

# 水蒸気計測へ向けた平面導波路型増幅器による

## 1.53 $\mu\text{m}$ 帯高強度増幅

廣澤 賢一<sup>1</sup>, 今城 勝治<sup>1</sup>, 崎村 武司<sup>2</sup>, 亀山 俊平<sup>1</sup>, 柳澤 隆行<sup>1</sup>

<sup>1</sup>三菱電機株式会社 情報技術総合研究所 (〒247-8501 神奈川県鎌倉市大船 5-1-1)

<sup>2</sup>三菱電機株式会社 通信機製作所 (〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町 8-1-1)

### Planar waveguide amplifier for high energy amplification of 1.53 $\mu\text{m}$ laser toward water vapor measurement

Kenichi HIROSAWA<sup>1</sup>, Masaharu IMAKI<sup>1</sup>, Takeshi SAKIMURA<sup>2</sup>, Shumpei KAMEYAMA<sup>1</sup>, and Takayuki YANAGISAWA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mitsubishi Electric Corporation Information Technology R&D Center, 5-1-1 Ofuna, Kamakura 247-8501

<sup>2</sup>Mitsubishi Electric Corporation Communication System Center, 8-1-1 Tsukaguchi-honmachi, Amagasaki 661-8661

We have developed a ground based coherent differential absorption LiDAR for water vapor density (water vapor DIAL) using eye-safety telecom wavelength. There are few absorption lines with moderate cross-section in telecom wavelength, and we selected 1531.382 nm and 1531.555 nm for the ON and the OFF wavelength of the water vapor DIAL, respectively. However, 1531 nm is located at shorter wavelength than zero-phonon line of Erbium doped glass. Amplification for such spectrum range is more difficult than conventional wavelength for telecommunication likes 1550 nm. In this paper, we present high energy amplification at 1531 nm for water vapor DIAL.

**Key Words:** Water vapor, Differential absorption, Coherent, LiDAR

#### 1. はじめに

近年急増している都市型の集中豪雨を予想するために、水蒸気の鉛直分布を高分解能で測定することが必要である。このような測定が可能な手法として水蒸気 DIAL (Differential Absorption Lidar) がある。我々は水蒸気 DIAL を検討するにあたり、昼夜の観測性能が変動せず長期安定性が可能なヘテロダイイン方式を用いることと、アイセーフである 1.5  $\mu\text{m}$  帯光源を用いることとした[1]。

1.5  $\mu\text{m}$  帯の高強度光源としては Er イオンを用いたレーザや増幅器が使用される。しかし、水蒸気 DIAL に適用するに当たってはいくつか課題がある。まず、Er レーザの帯域では水蒸気の吸収が弱いということが挙げられる。比較的強い吸収線は 1531.4 nm と 1528.7 nm に存在するが、この波長は図 1 に示す通り Er の吸収断面積が誘導放出断面積を上回っているため、多くの Er イオンを上準位に励起しなければ増幅が得られない。また、Er レーザとして一般的なファイバレーザでは、ライダに適した狭線幅かつサブマイクロ秒のパルス幅のレーザを高強度まで増幅することが難しい。これは狭線幅かつサブマイクロ秒のパルス幅を持つ光パルスでは誘導 Brillouin 散乱の発生閾値が低くなるためである。

そこで、我々は Er 添加ガラスを用いた平面導波路型レーザ増幅器を使い、1531.4 nm の高強度増幅を行った。平面導波路であれば、ビーム幅を広げることで誘導 Brillouin 散乱の発生を抑制す

ることができる。また、前述のとおり 1531.4 nm の増幅には Er の励起率を高くする必要があり、効率が低くなりやすい。平面導波路構造は排熱に優れているため、熱による破損やビーム品質の劣化という問題が生じにくく、強励起が可能という利点がある。

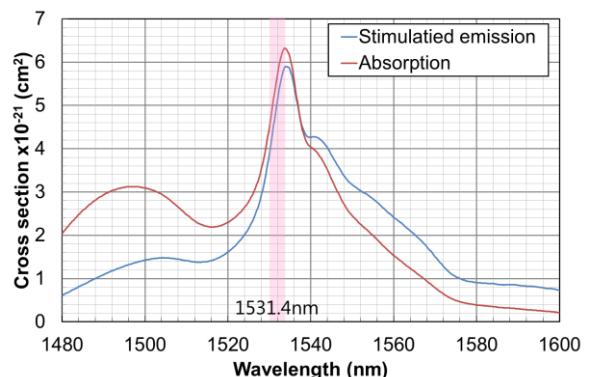


Figure 1. Absorption cross section and stimulated emission cross section of Er doped glass.

