

## 複数の結晶を用いた高効率単一光路波長変換

物質系専攻 47-106026 高山 圭吾

指導教員：三尾 典克（特任教授）

キーワード：レーザー、波長変換、第二高調波発生、非線形光学

## 1.概要

近年、大型のディスプレイやプロジェクタなどを中心に、映像機器の光源としてレーザー光源が利用され始めている。カラー表示を行うためには、光の三原色の波長帯の光源が必要であり、赤や青の光源には半導体レーザーが利用されているが、緑の半導体レーザーは開発されてから日が浅く、ディスプレイに用いるために必要な数 W 程度の出力には到達していない。このため、非線形結晶を用いて赤外線レーザーの波長を変換することによって緑のレーザー光が得られている。

最も簡単な構成の波長変換装置は、非線形結晶に一度だけ光を通す、シングルパス波長変換であり、本研究室では、物質材料機構との共同研究で、PPMg:SLT 結晶を用いたシングルパス波長変換で 100 W の赤外光を用い、19 W の緑色出力を達成している[1]。また、共振器構造を利用することにより、光強度を高め、変換効率を向上させることが可能である。本研究室では、LBO 結晶を用いた外部共振器型波長変換により、110 W の赤外光を 88 W の緑色光に変換することに成功している [2]。シングルパス波長変換では効率を高めるために基本波のパワーを上げる必要がありバルク型結晶を用いた場合、その効率は現在 20 %程度である。共振器を利用する方法は、効率を高めやすい反面装置が複雑になりやすい。このため、効率良く数 W の緑色レーザー光を発生させるために、本研究では、複数の結晶を用いる方法について検討、実験を行ってきた。

複数の結晶を用いる方法の概念図を図 1 に示す。

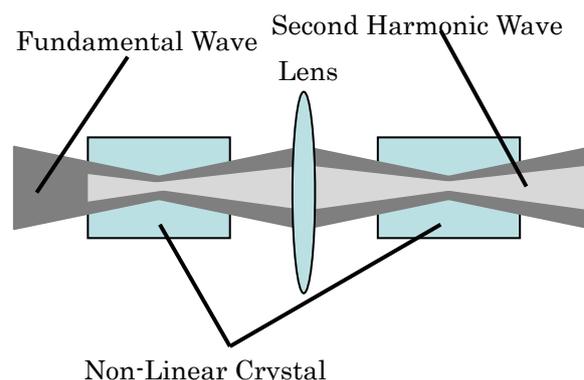


図 1. 複数の結晶を用いたシングルパス波長変換の概念図

第 2 高調波発生は、2 次の非線形効果であるため、結晶内のパワー密度が高いほど効率が良くなる。このため、1 本目の結晶から出力された赤外光と緑色光を、再び集光することで、2 本目の結晶に入射させることによって、2 本の結晶ともパワー密度の高い領域を作り出すことができる。これにより、単純に結晶の長さを 2 倍にするよりも高い効率で波長変換が可能である。

この方法を利用する利点として、結晶の本数を変えて緑色光の出力を調整することが可能であることが挙げられる。変換効率は赤外レーザー光源のパワーに依存するが、目標の出力が得られない場合は本数を増やせば良い。また、W クラスの出力の緑色レーザーは、結晶の光学吸収による発熱が原因で、出力が低下したり結晶が破損しうる事が知られているが[3]、結晶を分割していること

により排熱が用意になることも期待される。

## 2. 実験と結果

高出力では、熱による効率の低下が起こることが予想されるため、結晶を複数本用いる方法の原理検証のために、数十 mW の出力の装置を作成して評価を行った。実験の光学系を図 2 に示す。

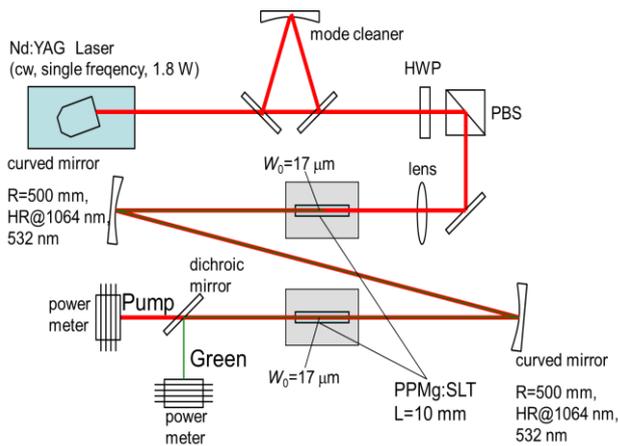


図 2. 実験装置の概略. HWP:1/2 波長板, PBS:偏光ビームスプリッター.

レーザーは波長 1064 nm, 1.8 W 出力の Nd:YAG レーザーを用いており、光共振器を利用したモードクリーナーによってビームのクオリティが  $M^2=1.0$  と、理想に近いガウシアンビームを作り出している。1/2 波長板と PBS により、基本波のパワーを調整しながら、入射させる偏光を S 偏光としている。レンズによって集光された赤外光が 1 本目の結晶に入射され、赤外光と緑色光を反射する凹面鏡によって、2 本目の結晶で再び集光される。結晶内のビーム半径は、最も変換効率が高くなる長さに調整されており、これは結晶長  $L$  に対して、コンフォーカルパラメータ  $b$  が、 $L/b=2.84$  の関係となることが知られている[4]。

