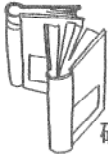


波長変換法を用いたグリーン ブルー光の発生



研究ノート

佐々木 孝 友*

Green Blue Light Generation by Frequency Conversion Technique

Key Words : Blue green light, Laser diode, Nonlinear optics,
Frequency conversion

1. ま え が き

レーザーが発明されてから30年位になる。今までに気体、液体、固体のさまざまなレーザーが開発されてきたが、現実に産業用として実用化されているレーザーはそれほど多くない。特に液体レーザーは取扱が面倒という点で、また気体レーザーは放電現象を利用している故にチューブの寿命が数1000時間位と短いことから、寿命が長く、小型に作れる固体レーザーに置き換えられてゆく傾向にある。電子管がトランジスタに置き換えられていったのと同じことである。固体レーザーのなかでも例外なのは半導体レーザー(Laser Diode: LD)である。光通信、情報処理の分野で爆発的に使用されている。しかし波長でいえばこれらは近赤外や赤色の領域であり、グリーンやブルー光の発振はむづかしい。このため波長変換技術を使って近赤外域のLD光をグリーン・ブルー光に変換して用いようとする研究がここ10年程前から盛んになっている。それは光ディスクメモリの高密度化、カラープリンター、三原色ディスプレイ等の用途にグリーン・ブルー領域の小型、長寿命の光源が強く要求されるようになったためである。

1991年になってついにII-VI族半導体レーザーの発振成功が報告された¹⁾。これは極めて

画期的なことといえるが、その実用化には最低でも5年~10年かかると言われている。一方近赤外半導体レーザーの波長変換によるグリーン・ブルー光発生技術は今までにかなり研究時間をかけてきたこともあり、最近非常によい成果を得始めている。したがってII-VI族半導体レーザーの実用化が早いのか、近赤外半導体レーザーの波長変換技術の実用化が先かの競争となっている。ここでは波長変換による方法の現状について述べる。

2. 波長変換の原理²⁾

どのような物質でも強い光電場がかかれば、内部の電子は調和振動からはずれた大きな振幅を持つ非線形振動を起こす。その結果二倍、三倍の倍音に相当する周波数を持つ光を出す。これが非線形光学効果であり、この様な効果の大きい材料をまず選ぶ必要がある。この効果はまた光強度の二乗で生じるので、できるだけ入射光強度は強い方がよい。次に基本波と発生した二倍波が媒質中で同速度で進行してゆき、場所毎に発生する二倍波が互いに強め合う必要がある。この条件は位相整合条件と称され、波長変換のための最も重要な条件である。物質には光の波長に対して分散があるので、通常は基本波と二倍波の速度は等しくないが、特別な結晶の特別な方向で、この条件を満たすことができる。



*Takatomo SASAKI
1943年9月19日生
1969年大阪大学大学院工学部電気
工学専攻修士課程修了
現在、大阪大学工学部電気工学科、
教授、工学博士、レーザー工学
TEL 06-877-5111(内線4575)

(1) 非線形光学材料

非線形光学結晶には無機と有機がある。無機の場合は分子内の束縛電子の非線形性を利用するもので、分子内結合としてP-O, I-O,

Nb-O等の結合を持つ材料は非線形効果大きい。古くからある結晶としてLiNbO₃, LiTaO₃, KNbO₃が、また新しいものでKTiOPO₄ (KTP)が使われている。種類はそれほど多くない。有機材料は分子設計により無機より大きな非線形効果を持つ結晶が設計できるということで、つい最近まで大変精力的に研究がなされたが、材料の安定性に問題があり、柔らかく加工しにくい、熱伝導性が悪いなどの点で実用化寸前で研究がストップしている。

(2) レーザー光強度の上昇法

レーザー光強度を上昇する方法には電気回路と同じように光を共振器内に閉じ込め共振させて光強度を上げる方法と、導波路またはファイバーに光を閉じ込める方法が用いられる。共振器法では内部損ができるだけ小さいことが強く共振させるために重要である。

