

コヒーレントドップラーライダー用の 光導波路型増幅器の設計

Design of an Optical Waveguide Amplifier for a Coherent Doppler Lidar

関浩二¹, 崎村武司¹, 安藤俊行¹, 亀山俊平¹, 浅香公雄¹, 平野嘉仁¹,
田中久理², 井之口浜木²

Kouji Seki¹, Takeshi Sakimura¹, Toshiyuki Ando¹, Shumpei Kameyama¹,
Kimio Asaka¹, Yoshihito Hirano¹, Hisamichi Tanaka², Hamaki Inokuchi²

¹三菱電機株式会社, ²宇宙航空研究開発機構

¹ Mitsubishi Electric Corporation, ² Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)

Abstract

Improvement in output power of a laser transmitter have been required for a wind turbulence sensing system with an airborne coherent Doppler lidar in order to develop its detection range. Since an optical fiber amplifier have limitation of output power because of a stimulated Brillouin scattering (SBS), we have designed an optical waveguide amplifier, which allows higher output power than that of an optical fiber amplifier. In this report, we report preliminary results of design of the optical waveguide using Er, Yb co-doped glass. Designated values for waveguide cross section, waveguide length, Er³⁺ density, required pump power was estimated to be 0.175 mm², 22 cm, 6 × 10²⁵ ions/m³, 71 W, respectively.

1. はじめに

航空機搭載コヒーレントドップラーライダーを用いた乱気流検出装置において、検出可能距離の長距離化が望まれており、レーザ送信部の高出力化が必要である。一般的な光ファイバ増幅器では、光ファイバのモードフィールド直径が数 μm～数十 μm であり、光ファイバ内に蓄積できるエネルギーが小さいため、高いパルス出力を得るためには光ファイバ長を数 m～数十 m と長くする必要があり、このとき、誘導ブリュアン散乱 (SBS) によって、パルスのピークパワーが数百 W に制限され、パルス幅が数百 ns の場合では、パルス出力が数百 μJ に制限される。そこで、光ファイバ型増幅器よりも 1 桁大きなパルス出力を得る増幅器 (出力～数 mJ、繰り返し～数 kHz、パルス幅～数百 ns) の開発を進めている。ここでは、光ファイバよりも大きなエネルギーを蓄積できる光導波路を利得媒質とした増幅器の概念設計の結果を報告する。

2. 設計方法

本設計では、光導波路の材料として Er、Yb を共添加したガラス導波路を用いた。励起光の波長を 940 nm、信号光の波長を 1550 nm とした。導波路中の Yb³⁺イオン濃度を 1.5 × 10²⁷ 個/m³ とした。導波路長の短距離化と所要励起パワーの省力化を目標として、以下の手順で、導波路の断面積、導波路長、Er³⁺イオン濃度、所要励起パワーの設計値を見積もった。増幅器で得られる出力の計算には Frantz-Nodvik の計算式を用いて、所望の出力エネルギーを得るのに必要な小信

号利得 G_0 を計算した[1]。Er³⁺イオン濃度、および、全 Er³⁺イオンのうち上準位にいるイオンの割合 β から導波路の小信号利得係数 g_0 を計算し、必要な導波路長 $L = \ln(G_0) / g_0$ を計算した。また、所要励起パワーの計算では、Er³⁺、Yb³⁺イオンのレート方程式において、Yb³⁺の吸収遷移の上準位と Er³⁺のレーザ発振の上準位が定常状態にあるとした。ここでは、計算の簡略化のために、レート方程式において比較的寄与の小さい、Er³⁺の上準位におけるアップコンバージョン過程と、Er³⁺による励起光の直接吸収過程を無視した。更に、本設計では、光学系のダメージ閾値と、熱衝撃破壊の閾値による、光エネルギー密度の制限を考慮した。

3. 設計結果

前節の設計方法を用いて、入力光のエネルギーが 0.35 mJ、出力光のエネルギーが 3.5 mJ の場合の、導波路の断面積、導波路長、Er³⁺イオン濃度、所要励起パワーを見積もった。光学系のダメージ閾値を 2 J/cm² と考えて、導波路の断面積の設計値を 0.175 mm² とした。図 1 に、Er³⁺イオン濃度に対する、励起パワーと導波路長の計算結果を示す。Er³⁺イオン濃度が 5×10^{25} 個/m³ よりも高くなると所要励起パワーの減少が緩やかになること、Er³⁺イオン濃度が高くなるにつれて Er³⁺のアップコンバージョン過程や直接吸収過程の影響が大きくなることと、過去の開発実績を考慮して、Er³⁺イオン濃度の設計値を 6×10^{25} 個/m³ とした。図 2 に、全 Er イオンのうち上準位にいるイオンの割合 β に対する、励起パワーと導波路長の計算結果を示す。図 2 から、所要励起パワーを最小とする $\beta = 0.85$ の条件において、導波路長の設計値を 22 cm、励起パワーの設計値を 71 W とした。

4. まとめ

光ファイバ型増幅器よりも 1 桁大きなパルス出力を得る増幅器の開発を目的として、光導波路を利得媒質とした増幅器の概念設計を行った。入力光のエネルギーが 0.35 mJ、出力光のエネルギーが 3.5 mJ の場合の、Er、Yb を共添加したガラス導波路の設計値を、断面積 0.175 mm²、導波路長 22 cm、Er³⁺イオン濃度 6×10^{25} 個/m³、所要励起パワー 71 W、と見積もった。今後、この結果をもとに、詳細設計を行う。

【参考文献】

- [1] L. M. Frantz, J. S. Nodvik, J. Appl. Phys., 34, 2346 (1963)

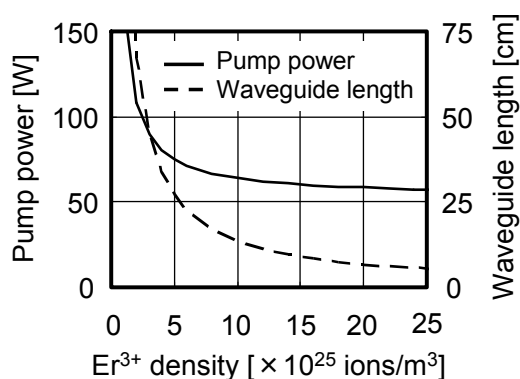


Fig.1 Dependence on Er³⁺ density

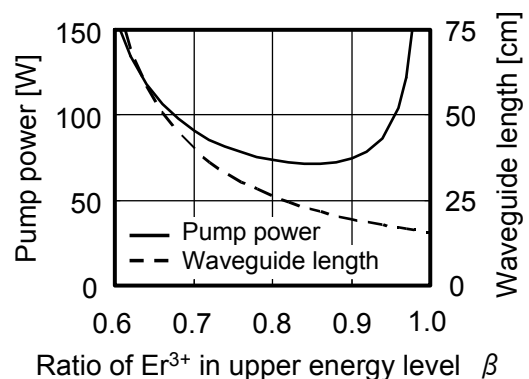


Fig.2 Dependence on ratio of Er³⁺ in upper energy level