

## 1. はじめに

近年、高エネルギー物理などの学術分野や、核融合などの産業分野での高エネルギー超短パルスの需要が高まっている。固体レーザーでは利得媒質に等方性、耐熱性、熱伝導性のある単結晶、ガラス、セラミックを用い、そこに遷移金属や希土類をイオンとして添加したものを使用している。レーザー発振させた時に通常の固体レーザーでは、熱レンズ効果、排熱効率の問題から超短パルス発振が制限されていた。この問題を抑制するために考案されたのが thin disk レーザーである。Thin disk レーザーでは利得媒質とヒートシンクとを接合させる必要があり、本研究ではこの接合方法にハンダ付けを利用し、その接合方法の最適化を行った。

## 2. Thin disk レーザー

### 2.1. Thin disk レーザーとは

Thin disk laser(TDL)の模式図を図 2.2.1 に示す。TDL では、利得媒質の厚さが一般に 300  $\mu\text{m}$  以下と極めて薄く、また端面冷却により熱の伝わる方向を 1 次元的にすることにより、固体レーザーの問題であった熱レンズ効果を抑制している。そのため高効率、高出力、高ビーム品質を同時に達成するレーザーを実現している<sup>[1]</sup>。

### 2.2. Thin disk とヒートシンクの接合

Thin disk とヒートシンクはハンダ付けで接合する。図 2.2.2 は接合前の thin disk とヒートシンクである。Thin disk は厚さ 300  $\mu\text{m} \pm 15 \mu\text{m}$ 、一辺 5 mm  $\pm 0.3 \text{ mm}$  の正方形で、裏面反射との干渉を防ぐため 30' の角度がついている。励起光が入射する面には無反射コーティング(AR coat)が施されており、ヒートシンクと接合する方の面に誘電体多層膜による高反射コーティング(HR coat)が施されている。その下にヒートシンクとの接合の際にハンダから HR coat を保護し、金を蒸着しやすくするために Cr を蒸着し、その下に In と合金になりやすく、接着剤の役割も果たす Au を重ねて蒸着する。ヒートシンクには Cu を用いている<sup>[2], [3]</sup>。