#### 2. 平面導波路型レーザ増幅器の詳細

図 2 に水蒸気 DIAL のために開発した平面導波路型レーザ増幅器の詳細を示す。図の下部に示す導波路構造の拡大図の通り、導波路はダブルクラッド構造であり、コア、内部クラッド、外部クラ

ッドから構成されている。コアは Er, Yb 共ドープのリン酸ガラスで、図のようにヒートシンクの非常に近くに配置されており、排熱の点で有利である。内部クラッドはコアと近い屈折率のガラスを使用しており、信号光をコアに閉じ込める役割を果たしている。外部クラッドは励起光を閉じ込める役割のほか、上側の外部クラッドは 8 mm ほどの厚さがあり、導波路の剛性を保つ役割をしている。励起光は波長 940 nm のファイバ結合型レーザダイオードを合計 28 個使用しており、図の左右から導波路の内部クラッドおよびコア部分に結合している。最大励起光強度は合計で約 250 W である。励起光はコアで吸収され、1531.4 nm の信号光增幅のためのエネルギー源となる。信号光は図の通り、手前から入射して奥側に出射する。導波路の手前と奥の側面には、信号光を入出射するための部分を除いて HR コーティングが施されており、信号光は導波路内を何回も反射しながら伝搬する。導波路の外形は 23 mm x 30 mm ほどであるが、この構造により増幅長を長くとることができる[2]。

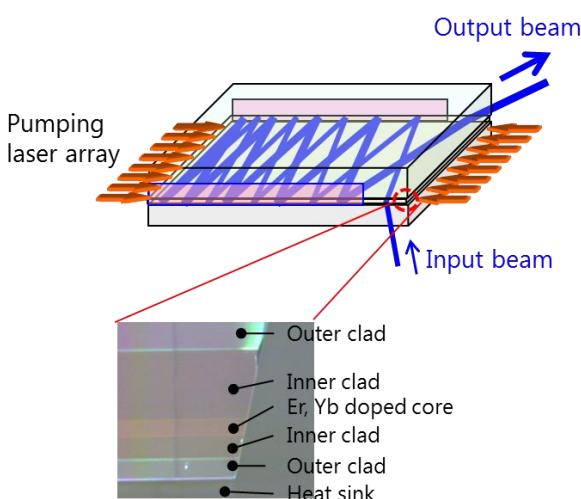


Figure 2. Schematics of the planar waveguide amplifier.

### 3. 出力評価結果

導波路の評価は図 3 のような評価系を用いて行った。シード光は FBG (Fiber Bragg Grating)により周波数安定化したレーザダイオードで線幅は 1 MHz 以下である。シードレーザは AO (Acousto-Optic)変調器でパルス化し、ファイバアンプで増幅した。通常のシングルモードファイバにおける誘導 Brillouin 散乱の閾値はおよそピークパワー 50 W 程度であることから、ファイバアンプでピークパワー 50 W 付近まで増幅を行った。このときパルス幅が 800~900 ns であることから、ファイバアンプ後のパルスエネルギーは 43  $\mu$ J であった。

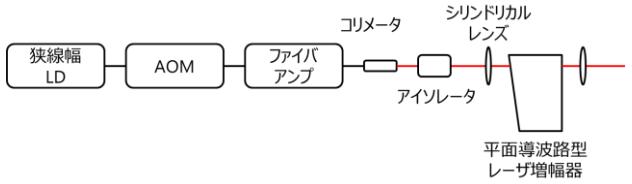


Figure 3. Schematic diagram of experimental setup.

こうして得られたファイバアンプ出力をコリメータでコリメートし、平面導波路型レーザ増幅器でさらに増幅した。結果を図 4 に示す。最終的な出力は 4 kHz 以上であればほぼ一定となりやすい 18 W の出力が得られた。繰り返しが 4 kHz から下がると出力が飽和しやすくなり、1 kHz では最大 7.4 W (= 7.4 mJ) となった。したがって、最大 22dB の増幅が得られた。この時のパルス幅は増幅後で 630 ns、ビーム品質は  $M^2 = 1.8 \times 1.5$  となった。

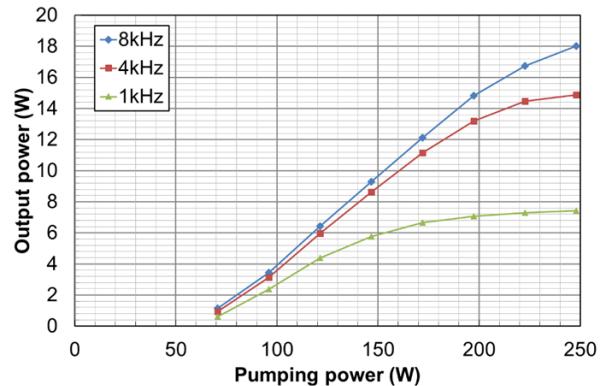


Figure 4. Output power of the planar waveguide amplifier.

### 4. まとめ

水蒸気 DIAL 用光源として 1531.4 nm を高強度に増幅可能な平面導波路型レーザ増幅器を開発した。平面導波路構造を採用することで Brillouin 散乱を抑制でき、高エネルギーの増幅が可能となった。また、排熱効率が良いため、250 W までの励起が可能となった。その結果、繰り返し 1 kHz では最大 7.4 mJ の出力エネルギーを得ることができた。平均パワーでは最大 18.0 W が得られた。

### 参考文献

- [1] M. Imaki, et al., in 18th Coherent Laser Radar Conference, T9 (2017).
- [2] 崎村武司, 他, レーザー学会学術講演会第 36 回年次大会 (2016) B410aII08