

# 計測用小型 355nm 波長変換パルスファイバレーザ光源の開発

富張 康弘, 土橋 一磨, 今井 浩一, 星 正幸, 廣橋 淳二, 牧尾 諭  
株式会社オキサイド (〒408-0302 山梨県北杜市武川町牧原 1747-1)

## Development of compact frequency converted pulsed 355 nm fiber laser for sensing application

Yasuhiro TOMIHARI, Kazuma DOBASHI, Koichi IMAI, Masayuki HOSHI, Junji HIROHASHI,  
and Satoshi MAKIO

<sup>1</sup>*OXIDE corporation, 1747-1 Maginohara, Mukawa, Hokuto, Yamanashi 408-0302*

**Abstract:** Compact ultraviolet (355 nm) frequency conversion laser was demonstrated based on fiber laser for sensing application. From fundamental 1064 nm pulsed fiber laser, frequency convertor with more than 80 mW output was demonstrated with the size of 140 cc by utilizing SHG/THG monolithic device. In addition, frequency convertor with more than 200 mW output was demonstrated with the size of approximately 200 cc by utilizing PP-Mg:SLT and PP-LBGO devices. With these convertor sizes and power level, it is possible to realize affordable laser module for easy to integrate into the portable sensing system such as LIDAR systems on the airplane or drones for detection of small particles in the air.

**Key Words:** frequency conversion, fiber laser, QPM, nonlinear optics

### 1. 背景

レーザを用いたライダー (LIDAR : Light Detection and Ranging, Laser Imaging Detection and Ranging) 計測技術は進歩しており, 探鉱, 土木建築, 森林管理などで必要とされる広範囲な 3D データ取得する技術が実用化されている. 現在, 3D 計測には主に赤外光(1.5  $\mu$ m 帯)のパルスファイバレーザが用いられているが, 可視, 紫外光を用いることにより, 水中計測や上空における微細粒子計測への応用展開の可能性が期待されている.

これらライダー用の計測光源として求められる性能としては, 計測の観点からは分解能やノイズを低減させるために, 繰り返し周波数が高いこと, ピークパワーが高いことが求められる. さらに, 実用上は小型で持ち運びができ, かつ価格的にも普及可能な価格帯であることが望まれる.

そこでわれわれは高繰り返し, 高ピークパワー, 可搬性を兼ね備えたレーザ光源として, ファイバレーザベースの特長に着目し, これらと波長変換を組み合わせた可視・紫外光発生用の波長変換デバイスおよび波長変換器の開発を進めている.

本稿では, パルスファイバレーザとして, Keopsys 社製の 1064nm レーザを適用し, これに適した 355nm 発生用の波長変換器の試作を行った. 基本波波長 1064 nm, 波長線幅 200  $\mu$ m 以下, 平均出力約 1W, ピーク出力最大 25kW, 繰り返し周波数 50kHz, パルス幅約 1 ns, 直線偏光で LMA の PM ファイバ(コア径 20  $\mu$ m)で先端は FC/APC

コネクタで終端されている. 本光源を用いた単一波長変換素子によるモノリシック型 PP-Mg:SLT 素子を用いた小型 355nm 変換器レーザ, および新しい波長変換材料である PP-LBGO を用いた中出力 355nm 変換器レーザについて報告する.

### 2. モノリシック型 PP-Mg:SLT 搭載 355nm レーザ

紫外(355nm) の波長変換素子としては, SHG (Second harmonic generation)および THG (Third harmonic generation)の 2つの波長変換過程があり, 通常はそれぞれの過程において別々の波長変換素子が必要である. 単一波長変換素子を実現するために, SHG, THG の両過程で同じ材質を用いる PP-Mg:SLT に着目し, SHG/THG のモノリシック構造を設計し, 構造の最適化検討を行った. SHG 部の素子長を 2~4mm, THG 部の素子長を 3~7mm とした複数の素子水準の組み合わせを検討し, Fig. 2 に示す評価系を用いて, 各組み合わせに対して基本波の集光条件も複数確認し, 最適となる素子長, 集光条件の組み合わせについて, 実験的に確認をした.

その結果, 最もロバストな組み合わせのひとつとして, SHG 部を 2mm, THG 部を 4mm, 全長 6mm としたモノリシックデバイスに対する最適な集光条件を見出した. Fig. 1 に THG の出力が最大となるように調整した集光条件における入力出力特性の結果を示す. 1 素子で 100mW 以上, 変換効率で 10%程度の 355nm の出力条件を見出すことができた.

