

A2

コヒーレント方式レーザ高度計の 送信用 Nd:YAG レーザの開発

Nd:YAG laser transmitter for coherent laser altimeter

石津 美津雄

Mitsuo Ishizu

郵政省通信総合研究所

Communications Research Laboratory MPT

ishizu@crl.go.jp

Abstract: A new design of a diode-pumped, Q-switched, miniature Nd:YAG laser is developed for a laser altimeter which incorporates a coherent detection technique in the receiver. The laser cavity consists of two crossed Porro prisms in which Q-switched twist-mode laser oscillations are excited without any use of retardation plates. This configuration eliminates the spatial hole burning and generates laser pulses of high beam quality in TEM₀₀ mode.

1. はじめに

レーザ高度計はステレオ画像処理や合成開口レーダのように複雑な演算処理が不要で、受信パルス波形から求めた地上の物体の高度分布の物理的解釈が明解であるため、精密標高地図作製のほか植生調査や土地利用調査などにも応用されようとしている。衛星搭載計画では、NASA の火星探査機が 2 回送られ、地球の極域氷床観測や熱帯雨林等の森林観測のために地球観測衛星が計画されている。我々はこれまで、航空機搭載高度計を用いて 1993 年からオホーツク海の流水観測を行い、流水分布について新しい知見を得ることができた。

レーザ高度計の eye-safety 化や衛星搭載を考慮すると、波長 1.5 μ m 以上のレーザを用いて受信器も高感度化する必要がある。このため我々はコヒーレント検出方式の高度計を開発中である。コヒーレント化により avalanche photo diode を用いた装置の精度を遥かにしのぐ高精度が得られ、eye-safety 化することが容易になる。各部の試作を現在進めていおり、本報告ではコヒーレント高度計の送信レーザ用の小型の Nd:YAG レーザの試作の結果について述べる。

2. コヒーレント高度計の送信用レーザ

送信用レーザは、パルス周波数 200Hz 以上で、基本横モード・縦単一モード発振し、周波数安定のため注入動機ができる小型のレーザが必要である。このパルス周波数はちょうど、フラッシュランプ励起と連続励起パルス発振レーザの周波数の間隙に位置し、市販品はほとんどないため試作することにした。発振波長は eye-safety からは 1.5 μ m 以上の Er や Tm を活性元素とするレーザが最適であるが、これらのレーザ制作技術は開発段階にあるため、Nd:YAG レーザで試作することにした。コヒーレント化による感度向上

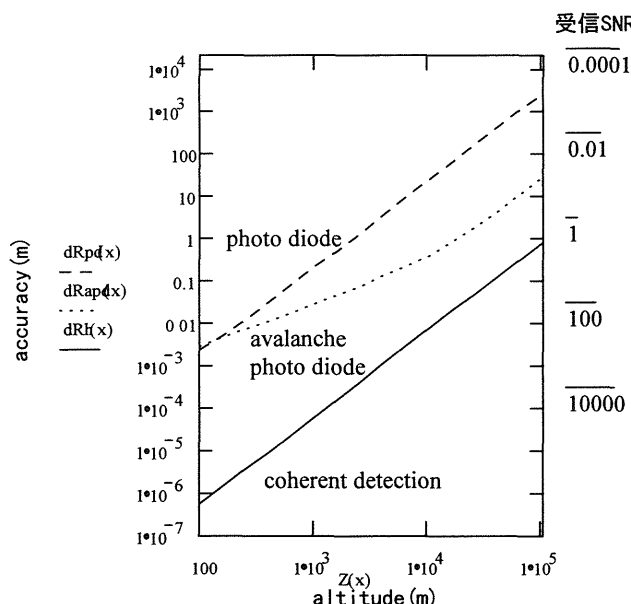


Fig. 1 高度計の精度と飛行高度

で送信エネルギーを低く押さえられ、航空機搭載の eye-safety は確保できる。

送信レーザのパルスエネルギーとパルス幅を、1mj、6.7ns、送受信望遠鏡の口径を 10mmφ、検出器の量子効率を 80%とした場合、photodiode、avalanche photodiode、コヒーレント検出の 3つの検出方法で、高度精度を飛行高度に対して求めたグラフを図 1 に示す。精度を低下させる雑音源には背景光と信号光、および、暗電流による shot 雑音と増幅器雑音を考慮し、レーザ光の大気減衰は無視した。高度 1km で精度はそれぞれ、30cm、4cm、0.1mm で、avalanche diode でも精度 5cm を維持できる。従って航空機観測の高度ではコヒーレント化する必要はないといえる。しかし、衛星高度 400km では送受信口径を 10cmφ に拡大して、同じ計算で精度は 210m、3.6m、8.3cm になり、装置の重量と消費電力の軽減が重要な衛星ミッションではコヒーレント化が断然有利である。

