

RAZVOJ KONTINUALNOG ND-YAG LASERA SA SAOSNOM DIODNOM POBUDOM

Boban Zarkov, Dejan Pantelić, Bratislav Panić, Aleksander Kovačević, Aleksandar Krmpot, Ilija Belić
Institut za fiziku, Pregrevica 118, 11080 Zemun

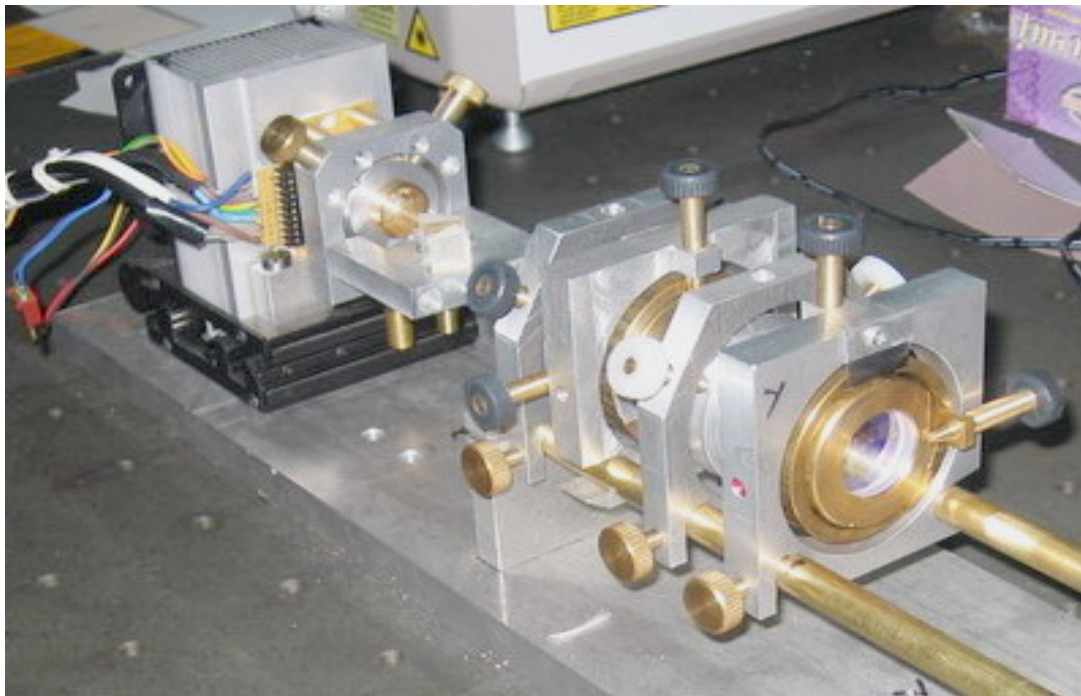
Sadržaj – U radu je prikazan Nd YAG laser realizovan u Institutu za fiziku. Uređaj se sastoji od pobudne laserske diode ($\lambda=808$ nm), sistema za napajanje, sistema za stabilizaciju temperature laserske diode, optičkog sistema sa hemisferičnim rezonatorom i parom prizmi za kolimaciju upadnog zračenja. Određene su bitne karakteristike samog lasera, kao što su zavisnost izlazne optičke snage od temperature laserske diode, profil i ugao divergencije laserskog snopa, zavisnost izlazne snage od jačine struje laserske diode, prag laserovanja i optička efikasnost sistema. Optimizacijom celog sistema, prvenstveno povećavanjem efikasnosti transfera pobudnog zračenja do samog kristala, postignuta je maksimalna izlazna snaga 375 mW.

