

# VRSTE LASERA

# PODELA LASERA

**Prema vrsti materijala od kojeg je napravljen izvor:**

- ▶ Čvrstotelni laseri
- ▶ Gasni laseri
- ▶ Poluprovodnički laseri
- ▶ Tečni laseri

**Prema načinu pumpanja aktivne (radne) sredine**

- ▶ laseri sa optičkim pumpanjem (kristalni i tečni)
- ▶ laseri koji se pumpaju električnim pražnjenjem.
- ▶ Hemijski laseri

**Prema režimu rada:**

- ◎ Kontinualni
- ◎ Impulsni laser

**Prema oblasti spektra u kojoj emituje svetlost:**

- ◎ Laseri u vidljivom delu spektra
- ◎ Laseri u bliskoj infracrvenoj oblasti
- ◎ Laseri u dalekoj infracrvenoj oblasti
- ◎ X- laseri, zračenje u X-oblasti

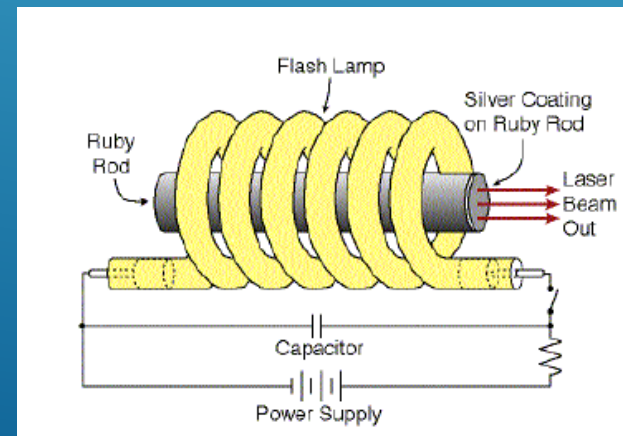
# ČVRSTOTELNI LASERI

## UVOD-KRATAK ISTORIJSKI OSVRT

- ▶ 1952. godine predložen princip generisanja i pojačavanja elektromagnetskog zračenja ultravisokih frekvencija na bazi pojave indukovanog zračenja
- ▶ Ovo otkriće je doprinelo tome da se ostvari generator zračenja, vrlo malih talasnih dužina
- ▶ 1960. godine – Prvi optički kvantni generator- aktivni materijal sintetički rubin
- ▶ LASER - Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
- ▶ Laser na bazi rubina, kao aktivnog materijala, radio je u impulsnom režimu rada, a njegovo zračenje je pripadalo crvenoj oblasti spektra elektromagnetskog zračenja. Sama pobuda lasera je ostvarivana snažnim svetlosnim izvorom .

# UVOD-KRATAK ISTORIJSKI OSVRT

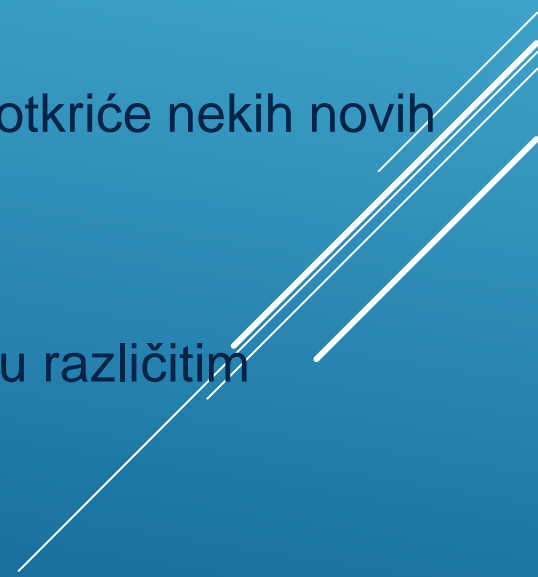
- ▶ 1961. godine R. W. Hellwarth otkrio metod Q-switch za koncentrisanje izlaza lasera na bazi rubina u jedan impuls
- ▶ Q-prekidač je optički zatvarač koji sprečava laserski niz akcija tokom impulsa blic lampi čime inverzna populacija može da dostigne veliku vrednost
- ▶ Prvi čvrstotelni neodimijumski laser otkriven 1961. godine bio je na bazi kalcijum-tungstena (wolfram) dopiran jonima neodimijuma
- ▶ Iste godine E. Snitzer demonstrirao je neodimijumski stakleni laser
- ▶ Helijum-neonski laser



