

## 最近の技術から

# 光非線形導波路と高調波発生

谷内 哲夫

松下電器産業(株)半導体研究センター光半導体研究所 〒570 守口市八雲中町 3-15

### 1. ま え が き

最近、非線形光集積回路として光導波路をベースとした新しい非線形光デバイス、たとえば光高調波発生(SHG)素子、パラメトリック変換素子あるいは論理素子の実現をめざし積極的な研究開発が行なわれている。これらの光デバイスは将来の光情報処理分野を大きく発展させる基礎技術として注目されている<sup>1)</sup>。

光導波路を用いた SHG は、基本波を高パワー密度に保ったまま非線形相互作用長を大きくできるため高い変換効率を得ることができ、数十 mW オーダーの低レベルの光パワーで動作する SHG 素子の実現が可能になる。なかでも LiNbO<sub>3</sub> 光導波路は次のような特長を有しているために、SHG の研究が活発に進められている。

(1) Ti 拡散法などの光導波路形成技術がほぼ確立されており、0.5 dB/cm 以下の低損失導波路を比較的容易に作製できる。

(2) 複屈折を利用した位相整合が容易である。

(3) 比較的高品質で安価な単結晶基板(3インチ径)の入手が容易である。

ここでは、LiNbO<sub>3</sub> 導波路による SHG の研究のなかで新しいアプローチである Ti 拡散導波路を用いた共振器型 SHG とプロトン交換導波路を用いた SHG について紹介する。

### 2. Ti 拡散導波路を用いた共振器型 SHG

Ti 拡散光導波路を用いた SHG は、Uesugi ら<sup>2)</sup>により理論および実験的検討が行なわれ、温度制御による位相整合により基本波長  $\lambda=1.06. 1.09 \mu\text{m}$  の SHG により、65 mW 入力において変換効率 0.8% (1 mW 入力における換算効率 0.01%) とバルク型に比べほぼ 2 桁の高効率化が図れることが示された。

共振器型 SHG<sup>3)</sup> は、これをさらに高効率化したものであり、図 1 に示すように Ti 拡散導波路の入射端面に高反射膜を付けることによりファブリー・ペロー共振

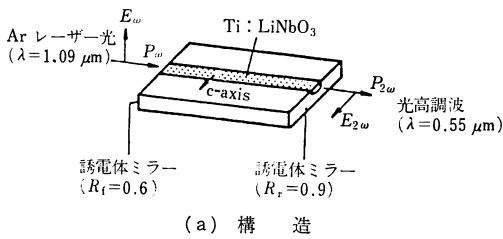
器とし、基本波の光パワー密度を増大させている。位相整合は基本波の常光と高調波の異常光の実効屈折率を温度制御により一致させることにより行なっている。導波ロス 0.1 dB/cm、導波路長 40 mm、前面反射率 0.6、後面反射率 0.9 からなる共振器において、基本波長  $\lambda=1.09 \mu\text{m}$ 、光パワー  $P=0.1 \text{ mW}$  より SHG 出力  $P=0.1 \mu\text{W}$  (変換効率 0.1%) が得られ、基本波パワー 1 mW における換算変換効率は 1% で、共振器にしない場合に比べほぼ 2 桁 (バルク型に比べほぼ 4 桁) の高効率化が図られている。一方、温度制御精度はいちだんときびしく  $\pm 0.05^\circ\text{C}$  以下となる欠点がある。これは位相整合と共振ピークを二重に一致させる必要があるためであり、実用上は大きな問題点となると考えられる。

### 3. プロトン交換導波路を用いた SHG

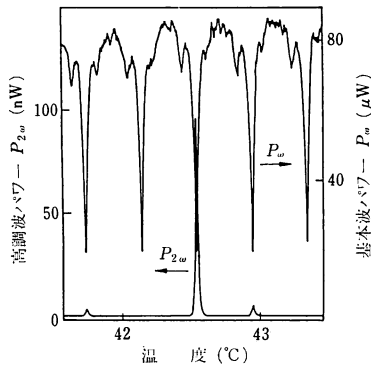
プロトン交換法は  $\text{Li}^+-\text{H}^+$  の置換により異常光屈折率が 0.12~0.14 増加するために閉込めの強い光導波路を形成することができ、また光ダメージに強いという特徴がある<sup>4)</sup>。