1. UVOD

Primarni etaloni dužine se danas ostvaruju preko lasera stabilne učestanosti izlaznog zračenja. Krajnji cilj je da se napravi kontinualni Nd-YAG laser udvostručene emisione učestanosti, te da se stabilise saturacionom spektroskopijom na parama joda U ovom radu prikazana je međufaza u kojoj smo,

finim podešavanjem optike, uspeali da dobijemo rad u osnovnom transversalnom modu i da postignemo izlaznu optičku snagu od 375mW (slika 1). U kristalu $Y_3Al_5O_{12}$ (itrijum – aluminijum granat) 1,1% atoma trovalentnog itrijuma zamenjeno je trovalentnim neodimjumom. Zbog svojih odličnih fizičkih karakteristika Nd-YAG je materijal koji se danas najviše koristi za lasere i tipičan je predstavnik laserskog sistema sa četiri nivoa [1,2]. Pošto je jedini način pobude aktivne sredine lasera čvrstog stanja optičkim putem, za pobudu se koriste lampe bljeskalice, ako je u pitanju impulsni režim rada, lučne lampe za kontinualni rad i laserske diode za oba ova načina. Prednost laserskih dioda je u tome što su jeftinije i jednostavnije za upotrebu. Osnovna karakteristika diodne pobude je ta što se za nju koristi laserska svetlost, koja je usmerena i ima usku spektralnu liniju. Razvijene su dve osnovne konfiguracije diodne pobude. Kada se zračenje iz diode usmerava normalno na aktivnu sredinu, to je bočna pobuda (side-pumping), a kada se usmerava duž ose aktivne sredine, saosna pobuda (end-pumping) [3,4].

Pri realizaciji našeg lasera upotrebljena je saosna pobuda. Prednost saosne pobude odlikuje se boljim kvalitetom snopa, jednomodnim radom i niskim pragom laserovanja [3,4,5].

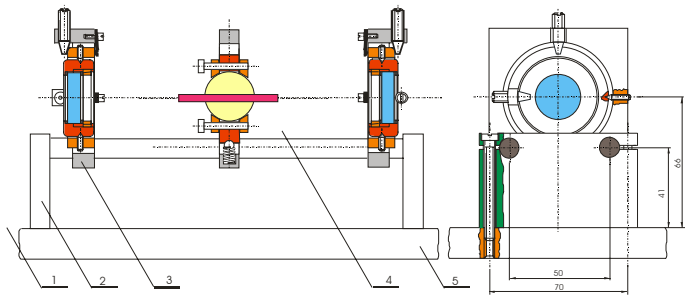


Sl.1. Izgled laserskog sistema

2. OPIS LASERSKOG SISTEMA

Talasna dužina na kojoj emituje laserska dioda (firme HPDI tipa HPD -1020) je $\lambda=808$ nm na temperaturi $T=17.65$ °C, a na kojoj je talasna dužina apsorpcije Nd-YAG kristala maksimalna [6]. Dioda spada u red snažnijih laserskih dioda, a konstrukciono je izvedena zajedno sa termistorom kao indikatorom temperature, Peltijeovim elementom kao sistemom za hladjenje i fotodiodom kao monitorom izlazne snage. Dioda je temperaturno stabilisana preko povratne sprege koju kontroliše mikrokontroler i odgovarajući softver. Temperaturni pomeraj talasne dužine diode je 0.3 nm/°C. Pored temperaturnog pomeraja postoji i pomeraj talasne dužine u zavisnosti od jačine struje kroz diodu [7,8]. Strujna stabilizacija ostvarena je preko strujnog izvora (firme ILX Lightwave, model LDX-3565) koji obezbeđuje rezoluciju struje od 1 mA.

Snop iz diode je izrztio divergentan i eliptičan pa je potreban optički sistem za uobličenje i usmeravanje snopa. Optički sistem sastoji se iz sfernog sočiva koji kolimiše snop (žižne daljine $f = 7$ mm) i para anamornih prizmi, čija uloga je da sažimaju zrak po jednoj osi, tako da se dobije kružan presek snopa. Samo ona svetlost koja putuje normalno na površinu ogledala ostaje unutar rezonatora i ima priliku da bude pojačana. Da bi takva svetlost konstruktivno interferirala mora biti zadovoljen uslov da je dužina rezonatora jednaka celobrojnom umnošku polovine talasne dužine svetlosti. Za različite vrednosti celog broja m dobijaju se različite talasne dužine, odnosno frekvencije pojedinih modova laserskog rezonatora. Pri konstrukciji laserskog sistema koristili smo hemisferičan rezonator sa ogledalima na rastojanju $l = 75$ mm (slika 2).