# UVOD-KRATAK ISTORIJSKI OSVRT

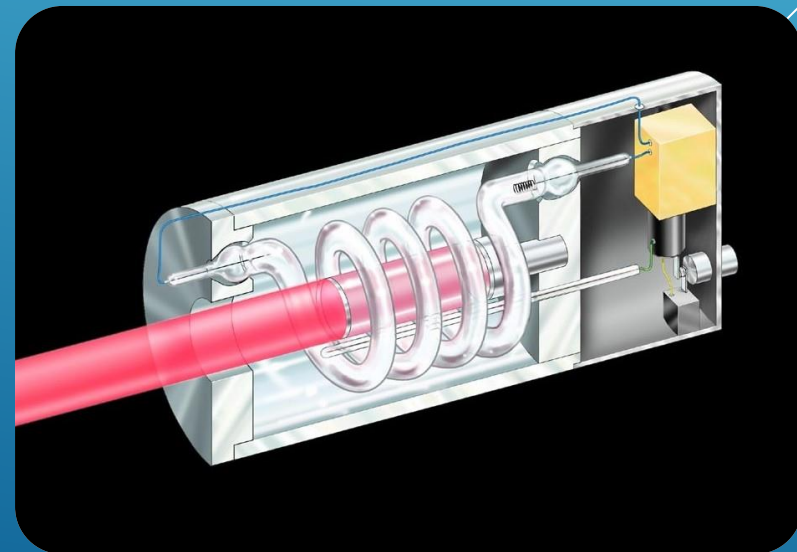
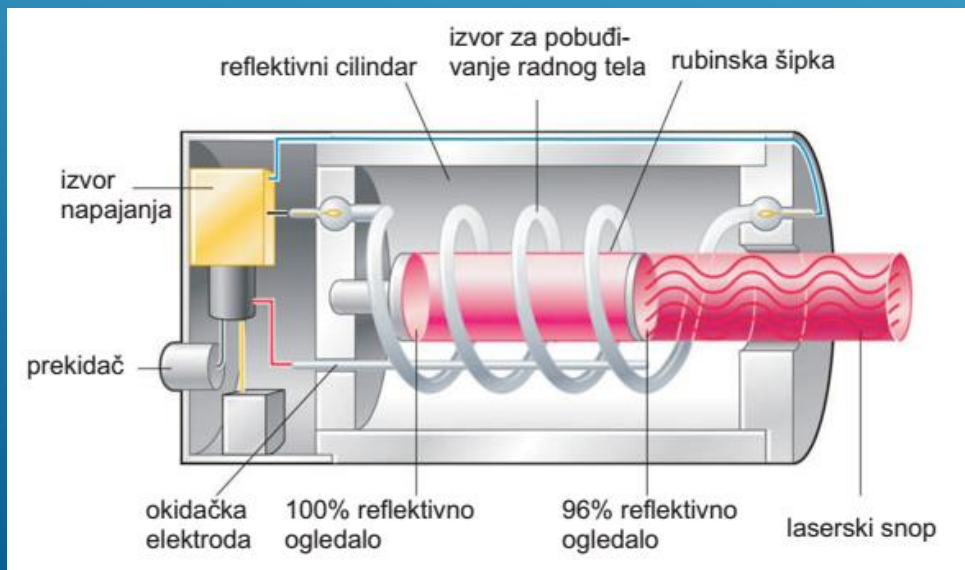
- ▶ 1962. godine dobijena su indukovana zračenja u poluprovodničkoj diodi, laserska dioda, što je omogućilo konstrukciju lasera na bazi čvrstotelnih materijala
- ▶ Veliki broj aktivnih materijala
- ▶ Generisanje posebnog zračenja na bazi kristala
- ▶ Generisani laserski zrak poseduje niz svojstava, kakva se ne mogu naći u običnim izvorima zračenja.
- ▶ Lasersko zračenje je koherentno u prostoru i vremenu, monohromatsko, prostire se u vrlo uskom snopu velike gustine energije, koje je smatrano čak i nedostižnom.
- ▶ Ovo je omogućilo primenu laserskog zraka za ispitivanje različitih materijala, za objašnjenje strukture atoma i molekula, da se utvrdi priroda njihovog uzajamnog delovanja, ali i za utvrđivanje živih ćelija u čovekovom i drugim živim organizmima.

