

最近の技術から

共振器内 SHG による 473 nm ブルーレーザー

秋田 智史

(株)島津製作所けいはんな研究所 〒619-02 京都府相楽郡精華町光台 3-9

1. はじめに

小型で高効率な可視レーザー光源を実現するために様々な方式が提案され活発に研究開発が進められている。それらの中で、グリーンレーザーは実用化が進み、最近ではマイクロチップレーザーと呼べるものまで市販されるようになった。しかし、ブルーレーザーに関しては、学会などでの報告例は多いものの、なかなか実用的なレーザーが出現しない。

そのような背景のもと、グリーンレーザーよりも波長が短く、より多くの分野で使用されることが期待される小型ブルーレーザーの実用化を目指して研究開発を進めてきたり、方式はLD励起Nd:YAG 946 nmレーザーの共振器内第二高調波発生 (SHG) である。SHG 素子としてKNbO₃ (KN) 結晶を使用したもので30 mWを越える出力を研究開発段階において得た。また、従来高出力Nd:YAG 1064 nmパルスレーザーの波長変換や光パラメトリック発振 (OPO) 用に使用されているβ-BaB₂O₄ (BBO) 結晶をSHG 素子として使用した場合においても25 mWを越えるブルーレーザー光を得ることに成功している。

これらの成果は、励起光結合光学系の最適化を行うなどして基本波レーザーの動作効率が大幅に改善された結果得られたものである。

ここでは、けいはんな研究所において研究開発を進めてきた共振器内SHGによる473 nm cwブルーレーザーの概要について報告する。

2. KNを使用した共振器内SHGによるブルーレーザー

小型で高効率なブルーレーザーを得るための方式として代表的なものに次のようなものがある²⁾。

- (1) 励起光源 (LD) による直接発生
- (2) 近赤外LD光の直接波長変換
- (3) LD励起固体レーザーの共振器内SHG
- (4) LD光とLD励起固体レーザー光の和周波混合

(5) アップコンバージョンレーザー

これらの中で、室温条件下で高効率な動作が期待でき、高出力化も可能な(3)LD励起固体レーザーの共振器内SHGによる方式を採用して研究開発を進めてきた。

この方式によりブルーレーザー光を得るには、LD励起Nd:YAG 946 nmレーザー³⁾を基本波レーザーとして使用する。この基本波レーザーの光共振器内にSHG素子を挿入することにより高い波長変換効率を得られる。ここで得られるブルーレーザーの波長は473 nmである。

図1に(3)の方式によるブルーレーザーの構成を示す。LD、励起光結合光学系、SHG素子を含む端面励起Nd:YAG 946 nmレーザー発振器から構成される。SHG素子はtype-I室温角度位相整合(位相整合角30°)によるKN結晶を採用した。

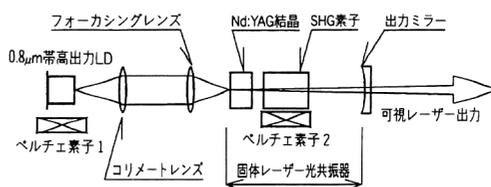


図1 完全固体可視レーザーの構成
ベルチエ素子1は高出力LDの波長チューニング用、ベルチエ素子2はSHG素子の位相整合温度チューニング用。

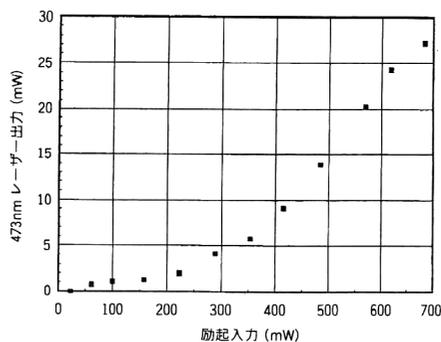


図2 KNbO₃による473 nmブルーレーザーの出力特性

表1 KNbO₃による473 nmブルーレーザー出力特性

出力の横モード	TEM ₀₀
最大出力	32.3 mW ($P_1=974$ mW)
光LD-光473 nm変換効率	3.3%
電気-光473 nm変換効率	1.1%
動作温度	室温 (25°C)

