

## 最近の技術から

# 擬似位相整合 SHG を用いた青色光発生

水内 公典・山本 和久・北岡 康夫・加藤 誠

松下電器産業(株)材料デバイス研究所 〒570 守口市八雲中町 3-1-1

### 1. まえがき

光ディスクの高密度化を目的として、コンパクトな短波長光源の開発が注目されている<sup>1)</sup>。中でも、ハイビジョン(HDTV)の録画再生を可能にする青色光源に対する期待は大きく、半導体レーザー(LD)の直接発振(II-VI族, GaN系)、導波路型およびバルク型の第2高調波発生(SHG)素子による波長変換等の研究開発が盛んに行われている。図1は現在開発が行われている小型短波長光源の特性を比較したものである。HDTVの記録再生には、現行のDVD(digital video disc)に対し3~4倍の記録密度が必要となり、書き込みには高出力特性が要求される。そのため波長430 nm程度、出力10~20 mW以上の短波長光源が必要となる。しかしながら、II-VI族LDは波長500 nm帯の青緑色領域であり、記録密度的に使用は難しい。また、400 nm帯の発振が期待されるGaN系LDは、未だレーザー発振が確認されていない。一方、導波路型のSHG素子はLiNbO<sub>3</sub>、LiTaO<sub>3</sub>、KTP(KTiOPO<sub>4</sub>)等の高非線形材料を用いた擬似位相整合(QPM)型の素子により数mW以上の青色光発生が報告され、現在実用化に最も近い短波長光源として期待が高まっている<sup>2)</sup>。

### 2. LiTaO<sub>3</sub> 擬似位相整合デバイス

周期状分極反転構造を用いたQPMは周期構造により任意に位相整合波長を選択できること、および高効率であるという特長がある。反面、基板に数μm周期の分極反転構造を形成しなければならないという困難さがある。従来より、LiNbO<sub>3</sub>を用いたQPM-SHG素子が検討されており、最近では電界印加により深い分極反転を形成し200 mWのTi:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>レーザーで20 mW程度の青色光発生が報告されている<sup>3)</sup>。

LiTaO<sub>3</sub>はLiNbO<sub>3</sub>と同じく直径10 cm程度の大型の結晶が引き上げられている。その特徴は、非線形光学定数( $d_{33}$ )が大きいこと、光損傷に強いこと、および短波長の吸収端が280 nmにあり紫外までの変換が可能と

いうことである。SHG特性、量産化、低コスト化の点で魅力的な材料である。筆者らは、選択プロトン交換を施したLiTaO<sub>3</sub>基板に瞬間熱処理を施することで、短周期の分極反転構造が形成されることを見出した。この方法は、均一的な短周期構造を大面積にわたり形成でき、分極反転構造内に低損失のプロトン交換導波路を形成できるという特徴をもっている。デバイス構造としては、z板LiTaO<sub>3</sub>基板に埋込み導波路に直交して周期的分極反転構造(周期4 μm、作用長10 mm)を有する。光損傷に強いため高出力の青色光の発生が可能であり、Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>レーザーを用いた評価では、最大出力23 mW、変換効率230%/Wの値を得ている。さらに、LDの波長変換で10 mW(波長:435 nm)のSHG出力を得た<sup>4)</sup>。しかしながら、光源の量産化には導波路とLDとの結合精度が課題である。

一方、バルク型のSHG素子はLDとの結合が容易であるという特徴をもつ反面、位相整合条件、walk-off等により高効率化が難しく、新たな材料開発にも限界があった。最近、これらを解決するバルク型のQPM-SHG素子が注目され、KTP、LiTaO<sub>3</sub>等で素子化の検討が報告されている<sup>5,6)</sup>。筆者らはLiTaO<sub>3</sub>結晶内に短周期で深い分極反転構造を形成する方法として、集束イオンビーム描画法、および選択プロトン交換を用いた電界印加法<sup>7)</sup>を提案した。電界印加法で0.3 mm厚の基板に周期3.8 μm相互作用長10 mmのバルク型のQPM-SHG素子を作製し、シングルパスで3.8 mWの青色SHG光の発生に成功した。共振器構造、LDの高周波駆動等による高効率化が可能である。バルク型QPMは、位相整合の容易さ、大出力化等の利点を有し、LiTaO<sub>3</sub>を用いた紫外光発生、高出力光源等への応用が期待できる。

### 3. SHG 青色光源

高効率特性を有するLiTaO<sub>3</sub>導波路型QPM-SHG素子による青色光源の試作を試みた。モジュール化の課題としてはSHG素子の狭い波長許容度(基本波に対して