# UVOD-KRATAK ISTORIJSKI OSVRT

- ▶ Laserskim zrakom moguć je i prenos signala kao i realizovanje veza između dalekih objekata
  - ▶ 1963. godine ispitivana površina meseca
  - ▶ Snažan podstrek razvitku laserske tehnike dalo je otkriće nekih novih struktura materijala
  - ▶ Sve ovo omogućilo je da se laseri sve više koriste u različitim oblastima
- 

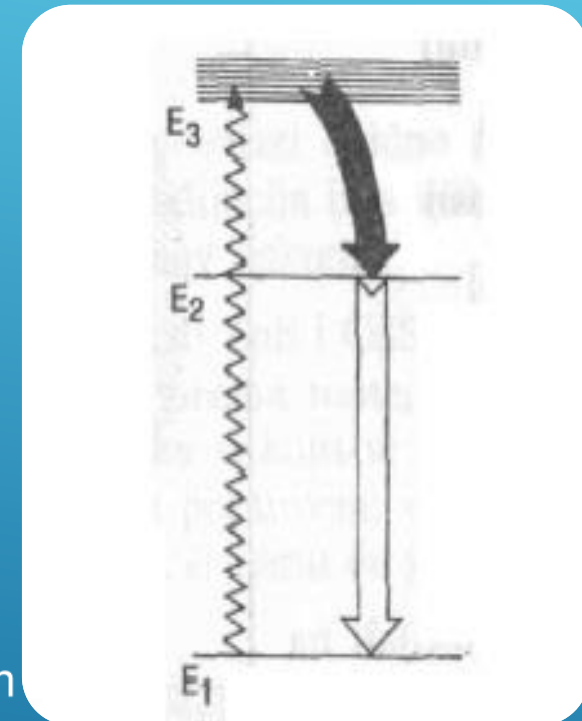
# ČVRSTOTELNI RUBINSKI LASER

- ▶ Radno telo je kristal rubina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) sa primesama hroma (Cr).
- ▶ Atomi (joni) hroma uzrokuju postojanje metastabilnih energijskih stanja u kristalu  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , neophodnih za postizanje inverzne naseljenosti energijskih nivoa.
- ▶ Oni, prema tome, imaju ključnu ulogu u procesu dobijanja laserske svetlosti.



