

# 1.55 $\mu$ m 帯 Er,Yb:Glass 導波路型増幅器を用いたコヒーレントドップラライダ

## Coherent Doppler LIDAR using Er,Yb:Glass waveguide amplifier at wavelength of 1.55 $\mu$ m

崎村武司<sup>1</sup>、安藤俊行<sup>1</sup>、亀山俊平<sup>1</sup>、浅香公雄<sup>1</sup>、田中久理<sup>1</sup>、柳澤隆行<sup>1</sup>、平野嘉仁<sup>1</sup>、井之口浜木<sup>2</sup>

<sup>1</sup>三菱電機株式会社、<sup>2</sup>宇宙航空研究開発機構

Takeshi SAKIMURA<sup>1</sup>, Toshiyuki ANDO<sup>1</sup>, Shumpei KAMEYAMA<sup>1</sup>, Kimio ASAKA<sup>1</sup>,  
Hisamichi TANAKA<sup>1</sup>, Yoshihito HIRANO<sup>1</sup>, Hamaki INOKUCHI<sup>2</sup>

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

**Abstract:** We have developed a planer waveguide laser amplifier operating at 1.55 $\mu$ m by using Er,Yb co-doped phosphate glass. Multi-bounce optical pass configuration provides high gain operation and the amplified signal energy of 1.1mJ was achieved at PRF of 4kHz. We applied the amplifier to a coherent Doppler LIDAR and demonstrated wind velocity measurement at the range of more than 11km.

### 1. はじめに

コヒーレントドップラライダ (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) 検出など多方面から期待されている。三菱電機ではアイセーフ波長 1.5 $\mu$ m 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[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おり、回線計算より CDL には 1.75mJ (繰り返し周波数 4 kHz) の送信光パワーが要求されている。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平面導波路型増幅器 (Optical Waveguide Amplifier: WGA) の開発を行ってきた。WGA では、Er,Yb 添加リン酸ガラスをコア材に用いた平面型の導波路構造と、信号光を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させて出力させる構成により、平均出力パワー約 4.7W (パルスエネルギー1.1mJ) の出力が得られた[6]。

今回、開発した WGA をライダ装置へと適用し、風速測定を行うことにより動作実証を行った。本稿では、WGA を用いたライダ装置の構成および風速測定結果について報告する。

### 2. CDL のシステム構成

Fig.1 に WGA を用いた CDL のシステム構成ブロック図を示す。光送受信ユニット (TRX unit) は、送信パルス種光発生部と光ヘテロダイン受信部により構成される。基準光源として波長 1.55 $\mu$ m 帯の狭線幅光源を使用し、2 分岐した出力の一方を送信用の種光に用い、他方を局発光として用いている。種光は音響光学変調器 (Acousto-Optic Modulator) を用いてパルス化することにより、ヘテロダイン検波における中間周波数を重畳している。パルス種光はユニット内部の EDFA (Erbium-Doped Fiber Amplifier) によりピークパワーを約 5W に増幅し、次段のファイバ増幅器 (Optical fiber Amplifier) への入力光としている。また、光送受信ユニットにはファイバ型偏光コントローラを内蔵しており、次段のファイバ増幅器の出力光が直線偏波となるように入力光の偏光状態を制御している。2 段目の光ファイバ増幅器は、コア径をシングルモード伝搬が可能な最大径にまで拡大したシングルモード型 EDFA であり、入力された種パルス光のピークパワーを約 40W に増幅する。出力端には偏光子を接続し、分岐ポートを偏波モニタ光として使用してモニタ光のピークパワーが最小となるような制御を行っている。光ファイバ増幅器の励起光源には、波長 1.48  $\mu$  m 帯の半導体レーザ (LD) を使用している。光ファイバ増幅器の出力光を導波路型増幅器に入力して増幅させることにより、送信光として使用する。信号光の送受信は、倍率 15 倍 (開口直径 15cm) の望遠鏡 (Telescope) を介して行い、偏光ビームスプリッタ (PBS) と  $\lambda/4$  波長板を用いて送受信光の光路を分離する。受信光は光ファイバに結合して光送受信部に入力し、エアロゾルの散乱によるドップラーシフトで生じるヘテロダイン検出信号を、専用の信号処理装置で解析することにより風速を求めている。

