23a I 7 (招待講演)

レーザー学会学術講演会第18回年次大会

MgO-LN 周期ドメイン反転バルク SHG 結晶を用いた青、緑色固体レーザー

Blue, Green Solid State Laser

Using MgO-LN Periodic Domain Inverted Bulk SHG Crystal

岡崎 洋二、日向 浩彰、原田 明憲、神山 宏二 (富士写真フイルム (株) 宮台技術開発センター)

Yoji Okazaki, Hiroaki Hyuga, Akinori Harada, Koji Kamiyama (Fuji Photo Film. Co., Ltd.)

1. 初めに

当社では、高精細、大容量のカラー写真画像データーを高速処理する世界初のラボ用デジタルフルカラープリントシステム“フロンティア”を商品化した。これを実現するためには、小型、高品位、長寿命な青、緑、赤色の3原色レーザー光源が必要である。そこで、我々は、半導体レーザー励起高効率波長変換固体レーザーによる青、緑色レーザー光源を開発した。

従来、波長変換固体レーザーによる青色レーザーには、波長変換結晶として KNbO_3 が用いられてきた。 KNbO_3 は、比較的非線形定数は大きい、温度許容範囲が非常に狭いと言う問題を有し、結晶の精密な温度制御が必要であった。また、946nm で位相整合するためには角度位相整合しなければならず、その結果ウォークオフを生じてしまう問題があった。

緑色レーザーは、波長変換結晶として KTP が用いられてきた。 KTP はタイプII結晶である為に、 n_e 、 n_o の各偏光成分に位相差を生じ、共振器内にて偏光が回転してしまう。その結果、 KTP の位相差を制御するために、結晶を温調しなければならず、実効的には温度許容範囲が狭いと言う問題があった。

以上より、従来の固体レーザーは、出力安定化及び、再現よく高効率化する事が比較的に困難であった。

そこで、我々は、この波長変換固体レーザーの波長変換結晶として、高耐光損傷、高変換効率 MgO-LiNbO_3 ドメイン反転バ

ルク結晶を用いた。本結晶は、我々が新規開発したコロナ帯電法により作成されたものであり、周期均一性に優れる反転結晶である。⁽¹⁻³⁾ この周期反転結晶は、1) 高変換効率 2) 温度許容範囲が広い 3) ウォークオフが無い 4) 位相差を生じないなどの特徴を有する。本結晶を内部共振器 SHG 素子として用いた事で、LD と波長変換結晶の同時温調を可能とし、出力安定性、低ノイズ化、高ビーム品質、小型の青、緑固体レーザーを得ることができた。

2. MgO-LN ドメイン反転結晶の特徴

今回新規に開発した、 MgO-LiNbO_3 を先に述べた KNbO_3 とを比較しながら、その特徴について説明する。その比較表を表1に示す。

表1 MgO-LiNbO_3 と KNbO_3 との比較

結晶名 項目	MgO-LN 分極反転結晶	KNbO_3 アングルカット
非線形定数	21 pm/v	16 pm/v
内部ロス	~ 0.1 %	~ 0.5 %
温度許容範囲	16 °C mm	4 °C mm
ウォークオフ	0 °	0.86 °
多波長化	◎	×
光損傷	○	○

MgO-LiNbO_3 周期ドメイン反転結

晶は、我々が新規に開発したコロナ帯電法(図1)によって周期均一性の優れたバルク状の深い分極反転が形成される。マスク周期を変更することで、ドメイン反転周期を変化させ、任意の波長に対して擬位相整合する事が可能となる。特に、 MgO-LiNbO_3 は350nm以上において透明であり、紫外領域までの波長変換が可能である。

図1. コロナ帯電法によるドメイン形成法

また、 MgO を5mol%ドーピングした LiNbO_3 の特徴として、 LiTaO_3 やノンドーピング LiNbO_3 に比べ、非常に高い光損傷しきい値を有している。

ドメイン反転結晶は、非線形定数の最も大きな d_{33} を用いる事ができる為、高い波長変換効率が期待できる。また、基本波と第二高調波が同一の n_e 偏光を取るために、比較的溫度許容範囲が広がる。さらに、ウォークオフが無いなどの特徴を有する。

高い波長変換効率を有する為に結晶長を短くして、広い溫度許容範囲を実現できる。結晶長2mmにおける、9℃もの溫度許容範囲が得られた。結果を図2に示す。

特に、我々の作成した MgO-LiNbO_3 ドメイン反転結晶は、 KNbO_3 に比べ、散乱、吸収等が小さい為に、非常に小さな共振器内の内部ロスを有している。波長変換出力は、非線形定数と内部ロスの逆数の2乗に比例するので、 MgO-LiNbO_3 ドメイン反転結