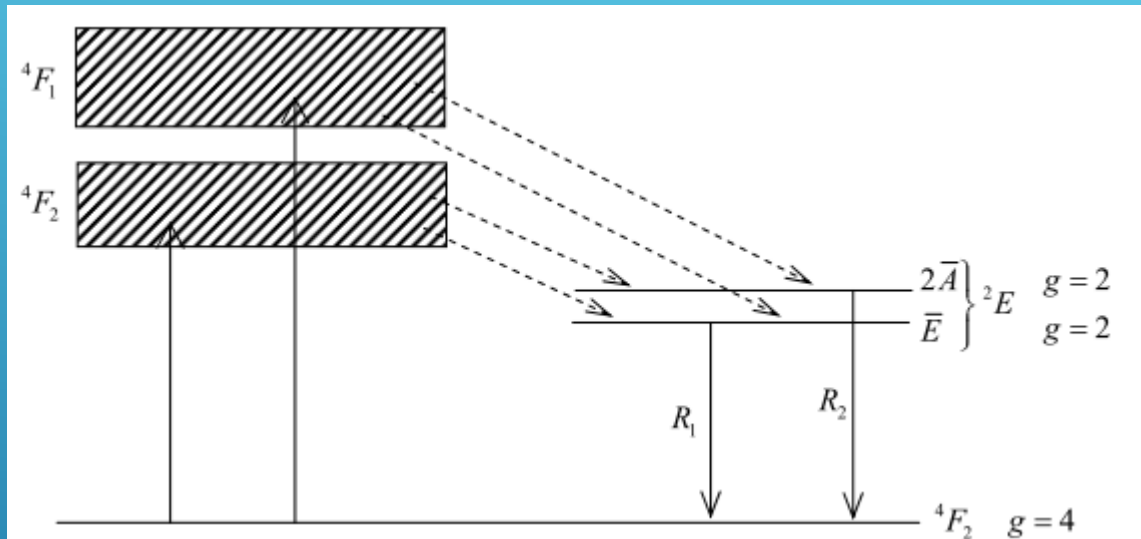
# ČVRSTOTELNI RUBINSKI LASER

- Uslovi emisije fotona:
  - Borov uslov – laseriki medij mora sadržati energetske nivoe čija razlika odgovara energiji emitovanih fotona
$$E_2 - E_1 = h * \lambda$$
  - Većina atoma mora biti u pobuđenom stanju
- Rubinski laser je tronivoski laser
- Laserski medij je smešten između dva paralelna ogledala
- ▶ Pobuda se vrši uz pomoć Ksenonske sijalice
- Joni hroma ( $\text{Cr}^{3+}$ ) se prevode iz osnovnog stanja 1 u pobuđeno stanje 3 čije je vreme života veoma kratko ( $\sim 10^{-8}\text{s}$ ).
- Neki elektroni se vraćaju direktno u osnovno stanje, ali većina ih prelazi na metastabilno stanje 2 sa daleko dužim vremenom života ( $\sim 10^{-3}\text{s}$ ).
- Na taj način se ostvaruje inverzna naseljenost
  - $E_3 \rightarrow E_2$  – toplotna energija
  - $E_2 \rightarrow E_1$  – fotoni





Energetski nivoi rubinskog lasera su nivoi jona  $\text{Cr}^{3+}$  u rešetki kristala  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Rubinski laser ima dve osnovne apsorpcione pruge  ${}^4F_1$  i  ${}^4F_2$ , čiji centri su na talasnim dužinama  $0,55\mu\text{m}$  (zelena) i  $0,42\mu\text{m}$  (ljubičasta).



Energetski nivoi rubinskog lasera.

Prelazi sa tih traka na gornje laserske nivoe  ${}^2E$  ( $2A$  i  $E$ ) su neradijacioni i brzi. Pošto su nivoi  $2A$  i  $E$  međusobno povezani brзом neradijacionom relaksacijom, njihova naseljenost se termalizuje (rastojanje nivoa  $2A$  i  $E$  je malo u poređenju sa  $k_B T$ , tako da su njihove naseljenosti uporedljive, iako je naseljenost nivoa  $E$  veća). Laserska generacija se može dobiti na dva prelaza  $R$  ( $\lambda_1 = 0,6943\mu\text{m}$ ) i  $R_2$  ( $\lambda_2 = 0,6928\mu\text{m}$ ) sa nivoa  $E$  i  $2A$  na osnovni nivo  ${}^4A_2$ .

# PERFORMANSE PARAMETARA ČVRSTOTELNIH LASERA

- ▶ Najefikasniji svetlosni izvori zrače u širokim spektralnim oblastima
- ▶ Aktivna sredina treba da ima jake apsorpcione trake i uzan fluorescentni prelaz sa što većom kvantnom efikasnošću
- ▶ Dielektrični kristali dopirani prelaznim elementima u dobroj meri zadovoljavaju ovaj uslov
- ▶ Čvrstotelni laseri obezbeđuju najsvestraniji izvor zračenja od svih vrsta lasera
- ▶ Širok opseg izlaznih parametara

# PERFORMANSE PARAMETARA ČVRSTOTELNIH LASERA

- ▶ Čvrstotelni laseri se koriste u raznim oblastima
- ▶ Fleksibilnost čvrstotelnih lasera proizilazi iz činjenica da mnogi parametri mogu da se menjaju
- ▶ **Prosečna izlazna snaga**
  - ▶ Većina čvrstotelnih lasera imaju izlaznu snagu ispod 20 W
- ▶ Elektronska industrija predstavlja najveće tržište za aplikacije kao što su lemljenje, skidanje i lepljenje žica, popravka memorija itd.
- ▶ Koriste se i u medicini, čvrstotelni laseri sa snagom preko 5 kW koriste se pri radu sa metalom, sa snagom od oko 100 kW u procesu proizvodnje

- ▶ **Maksimalna snaga**-Laseri koji rade u impulsnom režimu sa širinom impulsa reda  $100 \mu\text{s}$  i energijom od nekoliko Džula se koriste u procesu proizvodnje za bušenje rupa. Maksimalna snaga ovih lasera je obično nekoliko desetina kilo wata.
- ▶ **Širina impulsa**- Čvrstotelni laseri obuhvataju opseg rada od kontinualnog režima do impulsnog kao i kratak ciklus frekvencije lasera koji je reda veličine  $1 \text{ fs}$ .
- ▶ Dugački impulsi koji su reda veličine mili i mikrosekunde su generisani podešavanjem dužine pumpajućeg impulsa. Bušenje rupa i kaljenje površina metala se vrši sa impulsima u trajanju od  $100\mu\text{s}$
- ▶ Spektralni opseg
- ▶ Da bi se realizovao podesivi izlaz neophodno je korišćenje podesivih lasera kao što su Ti : safirski ili na bazi aleksandrita
- ▶ Većina efikasnih lasera kao što su laseri na bazi neodimijuma su u suštini laseri fiksne talasne dužine sa izlazom oko  $1\mu\text{m}$