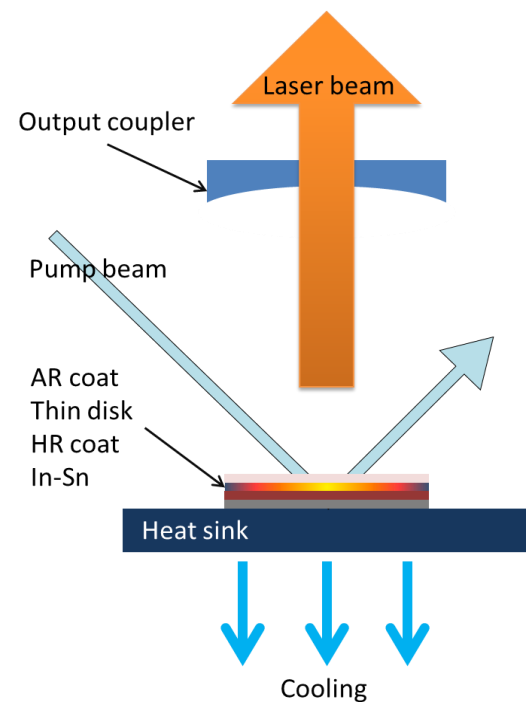


図 2.2.1. thin disk レーザー

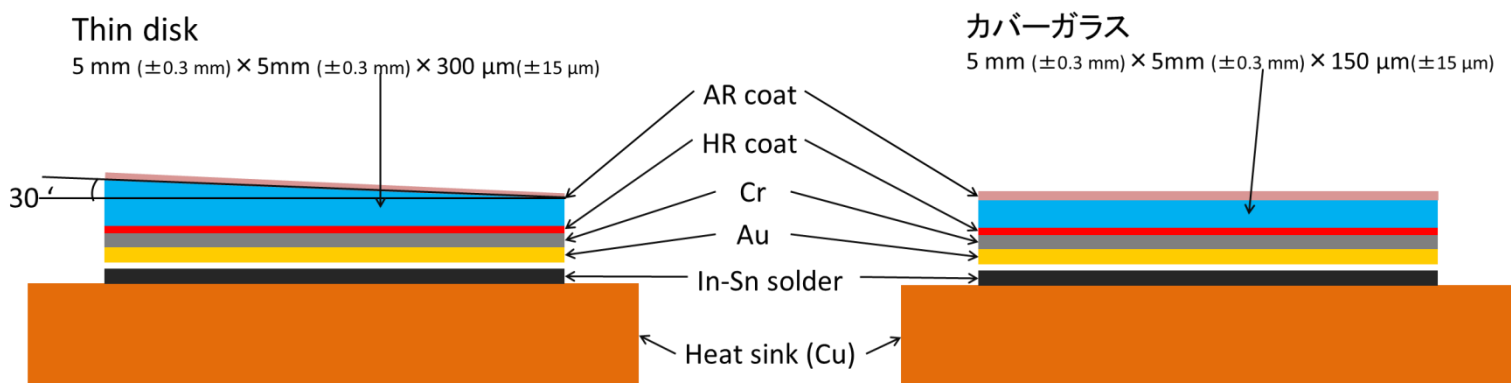


図 2.2.2. 接合前の thin disk とヒートシンクの断面

### 2.3. 接合した thin disk の評価

ヒートシンクと接合した thin disk は、マイケルソン干渉計で干渉縞を観測して接合面を評価する。図 2.3.1 に本実験で使用したマイケルソン干渉計を示す。NPRO から出たレーザー光を、ファイバーからの戻り光で NPRO の出力が不安定になるのを防ぐためにアイソレーター(Isolator)を通す。その後、単一モードの光を出すために偏光保持ファイバー(PMF, MFD=7.2  $\mu\text{m}$ @1064 nm)に入れる。PMF から出た光を  $f=40$  のコリメートレンズでビーム径を直径 6 mm に広げて、セラミック全体にビームが当たるようにして、干渉計の光源にする。コリメートされた光をビームスプリッター(BS)で 2 つの光路に分けて、片方は金コートの高反射鏡(HR)で返し、もう一方はセラミックに当て、その反射光との干渉を CCD で観測する。

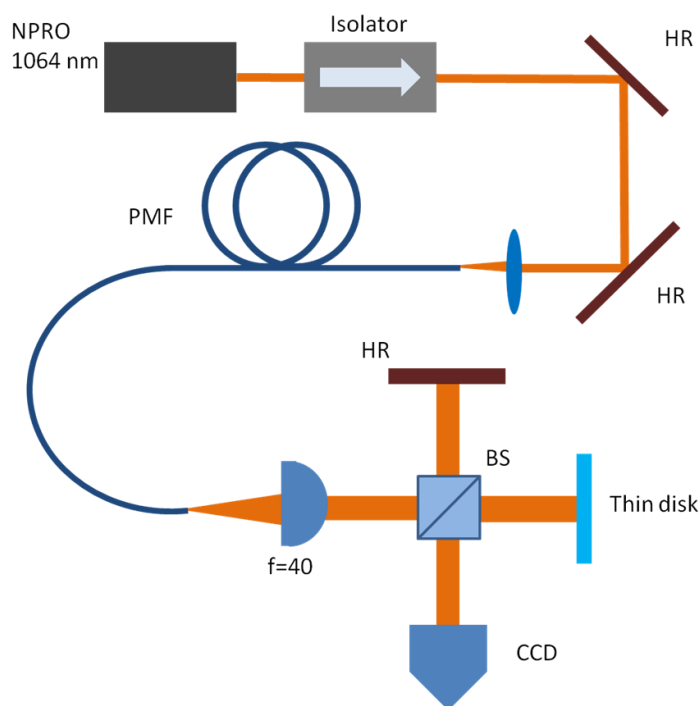


図 2.3.1. 本実験で使用したマイケルソン干渉計

## 3. 接合実験

### 3.1. セラミックの接合方法 1

本実験では利得媒質となる Yb イオン添加セラミックが非常に高価で数量も少ないため、厚さ 150  $\mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$ 、一辺 5 mm  $\pm 1 \text{ mm}$  のカバーガラスに AR coat, HR coat, Cr, Au を蒸着して使用している。

