

コヒーレントドップラーライダー用高平均出力 1.55 μm 帯 Er,Yb:glass 平面導波路型増幅器の開発

Development of a 1.55- μm high-average power laser amplifier using an Er,Yb:glass planar waveguide for coherent Doppler LIDAR

崎村武司¹、渡辺洋次郎¹、安藤俊行¹、亀山俊平¹、浅香公雄¹、田中久理¹、柳澤隆行¹、平野嘉仁¹、井之口浜木²

¹三菱電機株式会社、²宇宙航空研究開発機構

Takeshi SAKIMURA¹, Yojiro WATANABE¹, Toshiyuki ANDO¹, Shumpei KAMEYAMA¹, Kimio ASAKA¹,
Hisamichi TANAKA¹, Yoshihito HIRANO¹, Hamaki INOKUCHI²

¹Mitsubishi Electric Corporation, ²Japan Aerospace Exploration Agency(JAXA),
e-mail: Sakimura.Takeshi@ct.MitsubishiElectric.co.jp

Abstract: We have developed a 1.55- μm high-average power laser amplifier using an Er,Yb:glass planar waveguide for a coherent Doppler LIDAR. Large cooling surface of the waveguide realized high-average power pumping for Er,Yb:glass which has low thermal fracture limit. Multi-bounce optical path configuration and high-intensity pumping provide high-gain operation in spite of the small stimulated emission cross section of Er ion. With pulsed operation, the maximum amplified signal power was 7.6-W with the amplified gain of more than 20 dB. The pulse energy of 1.9-mJ was achieved at the repetition rate of 4-kHz.

1. はじめに

コヒーレントドップラーライダー (CDL) は遠隔の風速場を計測できる測器として、気象学研究、航空機が誘発する後方乱気流の検出、さらに航空機前方の晴天乱気流 (CAT) 検出など多方面への応用が期待されている。三菱電機ではアイセーフ波長 1.5 μm を測定光に用いた CDL を世界に先駆けて開発し[1]、これまでに光回路を光ファイバ部品により構成した光ファイバ型ライダー[2]、および光パラメトリック増幅器を用いた長距離計測用の大型ライダー装置の製品化に至っている[3]。また、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) と共同して晴天乱気流を検出するための航空機搭載型 CDL の開発を行っている[4]。

航空機搭載型 CDL では、航空機の巡航高度である上空 10km において機体前方 5NM (Nautical Mile、距離 9.3km) 以上の風速計測が必要とされている。回線計算の結果から、CDL には 1.75mJ (繰り返し周波数 4kHz) の送信光パワーが要求される。このため、CDL 送信光の増幅器として高ピークパワー出力が可能な光ファイバ増幅器を開発し[5]、さらに最終段の増幅器として高出力平面導波路型増幅器の開発を行ってきた。

これまでに、Er,Yb 添加リン酸ガラス (Er,Yb:Glass) を用いたダブルクラッド型スラブ導波路において、信号光を反射コートにより導波路内部で複数回反射させ、折り返し反射によって往復光路で出力させる構成により、平均パワー約 4.7W (パルスエネルギー 1.18mJ) の信号光出力を実証した[6]。この導波路では、波長 1535nm 帯の自然放出光の増幅 (ASE) により信号光に対する利得が減少し、信号光の出力パワーが制限されるため、励起光を増加しても信号光出力が増加しないという問題があった。今回、反射コートの波長特性によって ASE に対して損失を与えることにより ASE を抑制し、さらに、導波路形状の最適化を行うことにより、Er,Yb:Glass では世界最高出力となる 1550nm 帯信号光の高出力化動作を実証したので報告する。

2. 増幅器構成および反射コートによる ASE の抑制

Fig.1 に導波路型増幅器の構成を示す。導波路の側面に AR コーティングを施し、アレイ状に配置した波長 940nm 帯 LD の出力ファイバを近接配置することにより励起光を入力した。信号光 HR 面の微小角により、導波路内部で信号光を複数回反射させ、折り返し反射により同一光路で往復させて出力させる構成とした。入力する信号光と出力される信号光は同軸となるため、偏波ビームスプリッター (PBS) およびファラデーローテータ (FR) を用いた偏波分離系により光路を分離した。また、半波長板 (HWP) を用いることにより、導波路に入射する信号光の偏光方向を調整した。

Er,Yb:Glass は波長 1535nm 帯に利得のピークを有する。Fig.2 に波長 1550nm の信号光および波長 1535nm の ASE について、伝搬長に対する増幅率を計算した結果を示す。導波路内部で 1 回反射するまでのパス長 23mm において、信号光および ASE の増幅率はそれぞれ 1.51、2.28 となった。信号光の増幅率は ASE の増幅率の 66%となっている。ASE に対する反射率を 66%以下にすることにより、ASE の

増幅率を信号光の増幅率よりも小さくすることができ、ASE を抑制することができる。ここでは、波長特性のばらつきを考慮し、1535nm 帯の反射率を 60%以下に低下させたコーティングを行った。

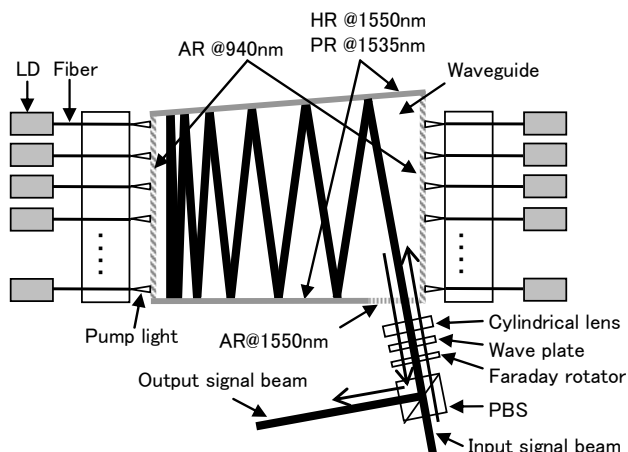


Fig.1 Amplifier configuration (over view).