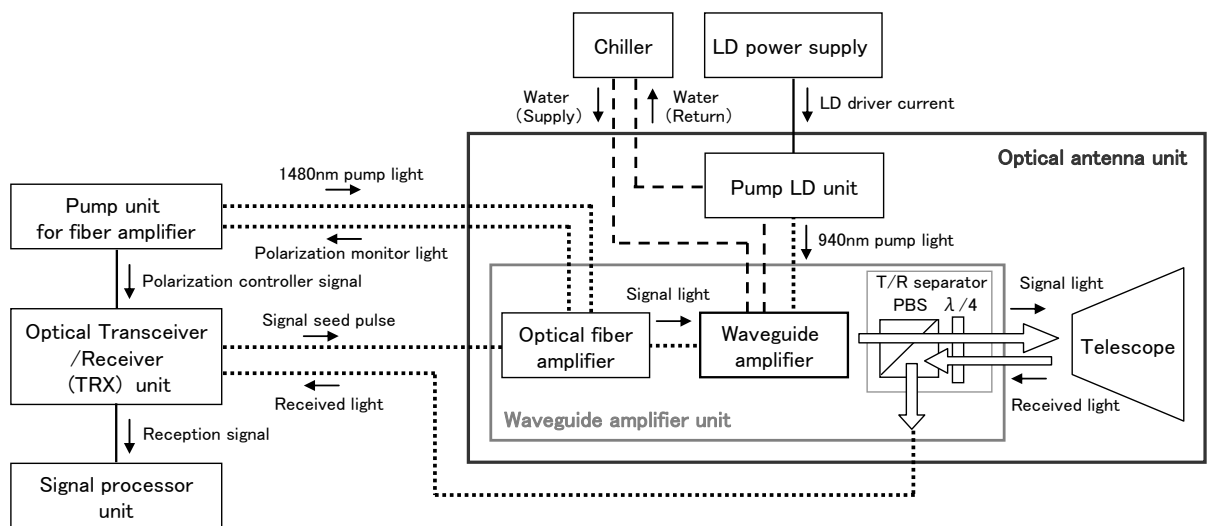


Fig.1 Block diagram of the CDL system using a WGA.

### 3. 風速測定結果

WGA 用いて筐体化し、ライダー装置の光アンテナ部へ組み込みを行った。また、装置一式を連結させて地上での風速測定を実施し、動作確認を行った。ここでは、送信光の平均出力パワーを 0.9W (パルスエネルギー0.23mJ) とする条件で測定した。Fig.2(a)に、WGA を用いた光アンテナ装置の外観写真を示す。また、Fig.2(b)にライダー装置による風速測定結果の例として、視線方向風速 (上段)、およびディテクタビリティ (下段) の距離依存性に関する測定結果を示す。ディテクタビリティは、ドップラースペクトル上での受信 SN 比に相当するものであり、積算回数の 1/2 乗に比例して改善される。Fig.2(b)は、距離分解能 150m、積算回数 4000 における結果である。ディテクタビリティ 4.5dB が約 80% の信号検出確率に相当する。距離 11km 程度までディテクタビリティ 4.5dB 以上が得られており、風速の測定が行えていることがわかる。

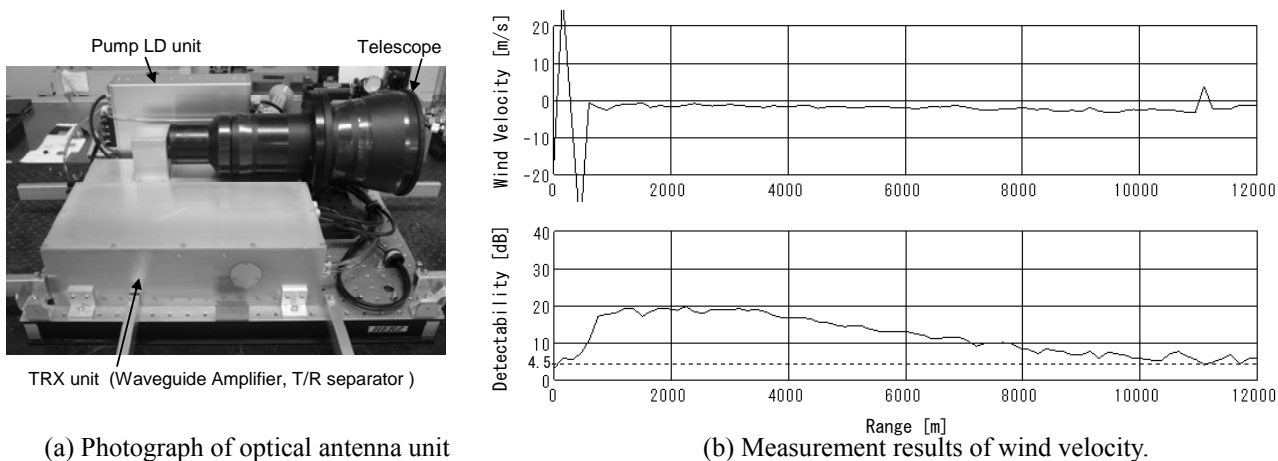


Fig.2 Measurement results by CDL system using a WGA.

### 4. まとめ

WGA を CDL 装置へと適用し、地上での風速測定を行うことにより、導波路型増幅器を用いたライダー装置の動作実証を行った。今後、WGA の更なる高出力化を図り、航空機搭載型 CDL への適用を目指す。

### 参考文献

- [1]. K. Asaka et al.: "1.5-um 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-um 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ーの開発」, 第 24 回レーザー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ーの開発」, 第 25 回レーザー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ー用の高ピークパワー光導波路型増幅器」, 第 27 回レーザーセンシングシンポジウム予稿集