

衛星搭載コヒーレントドップラー風ライダーのための 2 μm 帯光基盤技術の開発

石井 昌憲¹, 佐藤 篤^{2,1}, 赤羽 浩一¹, 長野 重夫¹, 青木 誠¹,
梅沢 俊匡¹, 水谷 耕平¹, 落合 啓¹, 久保田 実¹

¹ 情報通信研究機構 (〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1)

² 東北工業大学 (〒982-8577 宮城県仙台市太白区八木山香澄町 35-1)

Research and Development of 2-μm optical technology for future space-borne Doppler Wind lidar

Shoken ISHII¹, Atsushi SATO^{2,1}, Koichi AKAHANE¹, Shigeo NAGANO¹, Makoto AOKI¹,
Toshimasa UMEZAWA¹, Kohei MIZUTANI¹, Satoshi OCHIAI¹, and Minoru KUBOTA¹

¹ NICT, 4-2-1 Nukui-Kitamachi, Koganei, Tokyo 184-8795

² Tohoku Inst. of Tech., 35-1 Yagiyama-Kasumi, Taihaku, Sendai, Miyagi 982-8577

National Institute of Information and Communications Technology (NICT) has developed technologies for a 2-μm coherent lidar since 2001. The fourth middle term research program began in April 2016 at NICT. Main objectives of the lidar project are to develop 2-μm key technologies and instruments for a future space-borne coherent Doppler wind lidar (CDWL), to investigate measurement performance using a space-borne CDWL simulator, and to quantitatively assess potential impacts on numerical weather prediction using results of the space-borne CDWL simulator. It is crucial to develop a single-frequency CW laser with a narrow line width, a high pulse energy laser and a high-speed detector meeting the requirements for the future space-borne CDWL. In order to realize a long-term high reliable single-frequency 2-μm CW laser with a narrow line width, NICT develops a semiconductor laser with quantum-dot structure and an optical fiber amplifier. We confirmed photoluminescence from both the semiconductor laser and the optical fiber amplifier in the 2.05-μm spectral region. The developed optical fiber amplifier demonstrated small-signal gain of 8dB (requirement: >13dB). In order to obtain pulse energy of 125 mJ, NICT developed the high pulse energy laser using a new pumping laser head. We demonstrated a high pulse-energy with a pulse energy of 125 mJ. In the paper, we introduce research and development of the 2-μm key technologies.

Key Words: 2-μm, Doppler Wind Lidar, single-frequency, semiconductor laser, fiber amplifier, space-borne

1. はじめに

近年、全球規模で気象データが取得できる衛星観測の重要性はさらに増している。しかしながら、現在の衛星観測は、温度や水蒸気に関連した観測が多い。数値天気予報精度、台風予測の精度向上のために、全球規模で風の高度分布を得ることが出来るセンサーの開発が望まれており、情報通信研究機構 (NICT) は、宇宙航空研究開発機構 (JAXA)、気象庁/気象研究所、東京大学、東北大学、東北工業大学他とともに、2μm レーザを用いた超低高度衛星搭載コヒーレントドップラー風ライダーの実現を目指し、技術的・科学的観点から実現性検討を進めている¹⁻³⁾。NICT は、1.5μm 帯光通信用として高性能な量子ドットレーザを開発してきた^{4,5)}。また、次世代光周波数標準や光校正のために、光ファイバーを用いた 1.5μm 帯光周波数コムを開発してきた⁶⁾。NICT は、これまでに開発してきた技術を応用し、衛星搭

載ドップラー風ライダーの要求仕様を満足する 2μm 帯光基盤技術開発に取り組んでいる。超低高度衛星搭載コヒーレントドップラー風ライダー搭載用として要求されるレーザの仕様は、平均出力 3.75W (パルスエネルギー: 125mJ、繰り返し周波数: 30Hz) の単一波長 2μm レーザである。本発表では、NICT に研究開発が進められている単一波長 Tm,Ho:YLF レーザの進捗を報告する。

2. 単一波長 Tm,Ho:YLF レーザ

宇宙からの風観測要求精度を満足するライダーシステムの仕様を表 1 に示す。単一波長 Tm,Ho:YLF レーザは、単一波長 CW レーザ (半導体レーザと光増幅器の組合せ) の波長をパルスレーザに注入同期することで単一波長化の実現を目指している。図 1 は、新しく試作した半導体レーザ用試料の波長を確認するために行ったフォトルミネッセンス (PL) 測

Table 1. Specifications of space-borne Doppler wind lidar

Wavelength (μm)	2.05
Pulse energy (J)	0.125
Pulse duration ($n\text{s}_{\text{FWHM}}$)	200
PRF (Hz)	30
Telescope diameter (m)	0.4
Number of laser directions	2
Detector quantum efficiency	0.8
Heterodyne efficiency	0.4
Optical efficiency	0.44
Unknown system efficiency	0.5
Sampling frequency (MHz)	400
Sampling point	256
Azimuth angle of observation direction ($^{\circ}$)	45, 135
Nadir angle of observation direction ($^{\circ}$)	35
Target horizontal resolution (km)	<100
	Altitude 0-3 km: <0.5
Target vertical resolution (km)	Altitude 3-8 km: <1
	Altitude 8-20 km: <2

