

P2

ライダー用小型QスイッチSHG・Nd:YVO₄レーザー

Q-switched and Intracavity Frequency Doubled Nd:YVO₄ Lasers for Laser Radar Application

福井大学工学部

平等 拓範・鈴木 剛・小林 喬郎

Faculty of Eng., Fukui Univ., T. Taira, T. Suzudo, and T. Kobayashi

An intracavity frequency-doubled and Q-switched Nd:YVO₄ laser is developed for laser radar applications. In this laser, an intracavity KTP crystal used as both an electro-optic Q-switch and a frequency doubler. A Q-switched pulse with a peak power of 230 W and pulse width of 8 ns was obtained with a 0.9 W diode laser. This laser has compact and lightweight features suitable for applications to compact Mie scattering lidars.

1. はじめに

これまで、ライダーの光源としては、主にフラッシュランプ励起固体レーザーが用いられてきたが、これらの装置では光源が大型で低効率であるため、広い実用性の大きな障害となっていた。一方、開発の著しい半導体レーザー (LD) 励起固体レーザーは、高効率、高安定及び装置全体の小型化が可能であるなどの優れた特長を有している。また、多くの固体レーザーは赤外域に発振波長を持ち、高感度の光検出器を利用できないため非線形波長変換装置を用いて可視域に変換するなどの工夫がなされていた。そこで我々は、小型、可搬型ライダーの光源に利用することを目的として超小型のQスイッチ・SHGレーザーの開発を行った。ここでは、装置の高性能化のため非線形波長変換を行うKTP結晶でQスイッチ動作も同時に行わせることを検討した。

2. KTPによるQスイッチ・SHG複合動作の原理

最近、SHGやOPOに多用されているKTP (KTiOPO₄) は斜方晶系 *mm*-2 に属する2軸性の非線形光学結晶で、タイプIIの位相整合の場合、ウォークオフ角が小さいだけでなく、実効非線形係数がKDPの約10倍と大きく、0.35~4.5μmと可視から赤外域までの広い領域で損失が低い特長を有している。また、レーザー光に対する破壊閾値も1GW/cm²程度と高く、電気光学定数もLiNbO₃の約2倍程度と高いため、Qスイッチ素子や電気光学素子としても注目されつつある^{1,2,4,5}。

一般に、タイプIIの位相整合でSHGを行う場合、非線形光学結晶を透過した基本波はリタデーションを受ける。KTPは、角度許容幅が広いいためSHG位相整合幅内で基本波に対して種々の波長板として動作させることができる³。同様のことが、温度や電気光学効果を利用して可能である^{4,5}。図1に基本波偏光度とSH波出力の印加電圧依存特性の測定結果を示す。ここでは、長さ5.0mm、c軸方向の厚み1.0mm、角度φ=23.4°、θ=90°にカットしたKTPを用いた。実験より、半波長電圧は1560Vであった。このとき、SHG位相整合条件も満たしており、計算とも良く一致した。これらのことより、1つのKTP結晶によりSHG位相整合を行いながら、電気光学効果によるQスイッチが可能であることが分かる。

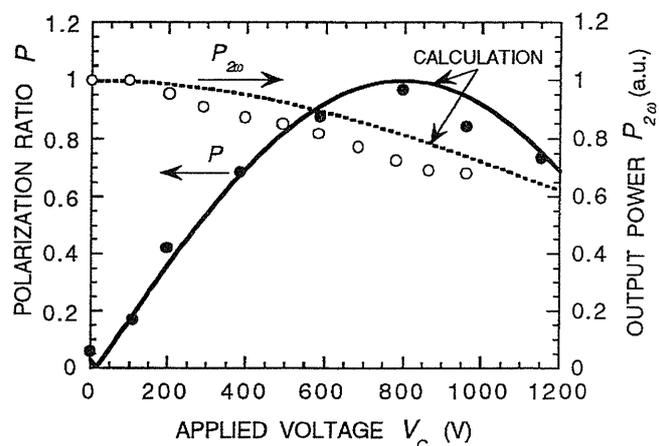


図1 基本波位相変化量とSHG不整合量の印加電圧依存特性

3. 装置構成

図2にQスイッチ・SHG複合動作の可能な小型Nd:YVO₄レーザーの構成を示す。出力1WのLDをNd:YVO₄結晶(1mm、Nd濃度1.1at.%)に約50μmまで近接させ励起を行った。このときLDの偏光方向はNd:YVO₄のc軸方向に平行(π偏光)とした。共振器内部には、先の予備実験に用いたKTP結晶を配置した。曲率50mmの鏡を用いて共振器間隔を21mmとした。この構成において、1064nmの基本波は共振器内部に閉じ込められ、532nmのSH波のみが外部に取り出される。