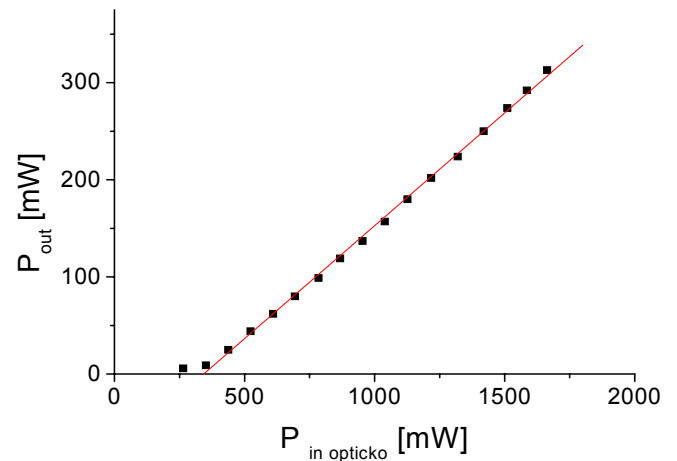


Sl. 2. Tehnički crtež rezonatora

Ova vrsta rezonatora je stabilna i relativno neosetljiva na vibracije [2]. Ravno zadnje ogledalo (proizvođača CASIX) je transparentno za talasnu dužinu pobudnog zračenja u okolini 808 nm, a totalno reflektivno za $\lambda=1064$ nm (osnovni harmonik Nd YAG lasera). Izlazno ogledalo (proizvođača CASIX) je poluprečnika krivine 500 mm i koeficijenta reflektivnosti $R = 95\%$. Oblik kristala je cilindričan, prečnika 4 mm i dužine 50 mm.

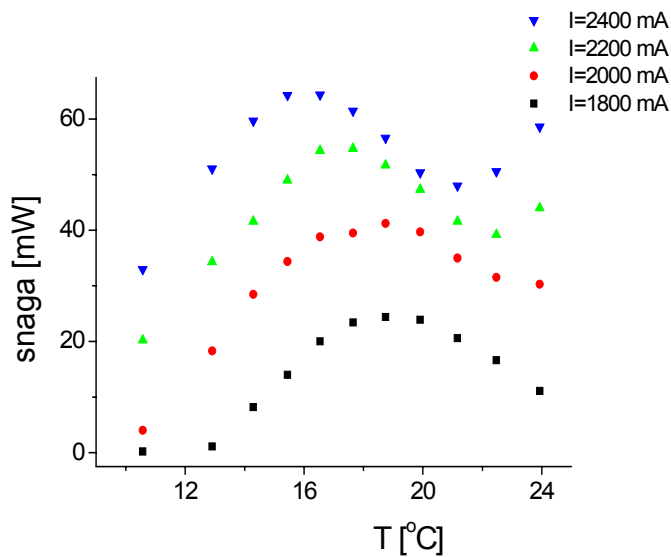
3. MERENJE KARAKTERISTIKA LASERSKOG SISTEMA

U ovom poglavlju prikazani su rezultati merenja osnovnih parametara opisanog laserskog sistema. Na slici 3, dat je grafik zavisnosti izlazne optičke snage lasera od optičke snage pobudnog zračenja. Sa ovog grafika mogu se odrediti veoma bitne karakteristike lasera, kao što su prag laserske emisije i nagibna efikasnost sistema (slope efficiency). Nagibna efikasnost predstavlja odnos dobijene i uložene optičke snage, nakon praga laserovanja. Izlazna snaga lasera iza praga je linearna funkcija pobudne snage i u našem slučaju aproksimacija te prave linije je dala da je njen nagib 0,23 odnosno 23%, što u stvari predstavlja nagibnu efikasnost. Presek ove prave sa apscisom određuje prag laserovanja koji iznosi 348 mW pobudne optičke snage, odnosno prag se postiže pri jačini struje kroz diodu od 900 mA.



