

Thin-Disk Laser の開発

植田研究室 量子・物質工学科 中尾 博明

1. 背景

固体レーザーで用いられている利得媒質の形状は一般的にロッド型である。ロッド型のレーザーでは、利得媒質内部の温度勾配による熱レンズ効果はどうしても避けられない問題であった。しかしThin-Disk Laserでは薄い利得媒質を用いていること、また端面冷却を行っていることにより熱レンズ効果を抑えることができる。そのため高効率、高出力、高ビーム品質を同時に達成できるレーザーである。

本研究では高出力化、更なる超短パルス化をするために、Ybを添加したsesquioxideのceramics材料を利得媒質として用いたThin-Disk Laserの開発を行う上で重要な、利得媒質とヒートシンクの接合、マルチパス励起光学系の構築を行った。

2. 原理

Thin-Disk Laserの特徴として、利得媒質端面を冷却面及びミラーとしていること、またマルチパス励起光学系が上げられる。

利得媒質は直径数 mm程度、厚さ100~300 μm 程度と非常に薄い物を用い、ヒートシンクとIn-SnハンダもしくはAu-Snハンダを用いて接合されている。また接合面をミラーとしても用いているため、励起面には無反射(AR)コーティング、冷却面に高反射(HR)コーティングがされている(Fig. 1)。薄い利得媒質及びIn-Snハンダを用いることで、ヒートシンクとの強固な接着が可能となり、また、高い熱伝導率により利得媒質内部で

発生した熱を速やかに排出することが可能となる。そのため利得媒質内部での熱勾配は光軸方向に対して一次元的となるので、熱による影響を低減させることができる。

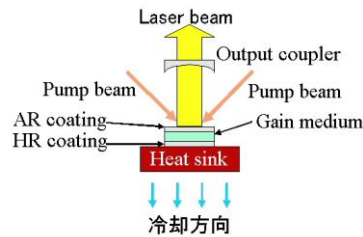


Fig. 1 Thin-Disk Laser の概念図

Thin-Disk Laserでは、利得媒質が薄いということによる短い吸収長が欠点となっている。しかし、マルチパス励起光学系を用いることで改善できる。マルチパス励起光学系とは、単一の励起光を利得媒質に複数回入射させる励起光学系のことであり、これにより励起光のエネルギーを無駄なく利得媒質に吸収させることができる(Fig. 2)。レーザーダイオード(LD)から出射された励起光はコリメートされ球面鏡に入射する。球面鏡で反射された励起光は集光された状態で利得媒質に入射した後、HRミラーで最初に球面鏡に入射した位置180°ずれた位置に反射される。球面鏡に戻された励起光は平行光に戻されプリズムへ入射し、少し角度をずらされてまた球面鏡に戻る。このプロセスを球面鏡の全ての反射部分を使い切るまで行われる。吸収されなかった励起光は光学系外へ出て行くが、終端に反射ミラーを置けば逆のプロセスを経てLDへ戻っていく。その場合は2倍のパス数を得ることができる。Fig. 2は8パスとなっているが、

反射ミラーで励起光を戻せば16パスとなる。

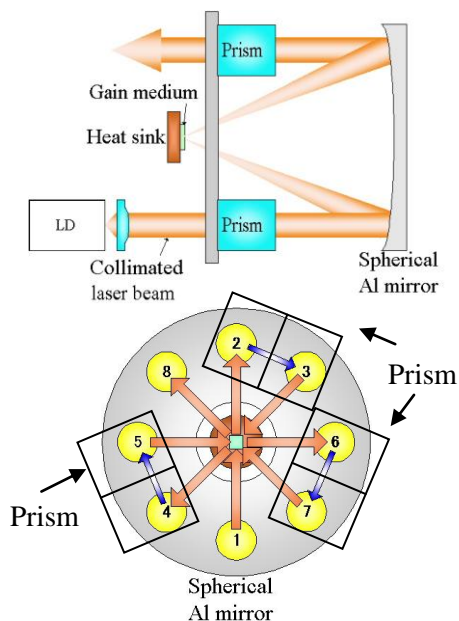


Fig. 2 マルチパス励起光学系の概念図

3. 利得媒質とヒートシンクの接合

3.1 接合結果

本研究では表面にARコート、裏面にHRコートと金メッキがされた厚さ315 μm で一辺が5 mm程度の10% Yb:Y₂O₃ ceramicsを利得媒質に用いた。また、接合用のハンダはIn:Sn = 50:50、融点が120 $^{\circ}\text{C}$ のIn-Snハンダを用いて、130 $^{\circ}\text{C}$ に加熱したホットプレート上で接合を行った(Fig. 3)。ヒートシンクの材質は銅で、表面に金メッキがされている。但し、Inが酸化しやすい元素であるため、酸化防止のためにフラックスを用いた。また、均一で薄い接合層を作るため、バネを用いて均一に面を加圧できる治具を製作して接合に用いた(Fig. 4)。接合後にコリメート後のビーム直径が4 mmとなるマイケルソン干渉計(Fig. 5)を用いてビーム形状、波面の観測を行った。

