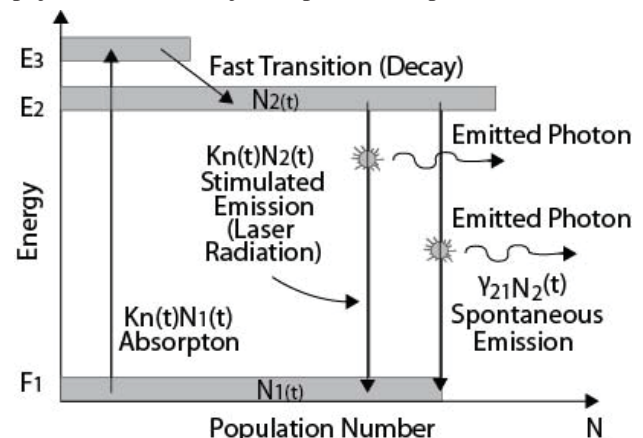
impulse, trajanja (500-150)ns, a oko 400 bljeskova u sekundi.

2.4. Nd:YAG laseri

Nd:YAG je laser s krutom jezgrom koji se sastoji od štapića itrij-aluminijevog granata, dopiranog neodimija. Nd:YAG je četverostupanjski laser koji emitira infracrveno zračenje valne duljine 1064nm, ali također se može prilagoditi i valnim duljinama od 940, 1120, 1320 i 1440nm. Zraku iz ovog lasera moguće je usmjeriti u kristal s nelinearnim optičkim svojstvima, čime se dobiva laserska zraka s fotonima koji imaju dvostruko veću energiju od onih koji su upali u kristal te je tako dobivena valna duljina veličine od 532nm, a to je zelena svjetlost. Kristal granata ima veliku toplinsku vodljivost pa se ovaj laser može upotrebljavati u kontinuiranom modu. Zbog problema u kristalizaciji, kristali granata su veliki nekoliko milimetara, ali količina dopiranih atoma neodimija može biti relativno velika (oko 1%). Mogu se napraviti i slični laseri od drugih materijala koji sadrže neodimij, npr. itrij-litijev fluorid (YLF), itrijev vanadat (YVO_4) ili staklo. Kod lasera Nd:Staklo spektralne linije nisu tako oštre kao kod Nd:YAG lasera, jer staklo nema pravilnu kristalnu strukturu, pa atomi neodimija nisu u jednakim okruženjima. Staklo nema tako dobru toplinsku provodljivost kao YAG, pa se Nd:Staklo laseri moraju koristiti u pulsnom modu. S druge strane, Nd:Staklo laseri nemaju ograničenja u veličini, a količina neodimija u staklu može biti i 30%, pa ovi laseri mogu biti jako snažni. Najveći dosad napravljeni laseri su Nd:Staklo. Zbog apsorpcije zračenja Nd:YAG na valnim duljinama 730-760nm i 790-820nm, za pobuđivanje se koristi kriptonka bljeskalica, za razliku od ostalih lasera gdje se radije koristi ksenonska bljeskalica koja daje više svjetla. Nd:YAG laseri se koriste za rezanje, bušenje, varenje, graviranje i drugu obradu metala, plastike i drugih materijala. U automobilskoj industriji se obično koriste laseri od 1,5kW. Nd:YAG laseri također imaju brojne medicinske primjene.

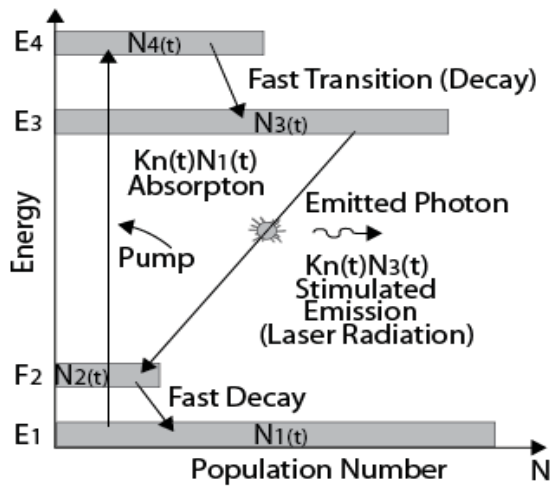
3. PRINCIP RADA

Svaki laser se sastoji od tri glavna dijela: optičkog pojačala, optičkog rezonatora i energetske pobude sustava. Optičko pojačalo je zapravo medij u kojem se pojačava laserska svjetlost pri svakom prolazu.



Slika 3. Trostupanjski način rada

U aktivnom mediju pumpanjem iz vanjskog izvora energije postiže se inverzija naseljenosti između gornjeg i donjeg nivoa čiji prijelaz daje laserski snop. Postoje mnogi rasporedi energetskih nivoa koji mogu osigurati lasersko djelovanje. Kod sheme s tri razine, laserska svjetlost nastaje pri prijelazu s nivoa E_2 na nivo E_1 koji je ujedno i osnovni nivo. Atomi se pumpaju na visoko pobuđenu razinu E_3 s osnovne razine. Na toj razini ostaju u prosjeku 10^{-8} sekundi i potom prelaze (obično ne radioaktivnim putem) na nivo E_2 koji je metastabilan. Budući da je vrijeme života metastabilnog nivoa relativno dugo, (reda veličine 10^{-3} sekundi) mnogo atoma ostaje u tome stanju.