晶は、 KNbO_3 に比べ非常に大きな効率が期待出来る。したがって、わずか2mmの結晶長においても高出力のSHG光が得られる事が期待できる。

図2. MgO-LiNbO_3 反転結晶の溫度許容範囲

3. モジュール構造

本レーザーは、光源には出力500mWのワイドストライプ型半導体レーザーを用いた。この半導体レーザーを集光光学系にて厚さ1mmNd:YAG結晶内に集光し、結晶を励起して $\lambda=946\text{nm}$ を基本波として発振させた。反転結晶によって基本波を波長変換し、 $\lambda=473\text{nm}$ の青色SHG光を発生させた。

MgO-LiNbO_3 ドメイン反転結晶は、周期 $\Lambda=4.75\mu\text{m}$ 、結晶長 $l=2\text{mm}$ であり、発振ビームの回折ロスをなくすために厚さ0.4mmに最適化した。

また、基本波の縦モード競合を抑制する為に、共振器長を10mmと短くし、縦モード間隔を広げ、かつ共振器内にエタロンを挿入することで、単一縦モード化をはかった。エタロンは946nmの発振ゲイン幅と同等のFSRとなる厚みとし、フィネスは隣接縦モードロスが約1%になるような反射率とした。これによって、完全な縦単一モード条件を実現した。

更に、結晶長が2 mmの為、温度許容範囲が広がり、その温度範囲内に半導体レーザーの発振波長チューニング温度を合わせる事が可能になり、半導体レーザーと波長変換結晶の同時温調を実現できた。本モジュールは、一つのペルチェ素子上に半導体レーザーと共振器を乗せた構造とした。寸法は、50 X 30 X 29 mm³であり、同時温調採用による小型化を実現した。

緑色レーザーは、半導体レーザー光の吸収係数の大きな、厚さ1 mmのNd:YVO₄結晶を用いた。これを励起して $\lambda = 1064$ nmを基本波として発振させ、ドメイン反転結晶によって $\lambda = 532$ nmの緑色SHG光を発生させた。MgO-LiNbO₃ドメイン反転結晶は、周期 $\Lambda = 7.00 \mu\text{m}$ 、結晶長 $l = 2$ mmであり、発振ビームの回折ロスをなくするために厚さ0.6 mmに最適化した。また、青色レーザーと同様に基本波の縦モード競合を抑制する為に、共振器内にエタロンを挿入した。

図3にモジュールの基本構成図を示す。

図3. モジュール構造

4. モジュールの基本特性

本モジュールの基本特性について示す。図4、5が本レーザーの出力特性の一例である。反転結晶長2 mmにおいて、青色出力は、半導体レーザー励起500 mWの時に最大17 mWを達成した。緑色出力は、半導体レーザー500 mW出力時に最大90 mW出力を達成した。本結果より、MgO-LiNbO₃ドメイン反転結晶の高変換効率性が実証された。

次にビーム特性の測定結果を図6に示す。波長変換結晶にウォークオフが無いことから図6に示した様に非常に均一なビーム特性が得られる。楕円比は、ほぼ1:1であり、M²は1.05と良好であった。

次に環境温度を変化させた場合の出力安定性とノイズ特性を測定した結果を図7に示す。環境温度は10℃から45℃まで変化させた。出力安定性は±1%以内、ノイズ安定性は1% rms以内であった。さらに、上記環境温度範囲の多重サイクル試験を実施しても出力安定性及びノイズ特性に影響は無く、実用化に耐える環境特性を持つことを確認した。

図4. 青レーザーの出力特性

図 5. 緑レーザーの出力特性

図 6. 青色レーザーのビーム特性

図 7. 環境出力、ノイズ特性

5. まとめ

我々は、波長変換結晶として、新規に開発したコロナ帯電法で作成した MgO-LiNbO_3 ドメイン反転バルク結晶を用い、半導体レーザー励起固体レーザーによる青、緑レーザーを実現した。最大出力は、励起半導体レーザーパワー 500 mW にて、青色出力 17 mW、緑色出力 90 mW を得た。この高変換効率、広温度許容範囲、ウォークオフの無い波長変換結晶を用いると共にエタロンにより単一縦モード化する事で、小型（半導体レーザーと波長変換素子の同時温調）、高ビーム品質、出力安定なレーザーを開発し、高品位レーザーカラープリンター用の光源としての実用適性を確認した。

最後に、今回我々が開発した青、緑レーザーの外観写真を図 8 に示す。

図 8. モジュールの外観写真

参考文献

- (1) A. Harada and Y. Nihei.: Appl. Phys. Lett. 69 (1996) p 2630
- (2) A. Harada, Y. Nihei, Y. Okazaki, H. Hyuga: Optics. Lett. 22(1997) p805
- (3) A. Harada, Y. Okazaki, K. Matumoto, Y. Morimoto and K. Kamiyama: CLEO '97(1997)CThR2 p422