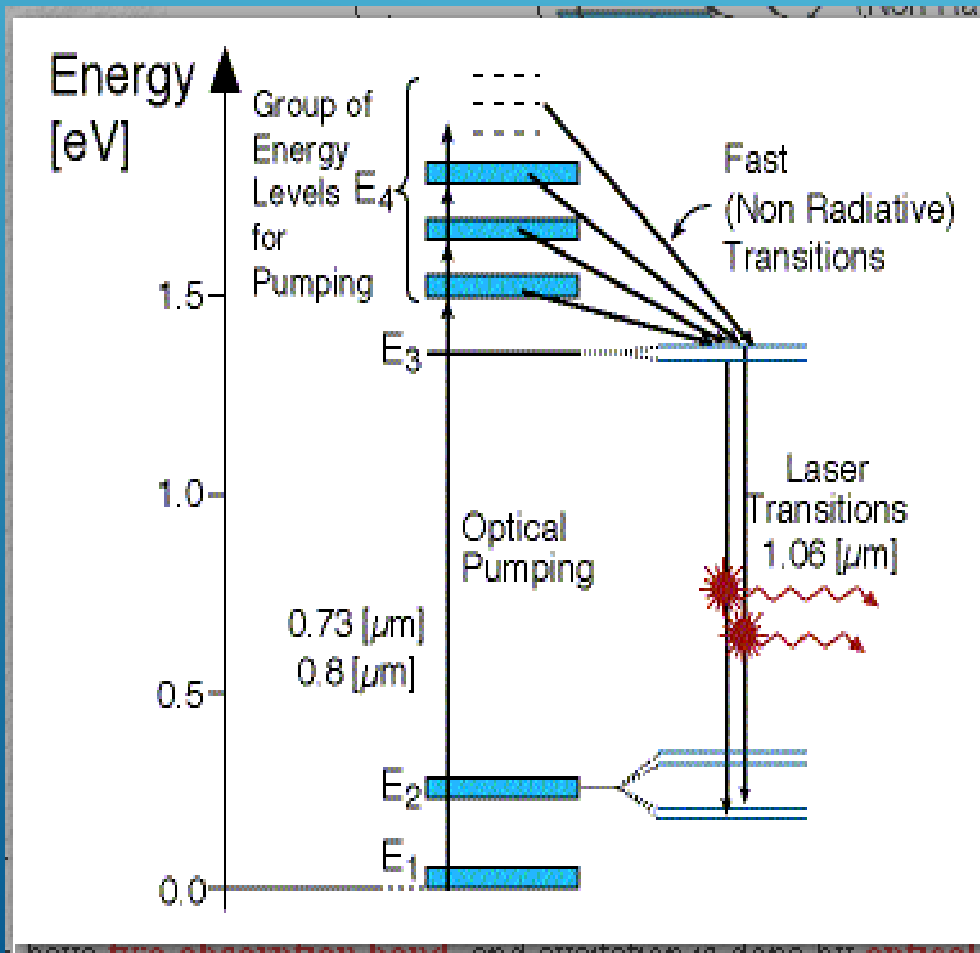
- ▶ Limit spektralnog opsega čvrstotelnih lasera u UV regionu je dostignut pomoću neodimijumskog lasera i iznosi 266nm
- ▶ Ograničenja talasnih dužina ograničena nedostacima kristala
- ▶ **Karakteristike prostornog snopa**
- ▶ Praktično sve laserske aplikacije koriste neku vrstu ograničenog snopa
- ▶ Bitno je napomenuti da postoji kompromis između izlazne snage i kvaliteta zračenja
- ▶ **Budući trendovi** - zamena blic lampi sa nizovima laserskih dioda
- ▶ Velika izlazna snaga
- ▶ Porast sa 10% na 30-40% korisnog izlaza