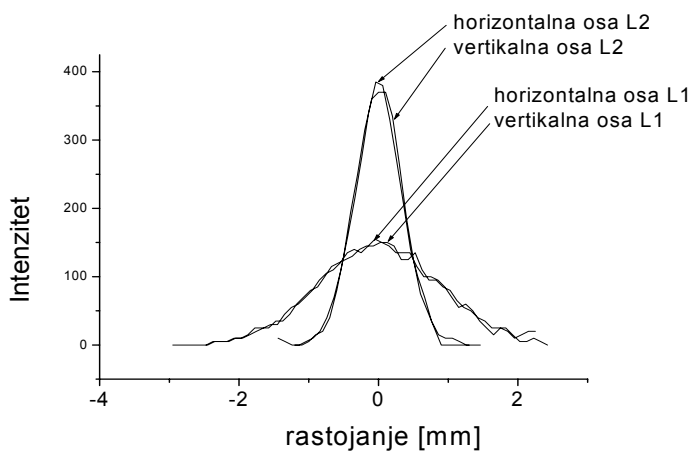
Sl. 3. Grafik zavisnosti dobijene od uložene optičke snage

Optimizacijom celog sistema, prvenstveno povećavanjem efikasnosti transfera pobudnog zračenja do samog kristala, postignuta je maksimalna izlazna snaga 375 mW. S obzirom da se radi o diodno pobuđivanom laseru, ukupna izlazna snaga takođe zavisi i od temperature same laserske diode. To je i razumljivo jer, kao što je već rečeno, talasna dužina emisije same diode zavisi od temperature, tako da se promenom temperature (odnosno talasne dužine pobudnog zračenja) smanjuje efikasnost pobude. Naime, ova efikasnost je maksimalna kada se talasna dužina pobudnog zračenja poklapa sa talasnom dužinom maksimuma apsorpcije Nd-YAG kristala [7]. Na slici 4, data je zavisnost izlazne optičke snage lasera u zavisnosti od temperature pobudne laserske diode, za nekoliko vrednosti struje kroz samu diodu. Uočljivo je da se maksimum snage sa porastom struje pomera ka nižim temperaturama. Ovo je razumljivo s obzirom da sa povećanjem struje kroz diodu raste i talasna dužina njene emisije. Da bi se talasna dužina usaglasila sa apsorpcijom Nd:YAG-a mora se, u ovom slučaju, smanjiti temperatura.



Sl.4. Zavisnost optičke snage lasera od temperature pobudne diode za različite vrednosti struje pobude

Takođe, kao bitne karakteristike, određeni su profil snopa i ugao divergencije. Pošto su ove veličine direktna posledica geometrije laserskog rezonatora izvršen je jednostavan proračun ugla divergencije i dobijeno je dobro slaganje sa eksperimentom. Profili snopa za dve različite udaljenosti od izlaznog ogledala (L1=300mm i L2=1000mm) prikazani su na slici 5.6.



Sl.5. Profili snopa duž vertikalne i horizontalne ose na rastojanjima L1 i L2

Sa grafika se jasno vidi da je na većoj udaljenosti snop širi, ali takođe da je snop, po dve međusobno ortogonalne ose, istog profila iz čega se može zaključiti da je on kružnog poprečnog preseka. Takođe, vidi se da je uglavnom sva energija zračenja skoncentrisana u osnovni TEM₀₀ transverzalni mod. Ako i postoje neki viši modovi oni su u ovom slučaju toliko malog intenziteta da mogu biti zanemareni. Izmerena vrednost uglova divergencije iznosila je $\alpha_1 = 0.084^\circ$ po horizontalnoj osi i $\alpha_2 = 0.081^\circ$ po vertikalnoj osi. Merenje je izvršeno pri temperaturi laserske diode od T= 17,65 °C i struji pobude I= 2400 mA.