これらの基礎データに基づき、小型波長変換器の試作を行った。出力特性は、Fig. 1 に示す結果とほぼ同様の特性を確認でき、変換器サイズとして 40mm × 40mm × 87mm (約 140cc) まで小型化することが可能となった。さらに、温度制御も一素子分のみでよいいため、変換器部分に温度制御回路も一体化した構造を実現することができた。

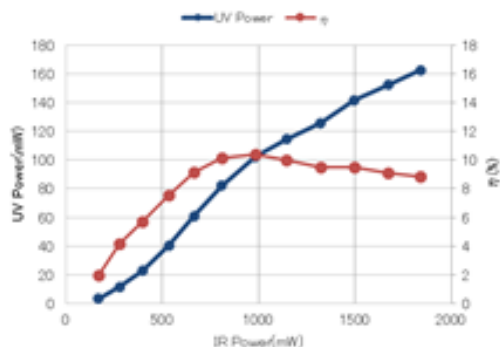


Fig. 1. Conversion performance of monolithic PP-Mg:SLT device

### 3. PP-LBGO 搭載 355nm レーザ

前章に記載の 355nm 波長変換器の場合、小型のメリットはあるが、材料の吸収の関係のため、きれいなビーム形状を保持した状態での最大出力は 80~100mW 程度で制限されてしまう。そこで、より出力の高い変換器を目指すに当たり、Walk-off がなくビーム整形が容易な PP-LBGO 素子に着目して検討を行った。PP-LBGO 素子は、強誘電体である LBGO (LaBGeO<sub>5</sub>) 単結晶基板に電界印加法により、周期分極反転構造を形成した波長変換素子であり、厚み 0.5mm、幅 7mm、長さ 15mm、周期約 6.4 μm の 355nm 発生素子を作製した。

次に 355nm の波長変換特性を評価した。SHG 部には PP-Mg:SLT 素子を用い、THG 部に PP-LBGO 素子を用いた。Fig. 2 は基本波 1064nm の入力に対する 355nm 光の出力特性である。ここで、基本波に対する波長変換効率は 15%以上、平均出力として 200mW 以上の変換を得ることができた。

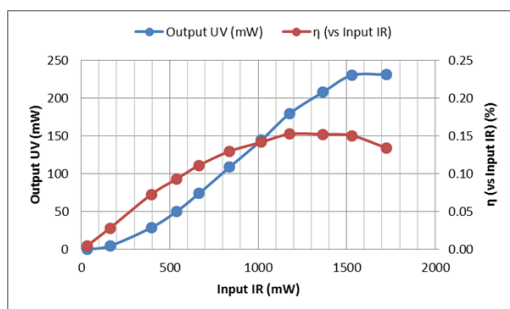


Fig. 2. Conversion performance of PP-LBGO device

また、変換光のビームプロファイルを確認したところ Walk-off のない円形のビームを得ることができを確認した。以上の結果に基づき、PP-Mg:SLT と PP-LBGO を用いた 355nm 波長変換器の設計・試作を行った。Fig. 3 に示すように体積約 200cc の変換器を実現できた。



Fig. 3. Frequency converter laser of 355 nm by utilizing PP-LBGO device

### 4. まとめ

センシング用パルス可視・紫外波長変換器の開発として、1064nm のパルスファイバレーザを基本波光源とした、355nm 波長変換器レーザの試作を行った。モノリシック型の PP-Mg:SLT 素子を用いた波長変換器レーザでは、変換器サイズ 140cc で 1つの温度制御機構により 80mW 以上の出力を実現した。また、PP-LBGO 素子を用いた構成においては、200mW 以上の変換光出力を確認し、変換器サイズも約 200cc のサイズを実現できた。いずれの構成も、シングルパス構造であるために部品点数が少なく、リアパネル、フロントパネルを共通化することにより、コネクタ着脱により出力に合わせた波長変換器の選択も可能である。さらに、従来よりも小型で手のひらサイズの波長変換器を実現することができ、航空機やドローンなどの飛行体に搭載可能なサイズを見込むことができた。今後、専用器構成とすることにより、更なる小型化や軽量化が実現できる可能性もあり、用途に合わせた改良を継続する計画である。

### 5. 参考文献

- 1) A. A. Kaminskii et al., phys. Stat. sol (a) 125, 671 (1991).
- 2) S. Miyazawa, et al., Phys. Stat. Sol., A 208 (2011) 1195.
- 3) J. Hirohashi, et al., CLEO 2014, SM4I.6, San Jose (2014).
- 4) J. Hirohashi et al., Advanced solid state laser 2014, Atu4A.4 (2014).

### 謝 辞

本研究の一部は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の研究事業の支援を受けて行われた。