# YAG LASER

- ▶ Itrijum Aluminijum Garnet (**YAG**, sa hemijskom formulom  $Y_3Al_5O_{12}$ ) se ustalio kao najproizvođeniji laser i od skoro uživa popularnost kao zamena materijala za optičke komponente.
- ▶ YAG je stabilna komponenta, mehanički čvrst, fizički jak, optički izotrpan i transparentan od ispod 300 nm do iznad 4 mikrona.
- ▶ Prvi objavljeni YAG materijal sa jonom Nodijuma ( $Nd^{3+}$ ) bio je u Bell Telephone Laboratory 1964 godine.
- ▶ YAG sistemi mogu da rade na višim prijemnim režimima, višim izlaznim energijama, i da rade sigurnije od prve generacije rubinskih sistema, prvenstveno zbog termičke stabilnosti i robusne prirode Nd:YAG materijala.
- ▶ Dodatne primene, od kojih mnoge koriste kablovske prenosne sisteme, proširene su da bi uključile sečenje, zavarivanje i bušenje metala u automobilskoj industriji, obeležavanje i popravku poluprovodničkih materijala, kao i za medicinu i zubarstvo.
- ▶ Ovo je implementirano uz pomoć lasera koji rade u opsegu od ultravioletnog do blisko-infracrvenog zračenja, koristeći Holmijum ( $Ho^{3+}$ ), Tulijum ( $Tm^{3+}$ ), Erbijum ( $Er^{3+}$ ), Iterbijum ( $Yb^{3+}$ ), Hrom ( $Cr^{3+}$ ).

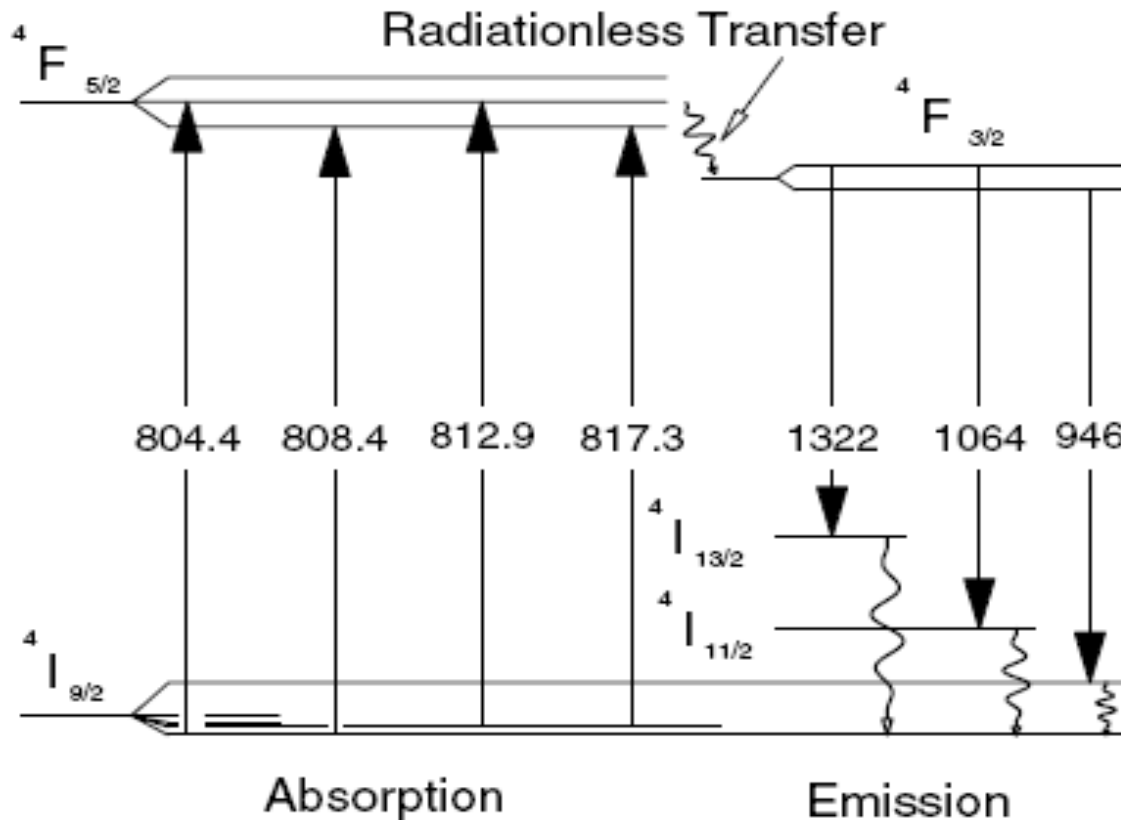
# ND : YAG NEODIMIJUMSKI LASER

- Najčešće korišćeni čvrstotelni laser
- Tipičan predstavnik lasera sa 4 energetska nivoa