ZAKLJUČAK

U radu je prikazan Nd YAG laser realizovan u Institutu za fiziku. Određene su bitne karakteristike samog lasera, kao što su zavisnost izlazne optičke snage lasera od temperature laserske diode, profil i ugao divergencije laserskog snopa, zavisnost izlazne snage od jačine struje laserske diode, prag laserovanja i optička efikasnost sistema. Optimizacijom celog sistema, prvenstveno povećavanjem efikasnosti transfera pobudnog zračenja do samog kristala, postignuta je maksimalna izlazna snaga 375 mW. U razvoju je kompenzacija astigmatizma laserske diode odgovarajućim sočivom, mehanička poboljšanja u vidu kvalitetnijih držača od invara i sistem odvođenja toplote sa samog kristala. Takođe, radimo i na monitoringu snage laserske diode, havarijskom isključenju i poboljšanju softvera za kontrolu stabilnosti temperature laserske diode. Krajnji cilj je da se emisiona učestanost lasera udvostruči, te da se laser stabilise saturacionom spektroskopijom na parama joda. Time će se realizovati primarni etalon dužine na talasnoj dužini $\lambda=532$ nm.

NAPOMENA

Ovaj rad je realizovan u okviru projekta 7008b, finansiranog od Ministarstva nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije.

REFERENCE

- [1] A.A. Demidovich, A.P. Shkadarevich, M.B. Danailov, P. Apai, T. Gasmi, V.P. Gribkovskii, A.N. Kuzmin, G.I. Ryabtsev, L.E. Batay, Comparison of cw laser performance of Nd:KGW, Nd:YAG, Nd:BEL, Nd:YVO₄ under laser diode pumping, *Appl. Phys. B Lasers and Optics*, 67 (1998), p.11-15
- [2] N. Konjević, Uvod u kvantnu elektroniku, *Naučna knjiga*, Beograd 1981
- [3] W. Koechner, Solid-State Laser Engineering, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1996
- [4] D.L. Sipes, Highly efficient neodymium : yttrium aluminum garnet end pumped by a semiconductor laser array, *Appl. Phys. Lett.*, 47, (1985), p.74-76
- [5] J. Lu, M. Prabhu, J. Xu, K-I Ueda, H. Yagi, T. Yanagitani, A. A. Kaminskii, Highly efficient 2% Nd:yttrium aluminum garnet ceramic laser, *Appl. Phys. Lett.*, 77, (2000), p. 3707 - 3709

- [6] A. Krmpot, Kontinualni Nd –Yag laser sa diodnom pobudom, *diplomski rad, Fizički fakultet*, Beograd 2002
- [7] A. Krmpot, D. Pantelić, B. Panić, A. Kovačević, Digitalna temperaturska stabilizacija laserske diode za pobudu kontinualnog Nd-Yag lasera ,Zbornik radova XLVII Konf. za ETRAN, Čačak, 6-10 juna 2004, tom IV, str 199
- [8] Tehnička dokumentacija za lasersku diodu HPD1020-HHL-TEC HIGH POWER DEVICES INC, <http://www.hpdinc.com>

Abstract – A new Nd-YAG laser realized in the Institute of physics is presented. The device consists of pumping laser diode ($\lambda=808$ nm), power suply system, system for temperature stabilization of laser diode, hemispherical resonator and a pair

of prisms for incident light collimation. Important characteristics of the laser are determined such as: output optical power vs. laser diode temperature, profil and divergence angle of the laser beam, output power vs. diode laser current, threshold for laser emission and optical efficiency of the system. By optimizing the whole device, at first place efficiency of radiation transfer from pumping laser diode to crystal, we were able to reach up to 375 mW of output power.

DEVELOPMENT OF CW DIODE PUMPED Nd-YAG LASER IN END PUMPING CONFIGURATION

Boban Zarkov, Dejan Pantelić, Bratislav Panić, Aleksander Kovačević, Aleksandar Krmpot, Ilija Belić