プロトン交換導波路を用いた SHG<sup>5)</sup> は図 2 に示すように導波モードと放射モード間で位相整合をとるチェレンコフ放射の構成を採用することにより、0.8  $\mu\text{m}$  帯半導体レーザーの SHG を実現したものである。LiNbO<sub>3</sub> 基板 (z-cut) 内に形成された導波路 (横幅×厚み=2×0.4  $\mu\text{m}$ ) に基本波を導波させ、高調波を放射モードにより基板内にはほぼ 16° の角度で発生させている。ここで LiNbO<sub>3</sub> の有する最大の非線形光学定数  $d_{33}$  を利用するために、基本波および高調波の両方を異常光としている。

実験ではリン酸を用いてプロトン交換した長さ 12 mm の導波路において、波長 0.84  $\mu\text{m}$ 、光パワー 20 mW (光導波路に結合したパワー) の半導体レーザー光より、波長 0.42  $\mu\text{m}$ 、光出力 0.2 mW の安定した SHG が得られ、変換効率は 1% (従来は 0.05% 以下) であった。この構造は、室温で温度制御なしで動作可能であり、ま



(a) 構造



(b) SHG 特性

図 1 Ti 拡散光導波路を用いた共振器型 SHG 素子

た導波路の寸法を変更するだけで他の基本波長に対応できる点が大きな特長である。

4. TIPE 導波路を用いた SHG

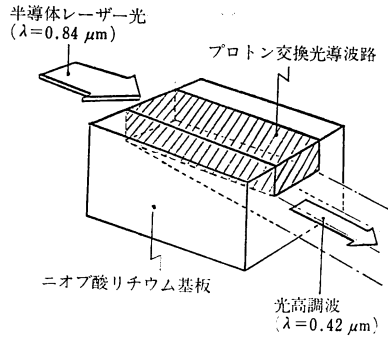
Ti 拡散法とプロトン交換法を併用する TIPE (Ti-indiffused proton-exchanged) 導波路を SHG に用いると、異常光屈折率を独立に制御できるために位相整合範囲を大幅に拡大できることが提案された<sup>6)</sup>。この場合、プロトン交換に安息香酸とリチウム安息香酸を混合して使用することにより、屈折率差  $\Delta N$  を 0.01~0.12 の範囲で制御できるため室温において位相整合可能な基本波長域を  $\lambda=1.09\sim 1.55 \mu\text{m}$  ときわめて広くすることができる。

5. む す び

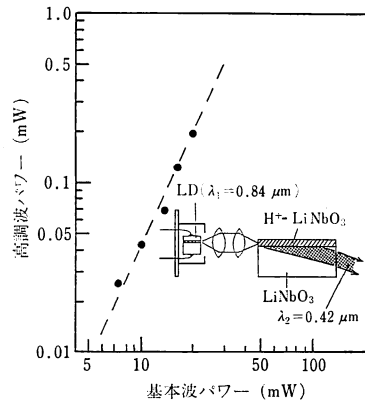
LiNbO<sub>3</sub> 光導波路を用いた SHG は、導波路形成法と位相整合法の工夫により、従来のバルク型より大幅に高効率化が図られている。導波路型 SHG の特徴をまとめると次になる。

(1) 高パワー密度を保ったまま相互作用長を大きくできるため、バルク型より 2 桁以上の高効率化が可能である。

(2) 結晶の複屈折以外に、光導波路のモード分散を利用した位相整合をとることができ、動作波長域が拡大



(a) 構造



(b) SHG 特性

図 2 プロトン交換光導波路を用いた SHG 素子

する。また、バルク型だと位相整合が困難な立方晶系の SHG 結晶においてもモード分散を利用した SHG が可能になる。

現在、LiNbO<sub>3</sub> 以外にも無機あるいは有機の新しい非線形光学材料の研究開発が積極的に進められており、その導波路形成技術の確立および実用性の高い位相整合の工夫などが不可欠になる。今後さらに高効率化が進められ、半導体レーザーをベースにした SHG が実用デバイスとして応用できるようになると、可視から紫外域のコヒーレント光が容易に利用できることになり光情報処理分野が大きく発展するものと考えられる。

文 献

- 1) G. I. Stegemann and C. T. Seaton: J. Appl. Phys., 58 (1985) 57.
- 2) N. Uesugi and T. Kimura: Appl. Phys. Lett., 29 (1976) 572.
- 3) R. Regener and W. Sohler: Proc. ECOC '86 (1986).
- 4) J. L. Jackel, et al.: Appl. Phys. Lett., 41 (1982) 607.
- 5) T. Taniuchi and K. Yamamoto: Proc. ECOC '86, TuC5 (1986).
- 6) M. de Micheli, et al.: Opt. Lett., 8 (1983) 116.

(1987年3月5日受理)