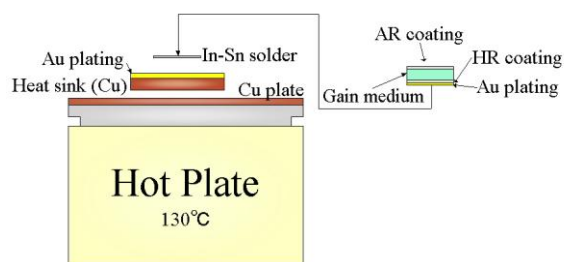


Fig. 3 ホットプレート上での接

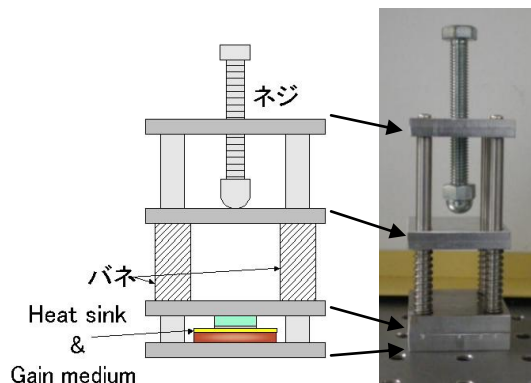


Fig. 4 接合に用いた治具

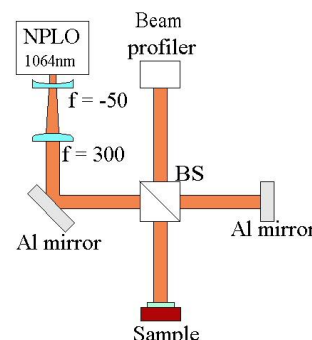


Fig. 5 マイケルソン干渉計

Fig. 6は接合前のビーム形状と波面、Fig.7は接合後のビーム形状と波面である。接合前はビーム形状、波面ともに歪みは見られなかったが、接合後に利得媒質に歪みが発生してしまった。利得媒質の平面度に問題はなかったため、歪みの原因としてヒートシンクが考えられる。

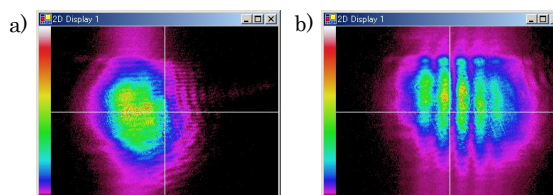


Fig. 6 a)接合前のビーム形状 b)接合前の波面

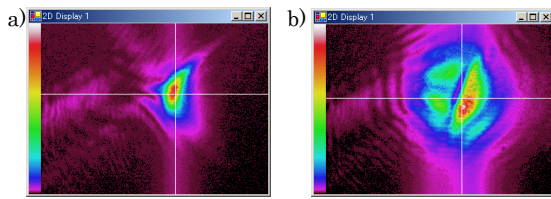


Fig. 7 a)接合後のビーム形状 b)接合後の波面

3.2 ヒートシンクの表面評価

ヒートシンクは表面をフライスで切削後ラッピング研磨を施されている。この加工時の残留応力が接合時に熱解放されたことにより、歪みが発生したのではないかと考えた。ヒートシンク表面の熱による変形を測定するため、ヒートシンク表面の波面の観察をした。ヒートシンクと同様の加工を施した銅板表面の加熱前後のビーム形状、波面の観測を行った。接合に用いた銅板は厚さ4.9 mm、36×34 mmのもので、フライスで切削した後にラッピング研磨をした。また加熱温度は130 °Cで加熱時間は5分間とした。Fig. 8が加熱前のビーム形状と波面であり、Fig. 9が加熱後のビーム形状と波面である。加熱前後において、ビーム形状はわずかに変化した。波面より平面が曲率を持つほどの歪みは出ていないことがわかった。以上のことより、ヒートシンクに問題は無いと言える。