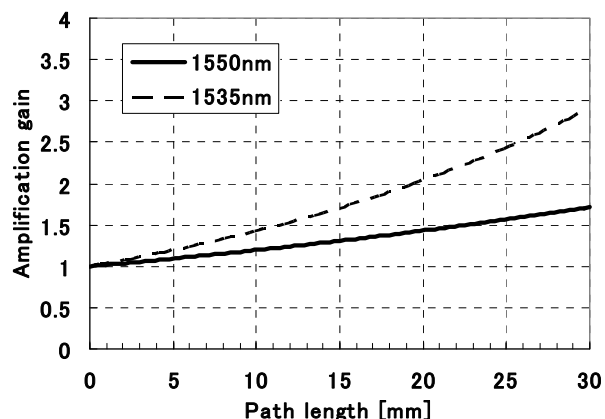


Fig.2 Calculated amplification gain.

3. 増幅特性の評価結果

導波路に 1549nm のパルス信号光を入射し、増幅特性を評価した。Fig.3 に、出力光のスペクトルを示す。1535nm 帯の ASE 抑制に成功し、代わりに 1543nm 帯の ASE が発生した。1543nm 帯の ASE は利得が小さいため、信号光よりも強度は小さくなっている。Fig.4 に、信号光平均出力パワーの測定結果を示す。最大で平均出力 7.6W (パルスエネルギー1.9mJ) が得られ、ASE 抑制効果と導波路形状の最適化により目標出力である 1.75mJ 以上を達成した。

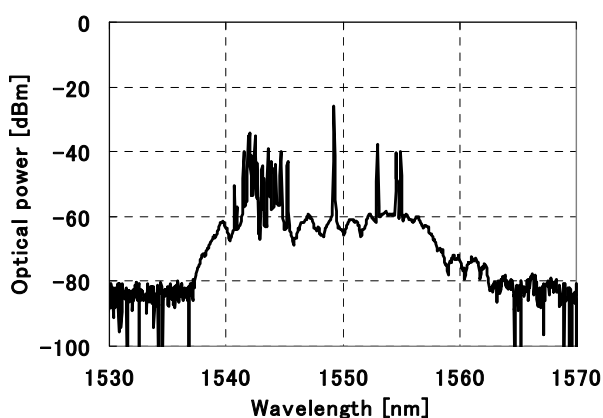


Fig.3 Spectrum of output signal light.

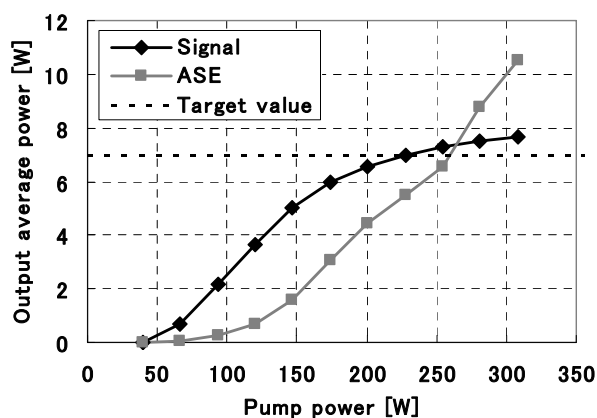


Fig.4 Input output characteristics.

4. まとめ

Er,Yb:Glass を用いた平面導波路型増幅器において、反射コートの波長特性によって損失を付加することにより ASE を抑制し、導波路形状を再設計することにより、パルス信号光の増幅出力として平均出力 7.6W (パルスエネルギー1.9mJ) が得られた。本開発結果により、Er,Yb:Glass を用いた 1.5 μ m 帯レーザとして世界最高出力を達成した。

参考文献

- [1]. K. Asaka et al.: "1.5- μ m Coherent Lidar Using Injection-seeded, LD pumped Er,Yb:Glass Laser", Proc. of 10th CLRC (1999)
- [2]. S. Kameyama et al.: "Compact all-fiber pulsed coherent Doppler lidar system for wind sensing", Appl. Opt., 46, pp.1953 (2007)
- [3]. K. Asaka et al.: "1.5- μ m eye-safe coherent lidar system for wind velocity measurement", Proc. SPIE, 4153, pp.321 (2001)
- [4]. 浅香他:「航空安全のための搭載型風計測ライダの開発」、第 24 回レーザセンシングシンポジウム予稿集, pp.61 (2005).
- [5]. 安藤他:「中距離版・全光ファイバ型風計測ドップラライダの開発」、第 25 回レーザセンシングシンポジウム予稿集
- [6]. 崎村他:「コヒーレントライダ用の高ピークパワー光導波路型増幅器」、第 27 回レーザセンシングシンポジウム予稿集