Slika 4. Četverostupanjski način rada

Laser s četiri energetske razine ima dodatni energetski nivo iznad osnovnog stanja. Ovaj dodatni nivo kratko traje, odnosno donji nivo laserskog prijelaza se veoma brzo prazni i to olakšava održanje inverzne naseljenosti. Zbog toga za lasersko djelovanje uz ovakvu shemu nisu potrebne velike snage pumpanja kao kod sustava s tri nivoa. Kod sustava s četiri nivoa moguće je lasersko djelovanje i kad se većina atoma nalazi u osnovnom stanju. Zato se ovakva shema primjenjuje kod lasera koji rade u kontinuiranom režimu. Drugi glavni dio svakog lasera je optički rezonator. Tipično se laserski rezonator sastoji od dva paralelna skoro ravna zrcala. Jedno od zrcala ima reflektivnost što bliže 100% za lasersku svjetlost, dok je reflektivnost drugoga nešto manja od 100%, kako bi dio svjetlosti izašlo van i tako tvorilo laserski snop. Samo ona svjetlost koja putuje gotovo okomito na zrcalnu ravninu ostaje unutar rezonatora i ima priliku da bude pojačana. Da bi takva svjetlost konstruktivno interferirala, mora biti zadovoljen uvjet da je duljina rezonatora jednaka cjelobrojnom umnošku polovice valne duljine svjetlosti. Za različite vrijednosti cijelog broja m dobivaju se različite valne duljine, odnosno frekvencije pojedinih modova laserskog rezonatora. Zbog toga spektar laserskog svjetla izgleda kao serija uskih vršaka koji su međusobno razmaknuti za $c/2L$ na frekventnom spektru, gdje je c brzina svjetlosti, a L razmak između zrcala.

Kao energetska pobuda medija može poslužiti apsorpcija fotona, sudari između elektrona ili iona i aktivnih molekula, odnosno atoma koji emitiraju lasersko svjetlo, sudari između samih aktivnih atoma (molekula), rekombinacija slobodnih elektrona, rekombinacija

nositelja naboja u poluvodiču, kemijska reakcija koja stvara pobuđene molekule ili atome.

Dakle, vanjska pobuda dovede do inverzije naseljenosti u aktivnom mediju. Ovi atomi spontano emitiraju fotone koji zatim induciraju stimuliranom emisijom dodatne fotone. Neki od ovih fotona se vraćaju u medij djelovanjem rezonatora i stvaraju lavinu fotona u istom pravcu. Konačno se stvara ravnotežno stanje u kojemu veliki broj fotona putuje naprijed-natrag u rezonatorskoj šupljini po osi, dok mali dio fotona izlazi kroz zrcalo i daje laserski snop.

3.1. Optičko pumpanje

Princip optičke pobude čvrstog tijela nazivamo optičko pumpanje, čije karakteristike prikazujemo kroz tri varijante. U prvom slučaju svjetlost frekvencije $\nu = E_3 - E_1/h$ pobuđuje atome s nivoa 1 na nivo 3. Tada može nastupiti stimulirana emisija u prijelazu $E_3 \rightarrow E_2$, jer je nivo 2 prazan, a atomi pobuđeni na nivo 3. Budući da je pojačanje inverzno proporcionalno širini linije, nivo 3 neće biti jako širok. Ovo možemo i okrenuti i reći da je prijelaz u pumpanju $E_1 \rightarrow E_3$ vrlo uzak, te tako samo uska vrpca dolazi u obzir za pumpanje.



Slika 5. Tri varijante optičkog pumpanja

Ako aktivna supstanca ima razine kao na slici, uzbudna svjetlost podiže atome s nivoa E_1 na nivo E_3 . Sa E_3 oni se vrlo brzo relaksiraju neemisivnim procesom, ako je u čvrsto tijelo ugrađen aktivni atom.

Tako se pumpanje može nastaviti sve dok polovina atoma nije dignuta na nivo E_2 , a stimulirana emisija koja tada nastupa ide od E_2 na E_1 . U ovakvoj konfiguraciji nivoa emitirana linija će biti oštra, dok će uzbudni pojas biti širok, pa je u ovom procesu moguća primjena velikog broja valnih dužina.