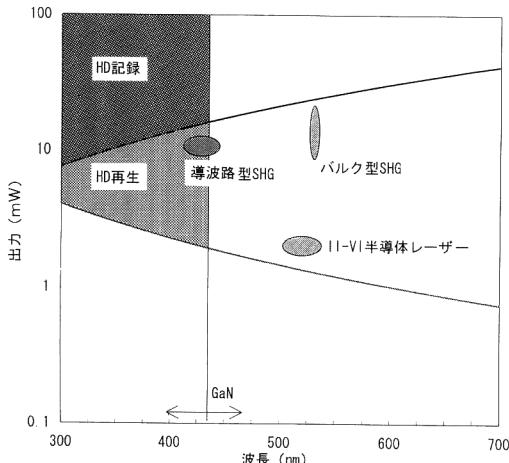


図1 小型短波長光源の特性 (HD: high density)

表1 LiTaO<sub>3</sub>:QPM-SHG 素子の特性比較

タイプ	導波路型	バルク型
構造		
変換効率 (L=10 mm)	230%/W	4.2%/W
SHG出力/基本波 (Ti:Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> レーザー)	23 mW/115 mW	3.8 mW/300 mW

0.1 nm程度)があり、LDの発振波長制御、安定化を図る必要がある。筆者らは、機械的安定性に優れたバンドパスフィルターを用いたLD波長ロック法を新たに取り入れた<sup>8)</sup>(図2)。LDより出射した光は、レンズでコリメートされ、半波長板とバンドパスフィルターを通過し、レンズで光導波路端面に集光される。SHG素子の入射面はフレネル反射をもち、LDと共に焦点光学系を形成する。フィルターを光軸に対して傾けることで、フィルター透過光のみが素子端面で反射されてLDに帰還し、LDの発振波長をフィルターの透過ピーク波長にロックする。モジュールの容積は8 ccである。フィルターの角度を調整することで、LDの発振波長をSHG素子の位相整合波長にチューニングし、波長429 nmの青色光を2 mW得ることができた。得られたSHG出力は、回折限界までの集光が可能で、相対雑音強度は、数百Hz以上の周波数領域において、測定限界値(-132 dB/Hz以下)と低ノイズであった。

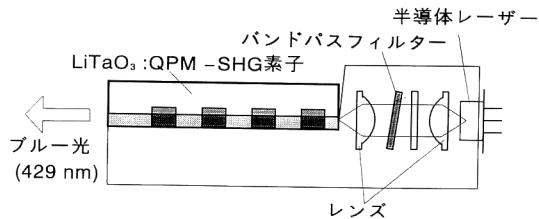


図2 SHG ブルーレーザーモジュール

#### 4. む　す　び

耐光損傷特性に優れた高非線形材料であるLiTaO<sub>3</sub>は、周期状分極反転形成技術の開発によりSHG素子化が可能となった。導波路型QPM-SHG素子を実現することで、高出力化を達成し、LDの波長変換により10 mWの青色光(430 nm)が得られた。さらに、モジュール化のため、バンドパスフィルターを用いた共焦点光学系を導入し、光ディスク再生に要望されるスペックをほぼ満足する安定出力、ノイズ、集光特性を実現した。今後、さらなる高出力化を達成することでHDTV用記録光源としての応用が期待される。

一方、LiTaO<sub>3</sub>を用いたバルク型QPM-SHG素子により変換効率4.2%/Wで3.8 mWの青色光が得られた。本方式により高非線形材料を用いた短波長変換素子が自在に設計できることを示した。バルク型QPM-SHG素子は、新たな非線形材料として今後の応用が期待される。

#### 文　献

- 立野公男：“無機材料を用いた波長変換デバイス”，O plus E, No. 186 (1995) 77-82.
- 栖原敏明：“導波路型SHGデバイスの最近の動向”，光技術コンタクト, 33 (1995) 23-31.
- M. Yamada, N. Nada, M. Saitoh and K. Watanabe: “First-order quasi-phase matched LiNbO<sub>3</sub> waveguide periodically poled by applying an external field for efficient blue second-harmonic generation,” Appl. Phys. Lett., 62 (1993) 435-436.
- 山本和久, 水内公典, 北岡康夫, 加藤 誠：“擬似位相整合SHGを用いた青色光発生”，光学, 22 (1995) 690-691.
- Q. Chen and W. P. Risk: “Periodically poled KTiOPO<sub>4</sub>: A new nonlinear material for bulk interaction,” Tech. Digest, ASSL '95, TuB1 (1995) p. 146.
- J. Webjorn, V. Pruceri, P. St. J. Russell, J. R. M. Barr and D. C. Hanna: “Quasi-phase-matched blue light generation in bulk lithium niobate, electrically poled via periodic liquid electrode,” Electron. Lett., 30 (1994) 894-895.
- K. Mizuuchi and K. Yamamoto: “Harmonic blue light generation in bulk periodically poled LiTaO<sub>3</sub>,” Appl. Phys. Lett., 66 (1995) 2943-2945.
- 北岡康夫, 水内公典, 山本和久, 加藤 誠：“LD波長ロックによる擬似位相整合SHGの安定化”，信学技報, LQE94-49 (1994) 37-42.