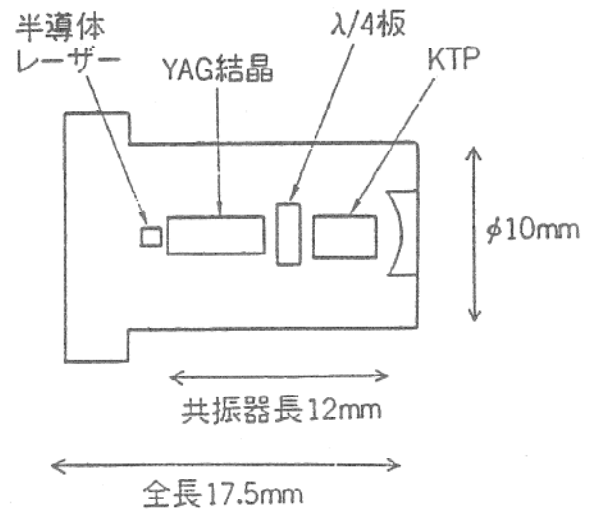
(3) 位相整合条件

現実にも用いられている位相整合の方法には①結晶の持つ複屈折を利用する、②ドメイン反転周期構造を用いた擬位相整合を利用する、がある。最近では③の方法が盛んである。これについては後述する。

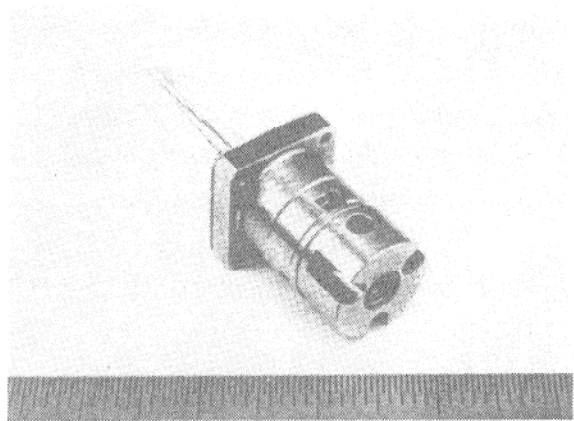
3. グリーン・ブルー光発生の現状

(1) 共振器構造を用いる方法³⁾

内部共振器法(レーザー共振器内に非線形光学結晶を置く方法)は簡単で高効率変換が可能である。半導体レーザー励起Nd:YAGやNd:YVO₄マイクロチップレーザーの共振器内にKTP結晶を導入し、二倍波を得る方法は小型の構成で、縦、横単一モードで出力数mWのグリーン光を容易に得ることができる⁴⁾。図1は直径10mmの円筒型ハウジングに収めたグリーン光発生装置(出力4.4mW)である⁵⁾。回折格子をフィードバックに用いることにより固体レーザー励起用半導体レーザーの発振波長を温度的にも時間的にも安定化させることに成功した報告もでて⁶⁾。その構成を図2に示す。波長変換法によるグリーン光は光ディスクメモリ用光源として実用化に近い状態にある。



(a) 構成図



(b) 外観

図1 内部共振器型小型グリーンレーザー⁵⁾

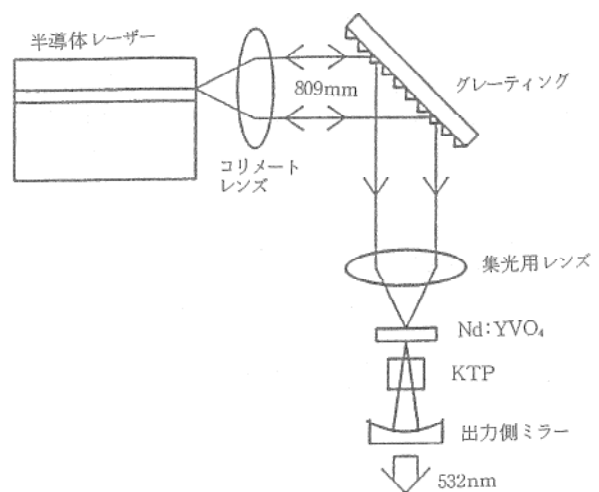


図2 Nd:YVO₄, KTP, 回折格子の組合せによる内部共振器型グリーン光発生構成図⁶⁾

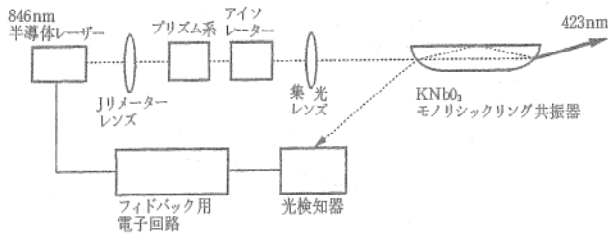


図3 KNbO₃リング型モノリシック外部共振器方式によるブルー光発生実験⁸⁾

これに対して共振器の中に非線形光学結晶を置き二倍高調波を発生させる外部共振器法も高効率波長変換が得られる。図3は波長変換に長さ7mmのKNbO₃リング型モノリシック共振器を用いた外部共振器方式によるブルー光発生装置である⁷⁾。この方法では半導体レーザーと外部共振器の波長を一致させることが重要で、このためKNbO₃共振器から戻ると半導体レーザー発振光との周波数を電子回路を用い、フィードバックをかける。KNbO₃共振器への入力光105mWに対し波長428nmで41mWの出力と高変換効率($\eta=39\%$)が得られている。しかしこのフィードバック系が装置を複雑にし、かつ小型化をはばんでいる。