はじめに、ヒートシンクとなる銅板(20 mm  $\times$  20 mm  $\times$  3 mm)の表面を 10  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$ , 3  $\mu\text{m}$  のラッピングシートで順番に研磨する。研磨後にヒートシンク表面をアセトンで洗浄しておく。ハンダを溶かすヒーターには温度 On/Off 式のセラミックヒーターを使用し、In-Sn ハンダの融点 120  $^{\circ}\text{C}$  より高めの約 150  $^{\circ}\text{C}$  に設定し温まるまで 30 分ほど待つ。その間にピンセット、ガラス棒など実験器具をアセトンで洗浄する。ヒーターが温まったら、ヒートシンク表面にフラックスを塗り、ヒーターにのせ加熱する。ヒートシンクが温まったら、ロッド状の In-Sn ハンダのをせ、溶けたらガラス棒でハンダを薄く広げる。ハンダが広がったら、一旦ヒートシンクをヒーターから降ろし冷却する。そして先の尖ったナイフを使いハンダの厚さがマイクロメーター(誤差  $\pm 10 \mu\text{m}$ )で測って 100  $\mu\text{m}$  以下になるまで薄く削っていく。削り終わったら再びヒートシンクにフラックスを塗り、ヒーターにのせて加熱する。ハンダが溶けてきたらセラミックを静かにのせ、気泡がセラミックとヒートシンクの間に残らないようにピンセットで動かす。ヒーターから静かに降ろしてピンセットでセラミックの端を挟み、押さえながらハンダが自然に冷えるのを待つ。

### 3.2. 接合方法 1 で作成した試料

接合方法 1 で作成した試料を表 3.2-1 に示す。試料 1 の接合方法を基準に、接合する時の条件を 1 つずつ変更して干渉縞を観測した。それぞれの試料を試料 1 と比較すると、試料 2 との比較から、空气中で接合した場合のハンダの酸化による影響は特にないと考えられる。フラックスを塗っているため、空气中で接合を行った際のハンダの酸化も抑えられていると考えられる。試料 3 との比較から、使用するハンダの形状はロッド状よりフィルム状の方が接合時の歪みが小さい。フィルム状のハンダの方が厚さが薄いため、

歪みが小さくなると考えられる。試料4との比較から、フラックスは酸系よりも樹脂系の方が歪みは小さかった。樹脂系のフラックスの方が、ハンダの広がり良かったからだと考えられる。試料5と試料7の結果から、1回目のフラックスはヒートシンク加熱前で、2回目のフラックスはヒートシンクを十分に加熱した後の方がガラスの歪みは抑えられた。試料6との比較から、フラックスを塗った後はアセトンでヒートシンクとガラス表面を洗浄すると、表面の汚れが落ちて歪みが小さくなると考えられる。試料8と試料9の結果から、ガラスはハンダが溶ける前にのせ、冷却するときには触らずにハンダが自然に固まるのを待つと歪みを小さくできた。試料10との比較から、試料の徐々に冷却していく方が、ハンダが固まる時の張力が弱くなるため、歪みが小さくなると考えられる。試料11は試料10までの試料で比較的歪みが小さかった試料の条件をいくつか複合して作成したが、単純に組み合わせるだけでは歪みが小さくなることはなかった。

表 3.2-1. 接合方法1で作成した試料

	試料1	試料2	試料3	試料4	試料5	試料6	試料7	試料8	試料9	試料10	試料11
窒素パージ	無し	有り	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し
ハンダの形状	ロッド状	ロッド状	フィルム状	ロッド状	ロッド状	ロッド状	ロッド状	ロッド状	ロッド状	ロッド状	フィルム状
フラックスの種類	酸系	酸系	酸系	樹脂系	酸系	酸系	酸系	酸系	酸系	酸系	樹脂系
ハンダを付ける時のフラックス	加熱前	加熱前	加熱前	加熱前	加熱後	加熱前	加熱前	加熱前	加熱前	加熱前	加熱前
アセトン洗浄	無し	無し	無し	無し	無し	有り	無し	無し	無し	無し	有り
Thin diskを接合する時のフラックス	加熱前	加熱前	加熱前	加熱前	加熱前	加熱前	加熱後	加熱前	加熱前	加熱前	加熱後
ハンダにいつのせるか	溶けた後	溶けた後	溶けた後	溶けた後	溶けた後	溶けた後	溶けた後	溶ける前	溶けた後	溶けた後	溶けた後
Thin diskの固定方法	ピンセットで押さえる	ピンセットで押さえる	ピンセットで押さえる	ピンセットで押さえる	ピンセットで押さえる	ピンセットで押さえる	ピンセットで押さえる	ピンセットで押さえる	真鍮の棒で押さえる	ピンセットで押さえる	真鍮の棒で押さえる
ハンダの冷却	室温	室温	室温	室温	室温	室温	室温	室温	室温	容器で覆う	容器で覆う
干渉縞											

