

高出力伝導冷却Nd:YLFレーザー Conductive-cooled high average power Nd:YLF laser

上野 信一¹, 平野 嘉仁¹, 辰巳 賢二¹, 笠原 久美雄¹
 内野 修², 永井 智広³, 長澤 親生⁴
 Shin-ichi Ueno¹, Yoshihito HIRANO¹, Kenji TATSUMI¹, Kumio KASAHARA¹
 Osamu UCHINO², Tomohiro NAGAI³, Chikao NAGASAWA⁴
 三菱電機¹, 気象庁², 気象研³, 都立大⁴
 MELCO ¹, Japan Meteorological Agency ², MRI ³, Tokyo Metropolitan Univ. ⁴

We have devised a highly efficient, high power conductive cooled diode side pumping scheme. The laser rod is surrounded by transparent high thermal conductive material and dissipated heat from laser rod is removed through the large conductive cross section of the material. This material is also used as a kaleidoscopic pump power confinement cavity. Using off-c-axis Nd:YLF rod as a laser material and MgF₂ as a kaleidoscopic pump cavity material, linearly polarized output power of 72.5 Watts is obtained with the extraction slope efficiency of 49.1%.

1. はじめに

衛星搭載を最終ターゲットとして、航空機搭載水蒸気差分吸収ライダー用レーザー装置の開発を行っている。⁽¹⁾⁽²⁾ この開発の一貫として、衛星搭載におけるヒートパイプを用いたレーザーの熱伝導冷却について検討している。これまで報告されているレーザー媒質の熱伝導冷却方式では、レーザーロッドの一部分に金属のヒートシンクを直接接触させてレーザーロッドでの発生熱を排熱する方式が用いられているが、高平均パワー動作時には小さい熱接触面積に起因してロッド温度の上昇や温度分布の不均一が発生し、熱歪みによりレーザー効率やビーム品質などのレーザー性能が劣化しやすい。今回、高平均パワー動作時にも熱歪みを発生しにくい熱伝導冷却によるLD側面励起方式として万華鏡型励起キャビティを考案し、Nd:YLFレーザーロッドを用いたレーザー発振器を構成して高平均出力パワー、高効率動作を実証したので報告する。

2. 熱伝導冷却LD側面励起方式

熱伝導冷却によるLD側面励起方式での課題は、(1) ロッドの温度上昇を抑えるとともに、ロッド内に非軸対称な温度分布を発生させないこと、及び

(2) 励起光をレーザー媒質に高効率に吸収させることである。(1)に対しては、励起分布を軸対称にするとともにロッド側面からの一様で熱抵抗の低い排熱を行うことで達成できる。(2)に対しては、LDから出射された励起光を複数回レーザーロッドを通過させ吸収させることで達成できる。これらの観点から、熱伝導型の新しいLD側面励起方式として、万華鏡型励起キャビティを用いる方式を考案した。Fig.1にロッド断面方向からみた励起構成を示す。励起LDを、ロッド中心軸に対し3回対称の位置に配置し、励起光を三角柱の集光器の3箇所の稜線部分に設けた励起光入射窓部分から入射する。集光器は、励起光波長に対して透明であるとともに、励起光入射窓部分以外の三辺に励起光を高く反射する金属コーティングが施されている。励起光は3箇所の入射窓から出射する成分以外では万華鏡状の集光器内に閉じ込められレーザーロッドで高効率に吸収される。一方、励起光吸収によりレーザーロッドで発生した熱は、レーザーロッドの側面全面に熱接触された集光器を通して、集光器の軸対称におかれた広い面積を有する励起光反射面からヒートシンクに熱伝導され、ヒートパイプから排熱される。このように、集光器は励起LDからの出射励起光を閉じこめ、ロッドを効率良く励起する役割と、ロッドで発生した熱を金属製ヒートシンクに導くための第一段目の熱抵抗の低いヒートシンクの役割を兼ねている。

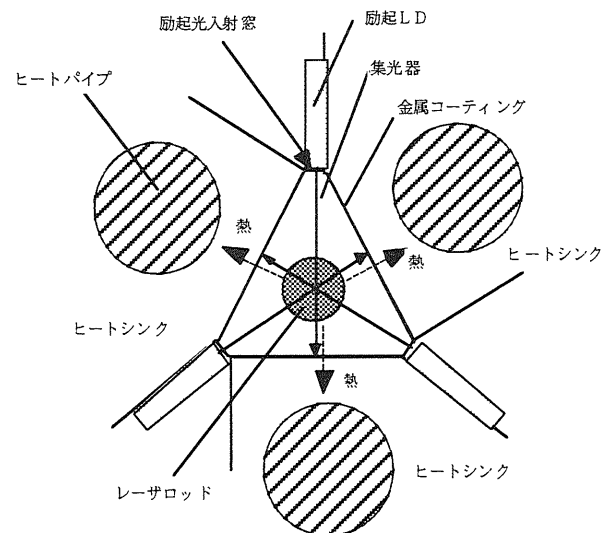


Fig. 1 熱伝導冷却LD側面励起方式
(万華鏡型励起キャビティ)