結晶は高効率の波長変換が可能で、数十 W

の出力に耐えうることを確認されている

PPMg:SLT(periodically poled Mg-doped stoichiometric lithium tantalate)結晶を 2 本使用した。この結晶は、分極反転構造により室温に近い温度で擬位相整合が達成されるように作成されており、Mg を添加することでフォトリフレクティブ効果の発生が抑えられている。実験では、2 本の結晶とも位相整合温度に保たれるように制御を行っている。また、結晶の固有軸方向に光を入射させることができるため、複屈折により赤外光と緑色光の光路が分離するウォークオフは生じない。

複数回結晶に光を入射させる装置特有の問題として、2 本目の結晶に光を入射させる場所では、非線形結晶や光学素子、空気による波長分散で、赤外光と緑色光の間に位相差が生じるというものがある。この位相差により、変換効率が低下する事がダブルパス波長変換装置で既に知られている[5]。この光学系は結晶間の距離を調整することができ、空気の波長分散を利用して分散補償を行うことができる。結晶間の距離と出力の関係を図 3 に示す。

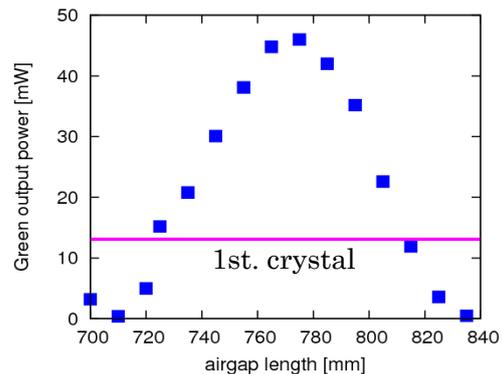


図 3. 結晶間距離と 2 本目の結晶の緑色光出力の関係。13 mW のラインは 1 本目の結晶の出力。

図 3 より、1 本目の結晶の出力と 2 本目の結晶の出力が打ち消しあうと、ダウンコンバ

ージョンが起こって1本目よりも2本目の出力が小さくなり、出力が互いに強め合う位相関係となる 770 mm 程度の距離で効率良く波長変換が行える事が分かる。ここでは分散の補償に成功していると言える。

結晶間の距離を、変換効率が最も高くなる距離に合わせて、入力パワー、出力パワー特性を測定したものが図4である。

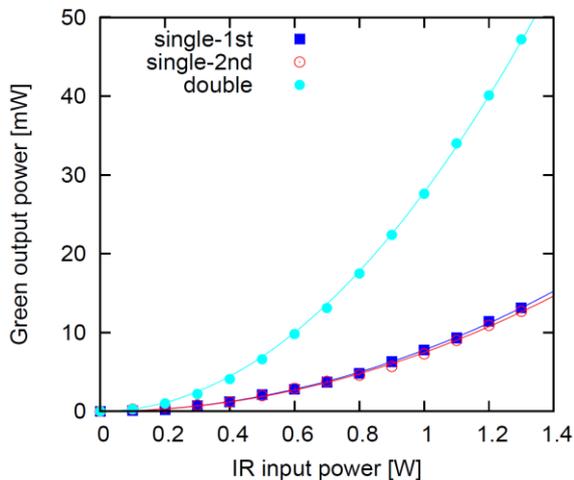


図4. 基本波の入力パワーに対する、1本目と2本目の出力パワーの関係. **single-1st**は1本目の出力、**single-2nd**は1本目の結晶を位相整合温度から外して2本目のみ使用した場合の出力を測定。**double**は2本の結晶を使用した場合の出力。

最終的に、1.3 W の入力パワーに対して、1本目のみ使用した場合の出力が 13 mW、2本目のみでは 12.7 mW となり、ほぼ等しい条件で2本の結晶を使用出来ている。2本の結晶を両方使用した場合は1本目の結晶の出力と比べて3.6倍、47mWの出力を得た。変換効率は3.6%である。これは、理論値の90%であり、理論に近い変換効率を持つ装置を作成することができたと言える。1本目と2本目の結晶をそれぞれ使用した場合の変換効率はほぼ等しいため、理論との10%の乖離は1本目の出力と2本目の出力の波面

が正確に重なっていないことが原因と考えられる。

### 3.Future work

当初の目的である W クラスの出力のレーザーを作成し、他の緑色レーザー光源でも問題となっている熱の影響について調べる必を光源とした装置の準備中である。

### 参考文献

- [1] S. V. Tovstonog, S. Kurimura, I. Suzuki, K. Takeno, S. Moriwaki, N. Ohmae, N. Mio, and T. Katagai, *Opt. Express* 16, 11294-11299 (2008)
- [2] N. Ohmae, K. Takayama, S. Moriwaki, and N. Mio, in *Conference on Lasers and Electro-Optics*, (Optical Society of America, 2010), paper CWQ4.
- [3] S. V. Tovstonog, S. Kurimura, I. Suzuki, K. Takeno, S. Moriwaki, N. Ohmae, N. Mio, and T. Katagai, *Opt. Express* 16, 11294-11299 (2008)
- [4] G. Boyd, D. Kleinman, *Journal of Applied Physics*, 39, 3597-3639 (1968)
- [5] G. Imeshev, M. Proctor, and M. M. Fejer, *Opt. Lett.* 23, 165-167 (1998)

### 【論文・学会発表】

1. 第 71 回応用物理学会学術講演会「複数の結晶を用いたシングルパス波長変換の高効率化」
2. 第 58 回応用物理学関係連合講演会「複数の結晶を用いたシングルパス波長変換の高効率化 II」.
3. 第 72 回応用物理学会学術講演会「複数の結晶を用いたシングルパス波長変換の高効率化 III」.
4. 第 59 回応用物理学関係連合講演会「複数の結晶を用いたシングルパス波長変換の高効率化 IV」(発表予定) (2012).