3. Nd:YAG レーザの試作

開発したレーザの構成図を図 2 に示す。共振器は対向した 2 個のポロプリズムで構成され、その中に半導体レーザ励起の YAG ロッドと、Qスイッチの LiNbO₃ 結晶と偏光ビームスプリッタ(BS)が入る。Qスイッチ側のポロプリズムは 45 度傾けられ、スイッチ閉時は入射する直線偏光の偏光面を 90 度回転させ、Qスイッチ開時の円偏光には反対回転の円偏光を反射するので、波長板が不要である。プリズム内のフレネル反射によるわずかな位相シフトは、Qスイッチの調整で補正でき、出力の結合度は反対側のプリズムの傾きで調整され、BS から出力が取り出される。

コヒーレント受信方式に必要な周波数の安定化は、BS の出力ビームの反対側から注入同期光を入射する。YAG ロッド内の発振光はツイストモードになるので空間ホールバーニングを防止でき、注入同期をかけることで安定な発振スペクトルが得られる。この構成はよく知られた Z 型共振器と同様の安定性を持ちながら、発振パルスの単一周波数化ができる部品数の最小の構成である。

また、出力側ポロプリズムの前にキャビティダンピング用の結晶を置いて、サブナノ秒の発振パルスを得ることも可能である。

YAG ロッドは 3φ×30 mm の大きさの結晶を用い、SDL 社の SDL-3231-A6 (360W) 2 個をロッド側面に置いて励起した。ロッド側面の

反対側は銅ブロックに接触させ、ロッドを冷却している。半導体レーザの冷却は放熱フィンによる自然空冷である。レーザ出力は、パルス周波数 200Hz の時、出力 5mj でパルス幅 8ns が得られた。出力パルスの遠視野像を図 3 に示す。ポロプリズムの交差角とQスイッチ端面のダメージスポットのために、かすかに 3 回対称性が現れているが、ほとんどガウスビームに近い。また、近視野像ではポロプリズムの稜線とロッドの縁によるわずかな回折線と回折円がみられる。これからビーム全面で同一位相の発振が得られていることが結論される。

4. まとめ

小型で高安定・高ビーム品質のQスイッチ出力パルスが得られる共振器を考案し、レーザを試作した。高度計に組み込んだ試験では、-10 度Cにレーザが冷却された状態でも、通常の室温と変わらないビームが得られ、安定性の高さが確認できた。今後、注入同期、キャビティダンピング化して、スペクトル安定化とサブナノ秒パルス発生を目指している。

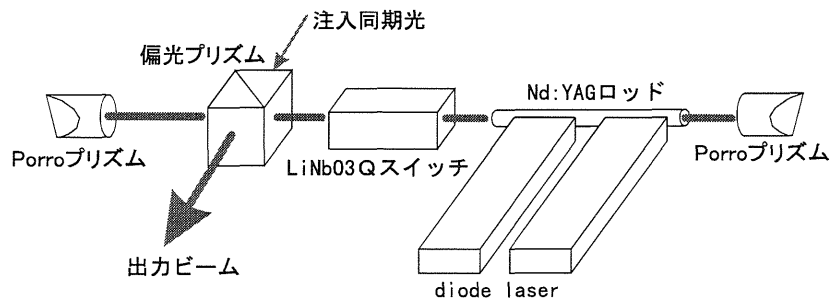


Fig 2. Q-スイッチ・ツイストモード・不安定共振器Nd:YAGレーザ

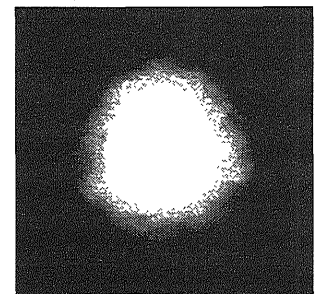


Fig.3 レーザパルスの遠方視野像