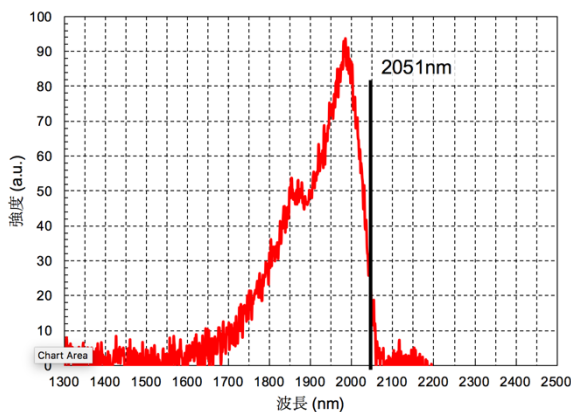


Fig 1. Photoluminescence spectrum of trial material

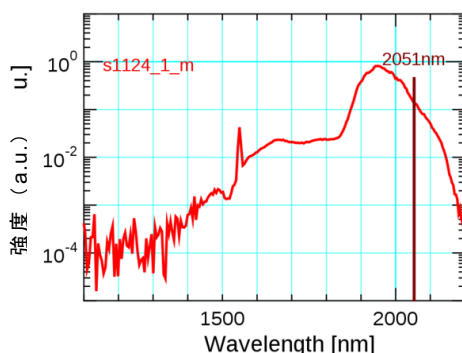


Fig.2 Luminescence spectrum of TDFA

定の結果である。試作した試料の発光ピーク波長は $1.98\mu\text{m}$ 付近にあるが、 $2.05\mu\text{m}$ 付近において発光が

確認された。今のところ $2.05\mu\text{m}$ 付近の出力は十分とは言えず、今後、積層構造等のパラメータを最適化し高出力化が必要となる。図 2 は $1.55\mu\text{m}$ レーザを励起光源として用いた Tm ファイバーを光増幅器のフォトルミネッセンスの測定結果である。 $2.05\mu\text{m}$ 付近において発光が確認された。ここには示さないが、8-9dB の信号利得が得られている。Tm ファイバーは、一般的に放射線に対して弱いとされており、宇宙環境下では、放射線対策が必要であり、調査研究が必要である。高出力パルスレーザの開発においては、レーザロッドを約 -80°C に冷却し、表 1 に示されるレーザの要求仕様をはるかに超える平均出力 6.25W の Tm,Ho:YLF レーザ（発振器単体構成、パルスエネルギー：125mJ、繰返し周波数：50Hz）を実現し、要求仕様のレーザは技術的に可能であることを実証している^{7), 8)}。

3. まとめ

NICT は将来の衛星搭載ドップラー風ライダーの実現を目指して、レーザの仕様を満足する単一波長 $2\mu\text{m}$ レーザの研究開発を進めている。これまで、単一波長 CW レーザに用いる予定の半導体レーザと Tm ファイバー光増幅器のいずれにおいても波長 $2.05\mu\text{m}$ 付近での発光を確認した。Tm ファイバー光増幅器は、8 倍超の信号利得を確認できた。パルスレーザにおいては、発振器単体構成の実験で平均出力 7W 超の Tm,Ho:YLF レーザを実現した。

今後、単一波長 CW レーザについては試作材料、構成の最適化を進めていく。パルスレーザにおいては、発振器のみならず、発振器+増幅器の組み合わせについても検討していく予定である。浜松ホトニクス社の協力の下、NICT は、広帯域 $2\mu\text{m}$ 光検出器を製作しており、同検出器の性能評価も行っていく予定である。

参考文献

- 1) S. Ishii *et al.*: SOLA **12** (2016) 55.
- 2) P. Baron *et al.*: submitted to J. Meteor. Soc. Japan. (2016).
- 3) K. Okamoto *et al.*: Proceedings of 34th Laser Sens. Sym. (2016) (in Japanese).
- 4) K. Akahane *et al.*: Appl. Phys. Lett., **93**, (2008) 041121.
- 5) K. Akahane *et al.*: IEEE Photo. Techno. Lett., **22**, (2010) 103.
- 6) S. Nagano *et al.*: IEEE Inter. Freq. Con. Sym. Proceedings., DOI: 10.1109/FCS.2012.6243733, (2012).
- 7) A. Sato *et al.*: submitted to Opt. Lett. (2016).
- 8) M. Aoki *et al.*: Proceedings of 34th Laser Sens. Sym. (2016) (in Japanese).