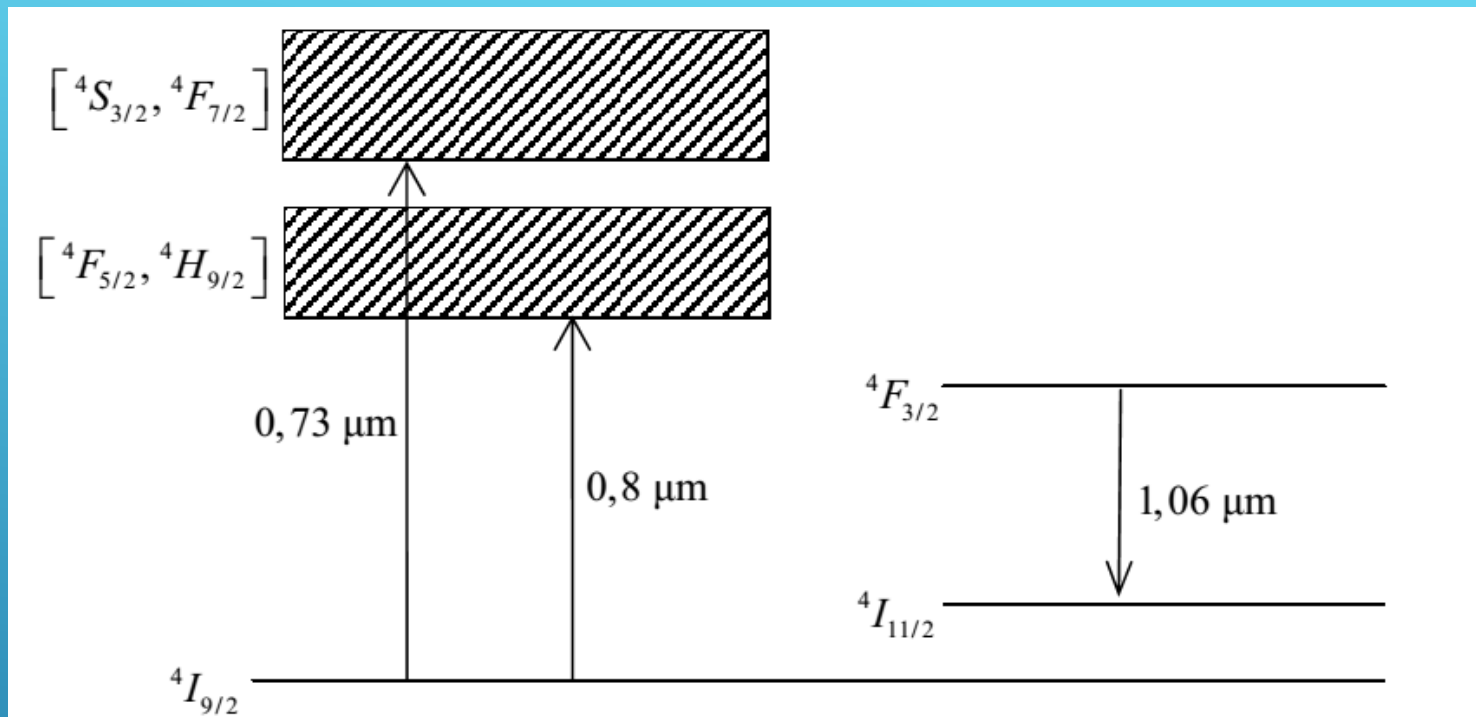
- ▶ Za rad u impulsnom režimu koriste se ksenonske bljeskalice, a u neprekidnom režimu kriptonske bljeskalice visokog pritiska
- ▶ Aktivnu sredinu ovog lasera predstavljaju trostruko jonizovani atomi neodijuma ( $\text{Nd}^{+3}$ )
- ▶ Generišu zračenje na više talasnih dužina
- ▶ Energija elektrona se predaje veoma brzo i efikasno kristalnoj rešetci

- ▶ Sistem ima 4 diskretna apsorpciona nivoa između elektronskih podnivoa  $4I_{9/2}$  i  $4F_{5/2}$  koji potiču od  $Nd^{3+}$  jona u YAG kristalnoj rešetki.
- ▶ Najznačajniji laserski prelaz se dešava između početnog stanja  $4F_{3/2}$  i završava se na  $4I_{11/2}$  stanju, pri čemu emitovana svetlost ima talasnu dužinu od 1064nm.
- ▶ Iz ovog stanja se atomi Nd relaksiraju opet u osnovno stanje  $4I_{9/2}$  sve dok proces pumpanja ne počne ponovo iz početka.