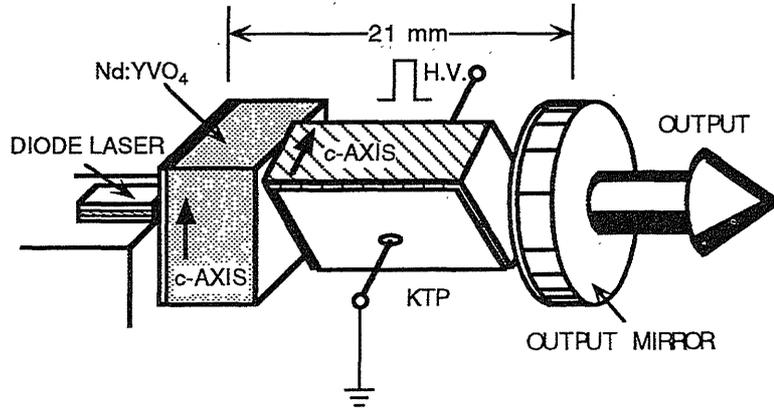


図2 共振器内部SHG型Qスイッチレーザーの装置構成

4. 共振器内部SHG及びQスイッチ複合動作特性

まず、KTP結晶に電界を印加しない状態で結晶が基本波に対してλ/4板として働くように入射角、温度を制御する。Nd:YVO₄のc軸に直交方向の誘導放出断面積は小さく、偏光素子を用いたのと等価なため、レーザー発振が抑圧される。V_{π/2} = 750~800Vを印加時にはλ/2板となるためレーザー発振に至る。このとき、SHG位相整合も可能であり、結果としてQスイッチとの複合動作が行える。繰り返しは100Hzとした。Qスイッチ型内部SHGレーザーのSH波出力パワーとパルス幅の励起パワー依存特性を図3に示す。900mW励起時にパルス幅8ns、SH波ピークパワー230Wの出力が得られた。CW発振での出力は105mWだったためSH波パワーはCWレベルに比べ約2000倍高まったことになる。このとき、出力エネルギーは1.6μJであった。出力エネルギーの最大値は2.7μJであり600mW励起時に得られている。強励起時に見られる飽和傾向はQスイッチ時の周波数チャープングのためと原因と思われる¹⁾。

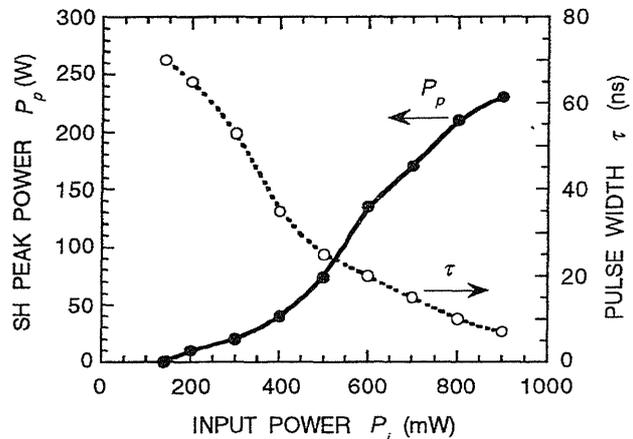


図3 SH波尖頭出力値とパルス幅の励起パワー依存特性

5. まとめ

以上、可搬型ミュー散乱ライダーの光源として応用可能な可視域の超小型Qスイッチレーザーの原理と発振特性について述べてきた。これまでのところ、SH波尖頭値出力は230Wが得られているが、本質的にはkW以上の出力が望める。現在、結合係数を最適化するKTPの結晶長、Qスイッチの切れを良くするためと高繰り返し化のための複合共振器構成について検討を進めている。

- 文献 1) T. Chuang, A. D. Hays and H. R. Verdun, Appl. Opt, 33, 8355-8360 (1994).
 2) C. A. Ebberts, Y. Toratani, K. Sato, K. Okada, in Conference on Lasers and Electro-Optics, Vol. 8 of 1994 OSA Technical Digest Series (Optical Society of America, Washington, D.C., 1994), paper CFF1.
 3) T. Taira, T. Sasaki, and T. Kobayashi, Trans. IECE, J74-C-I, 331-339 (1991).
 4) T. Taira and T. Kobayashi, IEEE J. Quantum Electron., 30, 800-804 (1994).
 5) T. Taira and T. Kobayashi, Appl. Opt., 34, 4298-4301 (1995).