### 3.3. セラミックの接合方法2

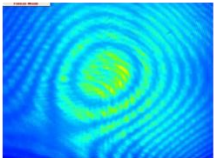
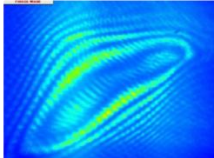
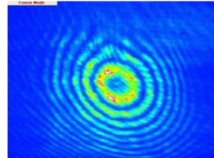
接合方法1ではハンダの厚さを薄くすること、歪みの小さい接合が出来なかったため、手順を変えて以下の新しいハンダ付け方法で接合を行った。

はじめに、方法1と同様にヒートシンクを用意し、方法1でガラスの歪みが小さかった試料の条件を考慮し、樹脂系のフラックスを使用し、フィルム状ハンダを使用する。ヒーターにヒートシンクをのせ加熱し、十分温まったらフラックスを塗り、ハンダをのせガラス棒で薄く広げる。十分に広がったらレンズクリーニングペーパーでハンダを軽く拭きとり、ヒーターから降ろし冷却する。アセトンで表面を洗浄し、再びヒーターにのせる。十分に温まったらフラックスを塗る。セラミックをのせ、セラミックとヒートシンクの間に気泡が残らないようにピンセットでセラミックを少し動かす。ヒーターから静かに降ろし、ピンセットでセラミックの端を挟みながらハンダを自然に冷却する。最後にアセトンで表面を洗浄する。

### 3.4. 接合方法 2 で作成した試料

接合方法 2 で作成した試料を表 3.4-1 に示す。試料 12 は、干渉縞の間隔が広がっているため、接合前よりも歪みは小さくなっていることがわかる。しかし図の左下の方に干渉縞が広がっている部分があるため、ガラスを固定する際にピンセットで押さえた場所が歪んでしまった可能性がある。試料 13 は、干渉縞が両端で引っ張ったように楕円状に変形している。真鍮の棒を、ガラスの上に静かに乗せて自重で固定しようとしたが、均一に押さえられていなかったと考えられる。試料 14 は、干渉縞が同心円状に出ている縞と縞の間隔が広がっているため歪みが小さくなっていると考えられる。接合前と同様な干渉縞が観測されたことから、ヒートシンクと接合したことによる歪みは小さいと考えられる。

表 3.4-1. 接合方法 2 で作成した試料

	試料12	試料13	試料14
窒素パージ	無し	無し	無し
ハンダの形状	フィルム状	フィルム状	フィルム状
フラックスの種類	樹脂系	樹脂系	樹脂系
ハンダを付ける時のフラックス	加熱後	加熱後	加熱後
アセトン洗浄	有り	有り	有り
Thin diskを接合する時のフラックス	加熱後	加熱後	加熱後
ハンダにいつのせるか	溶けた後	溶けた後	溶けた後
Thin diskの固定方法	ピンセットで押さえる	真鍮の棒で押さえる	何もしない
ハンダの冷却	室温	室温	室温
干渉縞			

### 4. まとめ

接合方法 1 ではヒートシンクと接合した時の歪みを小さくすることが出来なかったが、接合方法 2 に改良した結果、はんだ付けした時のガラスの歪みを小さくすることができた。

今後は、本研究で行ったガラスのヒートシンクへの接合をより最適化し、歪みのない接合の仕方を確立させていきたい。そして、この接合方法をセラミックで行っていき、その時も有効であるか検証していく。

### 参考文献

- [1]. J. Neuhaus, J. Kleinbauer, A. Killi, S. Weiler, D. Sutter, and T. Dekorsy, "Passively mode-locked Yb:YAG thin-disk laser with pulse energies exceeding 13  $\mu$ J by use of an active multipass geometry", OPTICS LETTERS, **33**, No. 7, (2008)
- [2]. C. C. Lee, S. Choe, "Fluxless InSn bonding process at 140 °C", MATERIAX SCIENCE AND ENGINEERING, **A333**, 45–50, (2002)
- [3]. C. C. Lee, S. Member, IEEE, C. Y. Wang, Student Member, IEEE, and G. S. Matijasevic, Student Member, IEEE, "A New Bonding Technology Using Gold and Tin Multilayer Composite Structures", MANUFACTURING TECHNOLOGY, **14**, NO. 2, (1991)