Shema s četiri nivoa predstavlja kombinaciju prijašnjih dvaju. Široki pojas, sastavljen od mnogo linija, može se koristiti za pumpanje, dok stimulirana emisija može biti sadržana u jednom uskom prijelazu na prazni niži nivo. Takve kombinacije na 4 nivoa koriste se kod kristala s rijetko-zemljnim ionima, staklima, plastikama, pa čak i tekućinama. Uz pretpostavku da imamo čvrsto tijelo zadovoljavajućih luminiscentnih svojstava, spomenimo da ono mora dobiti i odgovarajući geometrijski oblik za ostvarenje laserske akcije (obično šipke). U najvećem broju slučajeva to se ostvaruje izvlačenjem iz taljevine u koju je dodan određeni postotak aktivatora. Optička pobuda kristalnog materijala u formi šipki radi se pomoću svjetlosnih izvora kao što su fluorescentne cijevi (bljeskalice), koje mogu biti različite konstrukcije, a obično se susreću kao spiralne ili linearne. Sistem optičkog pumpanja uključuje pored svjetlosnog izvora i

reflektor, koji okružuje cijelu aktivnu materiju. Njegova je uloga da vraća svjetlost, koja bi se inače izgubila prema aktivnoj materiji, povećavajući tako gustoću uzbudnog zračenja. Presjek reflektora obično je eliptičan, ali se susreću i takvi koji se sastoje od dva ukrštena eliptična reflektora. Čvrsti kristal u obliku štapića - laserska šipka - stavlja se u jedan fokus elipse, a linearna bljeskalica u drugi.

3.2. Multi-photon absorption

Ovaj fenomen koji koristi elektromagnetski val laserskog snopa, poznat kao koherentno svjetlo, stvara električno polje veće od 10 milijuna volti po centimetru. Kada je laserski snop fokusiran u unutrašnjost subjekta kristala, stvaraju se nepovezani (eksterni) elektroni također poznati kao slobodni elektroni. Ovi slobodni elektroni, ubrzani električnim poljem i stvoreni laserskom zrakom, uzrokuju visoku energiju elektrona da bi se sudarili s atomima i ionima u fokusnom području. Kako se proces nastavlja, uzrokuje lančanu reakciju i proizvodi oko 1 milijun trilijuna slobodnih elektrona po kubičnom centimetru u oko 1^{-12} sekunde. Laser potom emitira kratki puls snopa zraka u trajanju od nekoliko 1^{-9} sekundi, koji proizvodi malene "mikro" pukotine. Glava lasera se zatim pomiče i pozicionira na desetke tisuća dodatnih mikro pukotina kako bi stvorila 2D ili 3D slike. Iako laser proizvodi snagu gustoće od 10 milijardi W/cm^2 , površina kristala nije oštećena zbog velike transparentnosti (prozirnosti) optički savršenog kristala. Rezultirajuća slika se pojavljuje zabilježena unutar kristala.

4. TABLIČNA USPOREDBA

Tablica 1. Usporedni prikaz laserskih svojstava

Naziv lasera	Rubinski	CO ₂	Nd:YAG
Laserski medij	štapić rubina	ugljkov dioksid	štapić itrij aluminijevog granata
Način pobude	ksenonska bljeskalica	ksenonska bljeskalica	kriptonska bljeskalica
Princip rada	Tro stupanjski	Tro stupanjski	Četvero stupanjski
λ zrake	694 nm	9.4 – 10.6 μm	1043 nm
Snaga-kont (puls)	1KW (10MW)	50W (50KW)	1-5KW (250MW)
Primjena	medicina	Industrija / medicina	Industrija / medicina

5. ZAKLJUČAK

Tehnologija i proizvodnja lasera svakodnevno raste. Još 1917. godine Albert Einstein teorijski je predvidio mogućnost stimulirane emisije elektromagnetskog zračenja, a tek je 1960. godine na tom principu izrađen prvi laser. Danas laseri imaju vrlo široku primjenu u ljudskim djelatnostima. Svoju primjenu su našli u građevini za bušenje tunela, u astronomiji za precizna

mjerenja velikih udaljenosti, u komunikacijskim sistemima, u medicini za korekciju vida, za odstranjivanje tetovaže, te u kirurgiji zbog velike preciznosti. Laseri se još koriste za dobivanje 3D slika. Tzv. holografski laseri koriste se u raznim granama industrijske proizvodnje za zavarivanje, taljenje, rezanje, bušenje... Osnovna podjela temelji se na agregatnom stanju laserskog medija koji može biti kruti, plinski i tekući. U radu su objašnjene tri vrste lasera: rubinski (koji je ujedno i prvi napravljeni laser 1960. godine), CO₂ i Nd:YAG laser, njihove osnove, princip rada i primjena.

6. LITERATURA

- [1] Stjepan Lugomer, Mladen Stipančić, (1977), *Laser, IGKRO Svjetlost*
- [2] Peter W. Milonni, Joseph H. Eberly, (2010), *Laser physics*
- [3] www.en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide_laser. Dostupno datum: 07.03.2011.
- [4] www.en.wikipedia.org/wiki/Ruby_laser. Dostupno datum:07.03.2011.
- [5] www.en.wikipedia.org/wiki/Nd:YAG_laser. Dostupno datum: 07.03.2011.
- [6] www.rp-photonics.com/yag_lasers.html. Dostupno datum: 12.03.2011.
- [7] www.jila.colorado.edu/research/optical-physics. Dostupno datum: 12.03.2011.
- [8] www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/optmod/lasapp.html. Dostupno datum: 12.03.2011.
- [9] alphys.physics.ox.ac.uk/research/groups/laser/lasers.html. Dostupno datum: 13.03.2011.

Kontakt:

Andrija Bernik
bernik.velv@gmail.com