

最近の技術から

擬似位相整合 SHG を用いた青色光発生

山本 和久・水内 公典・北岡 康夫・加藤 誠

松下電器産業(株)部品デバイス研究センター光デバイス研究所 〒570 守口市八雲中町 3-1-1

1. ま え が き

光導波路を用いた擬似位相整合第2高調波発生 (quasi phase matched second harmonic generation: QPM-SHG)¹⁾ は、コンパクトな青色コヒーレント光源を実現するための一つの有効なアプローチであり、盛んに研究が行われている^{2,3)}。中でも LiTaO₃ は、光損傷に強く、かつ非線形性も大きいため、これを用いたデバイスが注目されている。ここでは、LiTaO₃ 光導波路を用いた高効率 QPM-SHG デバイスおよび半導体レーザー光の青色光への波長変換の研究状況について述べる。

2. 光導波路を用いた擬似位相整合 SHG

光導波路を利用した位相整合方法は、バルク型では実現が困難な高効率化と高機能化 (例えば位相整合可能な波長範囲の拡大) を図ることができるという特長がある。一方、周期分極反転構造を用いた擬似位相整合は、周期を選ぶことで任意の波長を発生できること、および高効率であるという特長がある。反面、基板に分極反転層を数〜数十 μm の周期で形成しなければならないという困難さがある。従来より、LiNbO₃ 基板を用いて QPM-SHG 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層を形成し、Ti サファイアレーザーで 20 mW 程度の青色光発生が報告されている³⁾。

LiTaO₃ は LiNbO₃ と同様に三方晶系に属する一軸性結晶であり、LiNbO₃ と同じく直径 10 cm 程度の大型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 LiNbO₃ と同様に大きい (26 pm/V) こと、光損傷に強いこと、および短波長側の吸収端が 280 nm にあり、紫外までの変換が可能ということがある。以下、LiTaO₃ を用いた QPM-SHG について詳しく述べる。

3. LiTaO₃ 擬似位相整合デバイス

図1に QPM-SHG デバイスの構成を示す。LiTaO₃ 基板に埋め込み光導波路 (厚み 1.9 μm , 幅 5 μm) と直交して、周期的分極反転層 (周期 3.8~4 μm , 深さ 1.9

μm) が形成されている⁴⁾。分極反転層は、部分的プロトン交換と熱処理により作製されている。また、光導波路はピロリン酸を用いたプロトン交換により形成されている。プロトン交換法は 300°C 以下の温度で光導波路が形成できるため、分極反転構造を破壊することなく、QPM-SHG デバイスへの光導波路形成法として有効な方法である。

SHG デバイスの基本特性を調べるために、波長を可変できるチタンサファイアレーザーを光源に用いて評価を行った。分極反転層の周期 3.8 μm に対して波長 858 nm, 周期 4.0 μm に対しては波長 870 nm で SHG 出力の最大ピークが得られた。基本波 145 mW に対し、光導波路長 10 mm では 31 mW, 15 mm では 40 mW の SHG 出力が得られた。

4. 半導体レーザー光の波長変換

擬似位相整合 SHG デバイスの課題としては、狭い波長許容度 (基本波に対して 0.1 nm 程度) があり、半導体レーザーの発振波長制御、安定化を図る必要がある。

グレーティングを用いた光フィードバックにより、半導体レーザーの縦モードをロックする方法が、光通信分野では実用化されようとしている⁵⁾。グレーティングフィードバックを用いれば、半導体レーザーの温度、電流が変化しても発振波長を一定にすることができる。SHG においても、分極反転層の周期状屈折率変化をグレーティングとして利用し、半導体レーザーに帰還する方法等

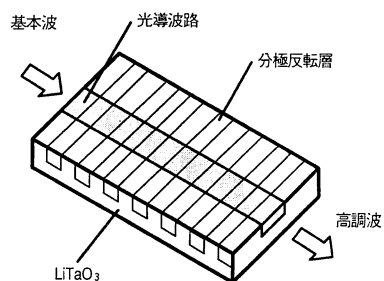


図1 QPM-SHG 構造

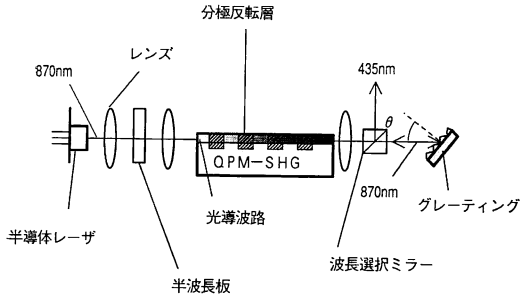


図 2 グレーティングフィードバック系

表 1 QPM-SHG デバイス特性 (半導体レーザーを用いた波長変換において)

| | |
|------------|--------|
| 光導波路への結合効率 | 63% |
| 導波基本波パワー | 72 mW |
| SHG パワー | 10 mW |
| SHG 波長 | 435 nm |
| 変換効率 | 14% |