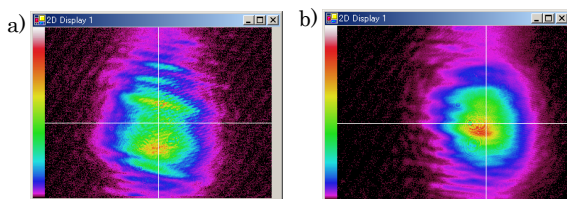


Fig. 8 a)加熱前のビーム形状 b)加熱前の波面

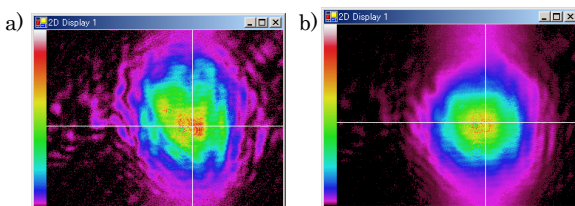


Fig. 9 a)加熱後のビーム形状 b)加熱後の波面

3.3 ハンダを用いた接合プロセスの評価

一般的にハンダは2種類に大別される。弾性変形を起こすHard solderと塑性変形を起こすSoft solderである。光学デバイスには応力解放のあるSoft solderが好ましいとされ、InをベースとしたハンダはSoft solderに分類されている。またInをベースとしたハンダと金、銅は合金化するが、金との合金は接着剤の役割を持つSoft solderであるのに対し、銅との合金は応力解放のないHard solderである。そのため、ヒートシンクにメッキされている金が全て合金化してしまえば、その後の合金化に用いられるものは銅である。この銅との合金により接合層の状態が変化してしまい、冷却のされ方の違いや冷却速度により、応力の解放をしないまま接合されたことが歪みの原因ではないかと考えられる。この仮説の検証は今後の課題とするが、このことが原因であったとした場合、次のような対処法が考えられる。ヒートシンクの金メッキの間にクロムメッキをすることと、冷却を時間をかけて均一にすることである。クロムメッキは拡散係数が小さいことから、拡散係数の大きい銅の合金化を抑える保護層として一般的に用いられている。また本実験において、冷却は室温で行った。炉を用いて周囲の温度も接合時の温度から冷却を開始すれば利得媒質全体において均一な冷却をすることができると考えられる。

4. マルチパス励起光学系

本実験では8パスのマルチパス励起光学系の実際の製作を行った。ガイド光には緑色のレーザーを用い、利得媒質の変わりにアルミミラーを用いて製作を行った。Fig.

10がその実際の写真である。また、Fig. 11にプリズム部分の拡大写真とアルミミラー部分の拡大写真、Fig. 12に調整後のプリズム部分の拡大写真と調整後のアルミミラー部分の拡大写真を載せた。Fig. 11より利得媒質に見立てたアルミミラー上の一点でガイド光が集光されていることが確認されたが、プリズム上での入射点のずれが確認できた。調整後のFig. 12より、プリズムへの入射点は修正できたが、アルミミラー上の集光点にずれがあることが確認できた。微調整次第で修正可能だと思われるが、最適化をしやすいするためジグの再製作も検討している。

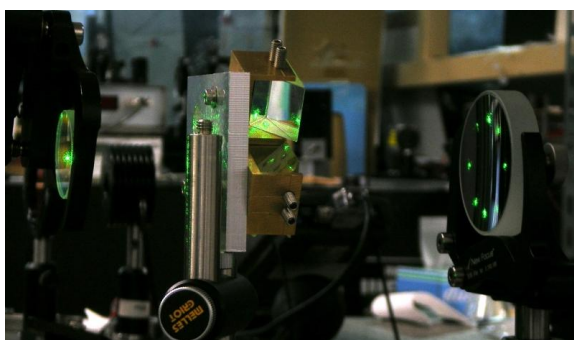


Fig. 10 実際のマルチパス励起光学系の写真

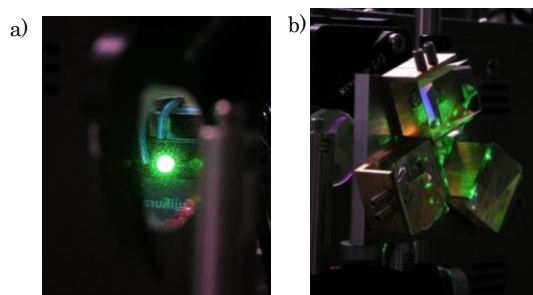


Fig. 11 Fig. 9 の拡大写真 a)アルミミラー上 b)プリズム上

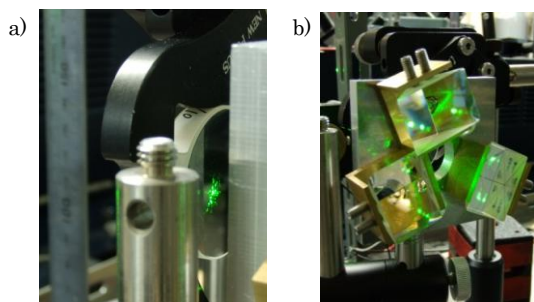


Fig. 12 調整後の拡大写真 a)アルミミラー b)プリズム上

まとめ

Thin-Disk Laserを開発する上で重要な利得媒質とヒートシンクの接合及びマルチパス励起光学系の製作を行った。

接合については媒質に歪みが出てしまったため、現在原因の検討中である。ハンダを用いた接合プロセスについての考察を検証するうえでの具体的手法としては、電子顕微鏡を用いて接合断面を観察し、接合層の様子を観察することが考えられる。また、今回接合した媒質を実際にThin-Disk Laserとして動作させる予定である。

マルチパス励起光学系については、8パスの励起光学系の構築ができたが、まだ最適化が必要である。最適化の簡便化のため、プリズムの自由度を増やすジグの製作も検討中である。

参考文献

1. Fluxless In-Sn bonding process at 140 °C
Materials Science and Engineering A333 (2002) 45–50
2. Gold coatings for fluxless soldering.
David M.Jacobson, Giles Humpston
3. A 1-kW CW Thin Disc Laser
IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, VOL. 6, NO. 4, JULY/AUGUST 2000