Relavantni energetska  
nivoi Nd:YAG-a





- ▶ Brzi neradijativni relaksacioni procesi zajedno sa dugim vremenom života  $^4F_{3/2}$  stanja obezbeđuje visoku kvantnu efikasnost pri konverziji pumpane energije u lasersku energiju na izlazu.
- ▶ Kod neradijativnog prelaza energija elektrona se predaje veoma efikasno i brzo kristalnoj rešetki, usled čega se kristal zagreva.
- ▶ Metastabilni I nivoi su neuobičajeni u tome što imaju relativno dugo vreme života od prlike  $550 \mu\text{s}$ .
- ▶ Inverzna populacija je potreban uslov za stimulisanu emisiju da bi postala apsorpcija i prerasla u pojačanje svetlosti.

Hemijska formula	Nd:Y <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub>
Težina % Nd	0.725%
Atoma % Nd	1.0%
Nd atoma/cm	1.38x10 <sup>20</sup>
Energija fotona 1.061μm	1.86x10 <sup>-19</sup> J
Spektralna širina prelaza	0.45 nm
Srednje vreme života laserskog prelaza ( <sup>4</sup> F <sub>3/2</sub> → <sup>4</sup> I <sub>11/2</sub> )	550 μs
Presek za stimulisanu emisiju	σ <sub>21</sub> =2.7-8.8x10 <sup>-19</sup> cm <sup>2</sup>
Srednje vreme života za relaksacioni prelaz sa donjeg laserskog nivoa na osnovni nivo Nd( <sup>4</sup> I <sub>11/2</sub> → <sup>4</sup> I <sub>9/2</sub> )	30 ns
Indeks prelamanja	1.82 (na 1.0 μm)
Gubici usled rasejanja	α <sub>p</sub> ≈0,002 cm <sup>-1</sup>
Termalna provodljivost	0,14 Wcm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>

# PROIZVODNJA YAG-A

- ▶ Rast YAG kristala se ostvaruje upotrebom procesom rasta Čohralskog.
- ▶ U ovom procesu YAG materijal i dopanti se tope u iridijumskoj posudi koja se zagreva indukcijom i kristalni rast je pod kontrolom računara.
- ▶ Pošto se koncentracija Niodijuma povećava se dužinom kristala, može se koristiti samo oko 25% istopljenog kristala.
- ▶ Kada se jednom proces rasta završi, YAG kristal se polako hladi kako bi se smanjila mogućnost oštećenja od visokih termalnih udara.

# PRIMENA ND:YAG LASERA

Nd:YAG laseri imaju široku primenu u :

- ▶ Medicini, kod operacije katarakte oka, u estetskim operacijama itd.
- ▶ Industriji, gde se koriste za graviranje, nagrivanje, ili obeležavanje različitih metala i plastika.
- ▶ Većinom se koriste za zavarivanje i sečenje čelika, i drugih legura. Za automobilsku industriju snage lasera su u dijapazonu od 1 do 5 kW.
- ▶ Koriste se za označavanje ispod površine kod transparentnih materijala, kao što je akrilno staklo.
- ▶ Dinamici fluida, gde se meri brzina čestica fluida.
- ▶ Vojsci, za lasersko navođenje projektila, merenje razdaljine objekta.

# ND:STAKLO LASER

- **Nd:staklo laser (otkrio ga je E. Snitzer 1961. god)**
- **Nd:staklo laser** radi na istom principu kao i Nd:YAG laser, a razlika u karakteristikama potiče od razlika u strukturi aktivne sredine,
- Staklo pripada grupi amorfnih materijala ima izotropne osobine kod ovih lasera koncentracija Nd može biti znatno veća.
- Aktivna sredina od stakla može biti različitog oblika i dimenzije joj mogu biti znatno veće od dimenzija kristala.
- Ovo obezbeđuje izuzetno veliku izlaznu snagu Nd:staklo lasera, najveću do sada poznatu.
- Staklo ima malu toplotnu provodljivost pa Nd:staklo laseri ne mogu da rade u kontinualnom režimu tako da većina ovih lasera radi u impulsnom režimu.
- Pošto aktivne sredine kod Nd:staklo lasera može imati velike dimenzije njihova izlazna snaga je znatno veća od snage Nd:YAG lasera i dostiže vrednosti do nekoliko stotina TW, što omogućava upotrebu ovih lasera u eksperimentima vezanim za nuklearnu fuziju.