が検討されている⁶⁾。筆者らは、図 2 に示す光導波路を介した光フィードバック方法を提案した⁷⁾。この方法は光導波路から出射された基本波をグレーティングで光導波路に戻すことで、光はもとの光路を通して半導体レーザーに帰還される。一方、SHG は波長選択ミラーにより外部に取り出される。特徴としては、光導波路外部にグレーティングを有するため、基本波および高調波に損失が生じず、高出力青色光を得ることができる。

図 2 において、半導体レーザー光をレンズ系を用いて光導波路端面に照射した。表 1 にデバイス特性を示す。伝送された 114 mW の基本波のうち 72 mW が光導波路に入射した。光導波路から出射された基本波を、グレーティング (周期 556 nm) にて光導波路に戻した。発振波長 868 nm の半導体レーザーをグレーティング角度を変えることで、858 nm から 880 nm まで、22 nm の範囲で発振波長をスキャンすることができた。次に位相整合波長 870 nm に波長ロックすることで、8 mW の青色光が外部に取り出された。出射面でのフレネル損を考慮すると 10 mW の青色光が効率 14% で得られたこととなる。また、半導体レーザーの温度変化 (範囲: 25°C)

に対しても出力は安定であった。

5. む す び

従来、位相整合が困難であった LiTaO₃ に周期状分極反転層を形成することができ、擬位相整合を用いた高効率波長変換が可能となった。一方、グレーティングフィードバックによる波長ロックは波長許容度問題解決の有力な手段である。これにより、赤外半導体レーザー光の、LiTaO₃ SHG デバイスによる波長変換において、10 mW 程度の青色連続光が安定に発生できることが示された。今後、半導体レーザーと組み合わせた青色コヒーレント光源の光情報処理分野等での応用が期待される。

文 献

- 1) J. A. Armstrong, N. Bloembergen, J. Ducuing and P. S. Pershan: "Interactions between light waves in a nonlinear dielectric," *Phys. Rev.*, **127** (1972) 1918-1939.
- 2) C. J. van der Poel, J. D. Bierlein and J. B. Brown: "Efficient type I blue second-harmonic generation in periodically segmented KTiOPO, waveguides," *Appl. Phys. Lett.*, **57** (1990) 2074-2076.
- 3) M. Yamada, N. Nada, M. Saitoh and K. Watanabe: "First-order quasi-phase-matched LiNbO₃ waveguide periodically poled by applying an external field for efficient blue second-harmonic generation," *Appl. Phys. Lett.*, **62** (1993) 435-436.
- 4) K. Mizuuchi and K. Yamamoto: "Highly efficient quasi-phase-matched second-harmonic generation using a first-order periodically domain-inverted LiTaO₃," *Appl. Phys. Lett.*, **60** (1992) 1283-1285.
- 5) 西岡 稔, 萩原清和, 内村 潔, 朝倉宏之, 松本光二郎, 飯田正憲, 村瀬宏一, 谷口憲司: "HDTV 波長多重光伝送システム", *テレビジョン学会誌*, **45** (1991) 377-383.
- 6) K. Shinozaki, T. Fukunaga, K. Watanabe and T. Kamijoh: "Self-quasi-phase-matched second-harmonic generation in the proton-exchanged LiNbO₃ optical waveguide with periodically domain-inverted regions," *Appl. Phys. Lett.*, **59** (1991) 510-512.
- 7) K. Yamamoto, K. Mizuuchi, Y. Kitaoka and M. Kato: "High power blue light generation by frequency doubling of a laser diode in periodically domain inverted LiTaO₃ waveguide," *Appl. Phys. Lett.*, **62** (1993) 2599-2601.

(1993年6月25日受理)