ブルーレーザーの出力特性の測定例を図2に示す。また、これまでに得られている473 nmブルーレーザーの出力特性を表1に示す。表1より、30 mWを越えるブルーレーザー出力が得られているが、KNの位相整合温度許容幅が3.5°Cと狭く、出力を安定に維持するためにはKNの温度安定化が不可欠である。

3. BBOによるブルーレーザー

KNは位相整合の温度許容幅が狭いことが欠点である。そこで、位相整合の温度許容幅の広いことが予想されるBBOをSHG素子として使用することを試みた。

BBOによる473 nmブルーレーザーの出力特性の測定例を図3に示す。また、BBOの結晶温度を変化させて測定した、ブルーレーザー出力のBBO結晶温度依存性を図4に示す。図4にはKNの温度特性も重ねて示した。

これまでに得られているBBOによる473 nmブルーレーザーの代表的出力特性を表2に示す。表2より、室温動作で20 mWを越える473 nmブルーレーザー光が得られており、出力に関しては十分実用的である。また、BBOの位相整合温度許容幅は50°Cを越えておりKNよりもはるかに使いやすい。ただし、BBOによるブルーレーザーは横モードが楕円となることが欠点である¹⁾。

なお、BBOがLD励起Nd:YAG 946 nm cwレーザーのSHGに使用された例は、筆者の知る限りない。

4. 製品化

以上のような経緯をふまえ、現在KNをSHG素子として採用した473 nmブルーレーザーの製品化を進めている。また、ブルーレーザーのアプリケーションについても開発を進めている。デンケンエンジニアリング(株)より最近発表になった光造形装置SLP-5000⁴⁾に光源として採用されているのはその一例である。

5. おわりに

LD励起Nd:YAG 946 nmレーザーの共振器内SHGによるブルーレーザーは発振波長がArレーザー(488 nm)に近く、さらに、小型、軽量、低消費電力な

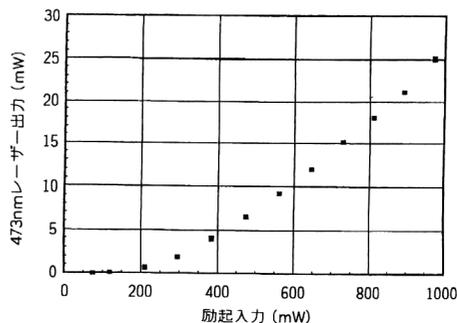


図3 BBOによる473 nmブルーレーザーの出力特性

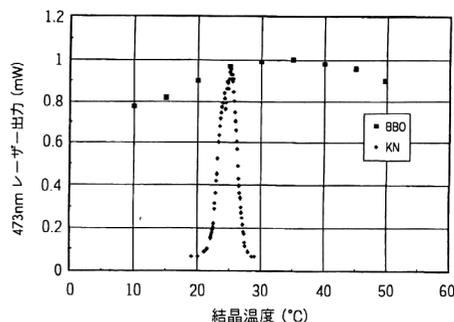


図4 ブルーレーザー出力のBBOおよびKN結晶温度依存性

表2 BBOによる473 nmブルーレーザー出力特性

出力の横モード	縦横比1:4の楕円 gaussian
最大出力	25.1 mW ($P_1=974$ mW)
光LD-光473 nm変換効率	2.6%
電気-光473 nm変換効率	0.9%
動作温度	室温

どの特徴により、多くのアプリケーションが開発されることを期待している。現在供給可能なブルーレーザーはマルチモード発振するものであるが、今後は、縦横シングルモード化したローノイズモデル¹⁾の商品化を急ぐ予定である。

文 献

- 1) 秋田智史, 井原正博, 東條公資, 吉岡善文, 大谷文彦: “完全固体ブルーレーザーの開発”, 島津評論, 51 (1994) 185-194.
- 2) 佐々木孝友: “半導体レーザーの波長変換”, レーザー研究, 18 (1990) 599-606.
- 3) T. Y. Fan and R. L. Byer: “Quasi-three-level Nd:YAG laser,” IEEE J. Quantum Electron., QE-23 (1987) 609-611.
- 4) 日浦昭二, 山野健治, 後藤 光, 石井一彦, 横島 実, 秋田智史, 吉岡善文, 大谷文彦: “可視光を用いた第2世代の光造形装置”, 第8回ラピッドプロトタイプリングシンポジウム予稿集 (1995) pp. 7-10.

(1995年7月11日受理)