(2) 擬位相整合法と導波路を用いる方法

ドメイン反転を利用した擬位相整合(Quasi-Phase Matching: QPM)法による二倍高調波発生の研究が盛んである⁸⁾。導波路を用いた擬位相整合法による二倍高調波発生用デバイスの概念図を図4に示す。導波路内に光を閉じ込

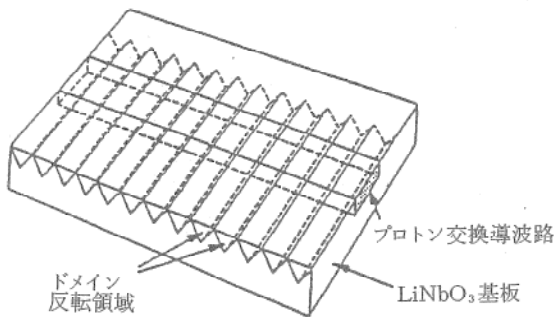


図4 ドメイン反転を用いた擬位相整合法によるLiNbO₃導波路型二倍高調波発生用デバイス

めることで非線形効果を強めている。LiNbO₃やLiTaO₃は一軸性の強誘電体結晶であり、イオン拡散、電子ビーム照射、電界印加などによりc軸を反転できる。数ミクロン毎に反転した構造のものにレーザー光を通すことにより擬似的に位相整合をとることができる。原理は1960年代に提案されていたものであるが、デバイスをつくるにはミクロン精度の技術が要求されるため今まで殆ど報告が無かった。最近のLSI半導体製作技術の発達により製作可能となった。文献6)の光フィードバック法を用い、44mWの半導体レーザー光に対して波長429nm, 出力3.1mWが安定に得られている⁹⁾。

3. あとがき

II-VI族半導体レーザーに先んずるためにはデバイスを小型、簡便、低価格にする必要がある。この意味で内部共振器法によるグリーン光発生は一応実用化に近い所まで来ているといえる。また擬位相整合法を用いた導波路型ブルー光発生法もかなり実用に近いといえる。このような開発過程とグリーン・ブルー光に対するニーズから見て、波長変換による方法はII-VI族半導体レーザーが実用化されるより先に光メモリなどの分野に採用される可能性が強いと筆者は考えている。

参考文献

- 1) M. A. Haase, J. Qui, J. M. Depuidt and H. Cheng : Appl. Phys. Letters **59** 1272 (1991).
- 2) 佐々木孝友 : 応用物理, **58** 895 (1989)
- 3) 佐々木孝友 : 「高輝度青色発光のための電子材料技術」第4部, 第3章, 平木昭夫監修, サイエンスフォーラム社発行(1991)
- 4) T. Sasaki, T. Kojima, A. Yokotani, O. Oguri and S. Nakai : Opt. Lett. **16** 1665 (1991)
- 5) A. Ishimori, T. Yamamoto, M. Irie, T. Uchiumi and A. Shima : *Technical Digest of Advanced Solid State Lasers*, Santa Fe, Feb. TuC3, p182 (1992).
- 6) Y. Kitaoka, S. Ohmori, K. Yamamo-

- to, M. Kato and T. Sasaki : *Digest of Topical Meet. of 2nd Compact Blue-Green Laser*, New Orleans, **JWB3** p.402 (1993).
- 7) W. J. Kozlovsky, W. Lenth, E. E. Latta, A. Moser and G. L. Bona : *Appl. Phys. Lett.* **56** 2291 (1990).
- 8) 栖原敏明, 藤村昌寿, 西原浩 : *O plus E*, 4月号, p60 (1993).
- 9) K. Yamamoto, K. Mizuuchi, Y. Kitaoka and M. Kato : *Digest of 2nd Topical Meet. of Compact Blue Green Lasers*, New Orleans, **CTHA5**, p480 (1993).