3. 高効率、高平均出力動作の実証

考案した熱伝導冷却LD側面励起方式の有効性を確認するために、LD励起部分である励起モジュールの試作を行い、レーザ発振特性を調べた。レーザロッドに用いたレーザ媒質は、Nd:YAGに比べ蛍光寿命が長くエネルギー蓄積に優れるとともに、熱レンズ効果の小さいNd:YLFとした。⁹⁾ 特に、側面励起光の偏光方向に対し、吸収効率を高くとれるc軸カットのものを用いるとともに、ロッド軸をc軸からわずかに傾げることで結晶の複屈折を利用して熱複屈折の影響を減じている。Nd濃度は1atm%、大きさは5.4mm^φ x 78mm^Lである。一方、集光器の材質としては、Nd:YLFと比較して屈折率が低く、熱伝導率が高いものとしてMgF₂を選択した。励起光としては、50W定格出力の疑似CW AlGaAs LD 1cmバーを5層スタックしたものを18個使用することにより、ピークパワー4.5kW、平均パワー170W（デューティーファクタ3.75%）が得られる。この励起LDの寿命は、10⁸ショットの連続動作試験結果から、ヒートシンク温度35°C、デューティーファクタ3.75%の駆動条件で10¹⁰ショットと推定される。

レーザ発振特性を評価した共振器構成をFig.2に示す。出力鏡反射率は78%のものを用いた。励起モジュールでの発生熱（最大~300W）は、ヒートパイプで水冷の熱交換器に伝達している。Fig.3に励起LD平均出力パワーに対するレーザ平均出力パワーを示す。最大の励起LD平均出力パワー166.2Wにおいてレーザ平均出力パワー72.5Wが得られた。この値は、筆者の知る限り、単一のNd:YLFレーザロッドからの出力平均パワーとしては最大のものである。また、光-光変換効率は43.6%、電気-光変換効率は17.3%、光-光スロープ効率は49.1%と高効率である。発振ビームの偏光状態はロッドの異常光屈折率方向に20dB以上の消光比で偏光している直線偏光である。

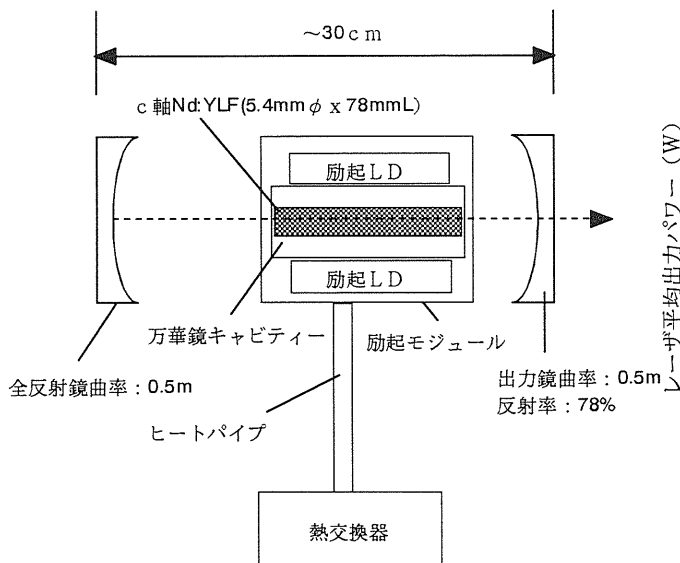


Fig.2 熱伝導冷却LD側面励起方式を用いた共振器構成

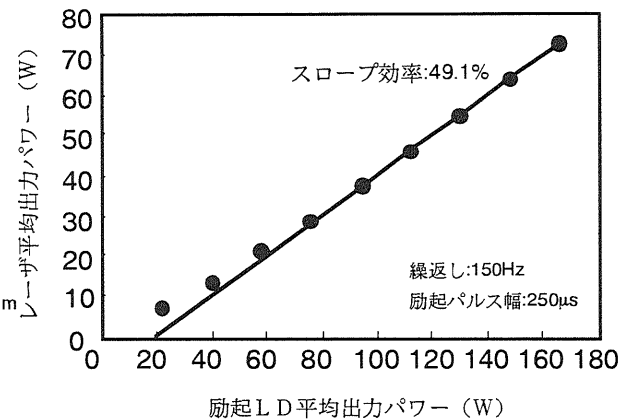


Fig.3 入出力特性の測定結果

4. おわりに

衛星搭載におけるヒートパイプ排熱を含むレーザの熱伝導冷却方法について、新しい熱伝導冷却によるLD側面励起方式を提案するとともに、Nd:YLFをレーザ媒質に用いてこの方式を用いた励起モジュールを試作し、レーザ発振特性を評価した。この結果、レーザ平均出力パワー72.5W、光-光変換効率が43.6%が得られ、本方式の高効率、高平均出力動作を実証できた。

なお、本研究の一部は宇宙開発事業団との契約に基づき行われたものである。

参考文献

- (1) C.Nagasawa et al., "Simulation for atmospheric water vapor measurements from spaceborne DIAL", EOS/SPIE Proceedings, 2581, pp.,1995.
- (2) O.Uchino et al., "Diode-pumped solid state laser for spaceborne water vapor DIAL", EOS/SPIE Proceedings, 2581, pp154 -160,1995.
- (3) A.Kikuchi et. al., "Diode side-pumped Q-Switched Nd:YLF laser for airborne and space lidar systems", in Abstract papers of 17th Int.Laser Radar Conf.,pp.498-501,1994.