

衛星搭載ドップラー風ライダーのための単一波長高出力パルスレーザ

開発の最新状況

石井 昌憲¹, 佐藤 篤^{2,1}, 青木 誠¹, 赤羽 浩一¹, 長野 重夫¹, 中川勝広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)

Recent research and development of single-frequency high pulse-energy laser for future space-borne Doppler Wind lidar

Shoken ISHII¹, Atsushi SATO^{2,1}, Makoto AOKI¹, Koichi AKAHANE¹, Shigeo NAGANO¹, and Katsuhiko Nakagawa¹

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

Abstract: The National Institute of Information and Communications Technology (NICT) is developing a single-frequency high-energy Tm,Ho:YLF laser, 2- μ m key technology and instrument for a future space-based coherent DWL. We develop the Tm,Ho:YLF laser producing a pulse energy of 125 mJ operating at 30 Hz meeting requirements for the future space-based coherent DWL. In the paper, we will describe recent research and development of single-frequency high pulse-energy laser for future space-borne Doppler Wind lidar at NICT.

Key Words: Space-based, single-frequency, high pulse-energy, 2- μ m, Doppler Wind Lidar

1. はじめに

現在、様々な観測手法で得られた気象データは数値予報の初期値となる。与えられる初期値が数値予報の精度を決める重要な要因の一つとなっている。現在の衛星観測は温度や水蒸気に関連した観測が多く、風の観測は限定的である。大気追跡風、マイクロ波散乱計やマイクロ波イメージ等の高度分解能は十分とは言いがたい。全球規模で風の高度分布が得られるセンサーの開発を望まれており、ドップラー風ライダーは有望なリモートセンシング技術の一つである。情報通信研究機構(NICT)は、宇宙航空研究開発機構、気象庁/気象研究所、東北工業大学、東京大学、東北大学他とともに、2 μ m 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、東北工業大学とともに衛星搭載ドップラー風ライダーの要求仕様を満足する 2 μ m 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、繰返し周波数: 30Hz) の単一波長 2 μ m レーザである。本発表では、NICT にて研究開発が進められている単一波長高出力パルスレーザ開発の進捗について報告をする。

2. 単一波長高出力パルスレーザ

開発を進める単一波長高出力パルスレーザは、単一波長 CW レーザと高出力パルスレーザから構成される。単一波長 CW レーザは、光ヘテロダイン検波の局所光として、また、高出力パルスレーザの単一波長化のためにシード光源として用いる。NICT で開発されたこれまでのレーザは、シード光源として米国製の固体レーザを用いてきたが、今後の供給継続性や経済性を考慮して、NICT 内製による半導体レーザと光ファイバー増幅器を組み合わせた開発を目指している。パルスレーザのレーザ媒質は、アイセーフ領域 2 μ m で発振する Tm,Ho:YLF を用いる。地上・航空機搭載用コヒーレントライダーでは、レーザ出力が得られるように、レーザ媒質 Tm,Ho:YLF を -80 $^{\circ}$ C 付近まで冷却して高いパルスエネルギーを得ていたが、衛星搭載を目指す上で、冷凍機の電力、大きさ、重量が課題となったため、レーザ媒質を -80 $^{\circ}$ C よりも高温で設定できるように、カップリングミラーの反射率、レーザ媒質の大きさ、冷却温度、添加する物質のドーピング量等の最適化を通して開発を進めている⁴⁻⁸⁾。

Figure 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)測定の結果である。2015 年に試作した試料の発光ピーク波長は 1.98 μ m 付近であったが、2017 年に試作した資料では 2.03 μ m 付近において発光が確認された。また、2.05 μ m 付近の発光強度においても 2017 年の試材料は、2015 年に比べてさらに強い発光が得られた。今後、積層構造、材料の添加量を最適化し、長波長化と高出力化を目指す。

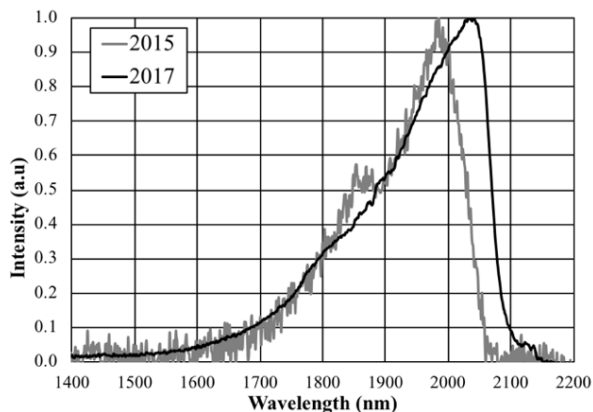


Figure 1. Photoluminescence from quantum dot laser.

光ファイバー増幅器では、1.55 μm レーザを励起光源として Tm ファイバー光増幅器の開発を進めている。現在、入力光パワー400mW において、目標としている増幅率13dBを実現している。増幅率13dBは入力光パワー1mW に対し出力光パワー>20mW に相当し、ドップラー風ライダーとしては十分な出力である。

高出力パルスレーザーの開発においては、カップリングミラーの反射率、レーザー媒質の大きさ、冷却温度、添加する物質のドープ量等の最適化を通して、衛星搭載ドップラー風ライダーの要求仕様を満足する繰り返し周波数30Hz、125mJ で動作するレーザーを開発し、その実現性を実証した (Figure 2)。レーザー媒質の-40 $^{\circ}\text{C}$ としており、地上、航空機用として開発したレーザーのレーザー媒質温度よりも40 $^{\circ}\text{C}$ も高温で動作する。

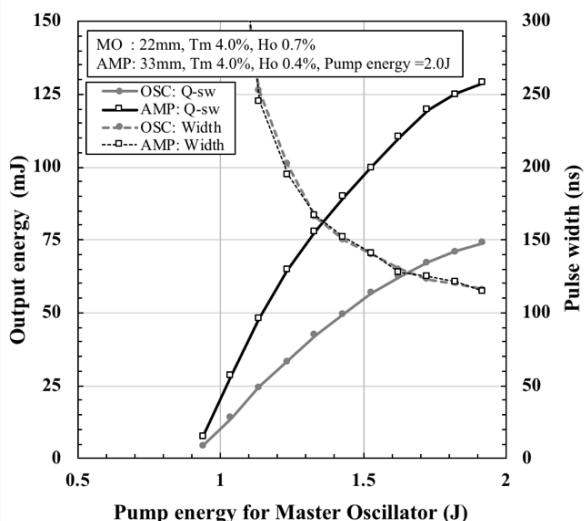


Figure 2. Lasing characteristics of MOPA. MO: Tm,Ho:YLF laser rod with 4% thulium, 0.4% holmium, and 22 mm in length. AMP: Tm,Ho:YLF laser rod with 4% thulium, 0.7% holmium, and 33 mm in length.

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、レーザーの仕様を満足する単一波長 2 μm レーザの研究開発を進めている。単一波長 CW レーザの開発においては、2.03 μm 付近での発光する試料作成に成功した。Tm ファイバー光増幅器は、13dB の信号利得を確認できた。パルスレーザーにおいては、レーザー媒質-40 $^{\circ}\text{C}$ において、発振器と増幅器の組合せで、衛星搭載ドップラー風ライダーの仕様を満足する平均出力 3.75W の Tm,Ho:YLF レーザを実現した。今後、単一波長 CW レーザ、パルスレーザーの効率的な発振を目指して、レーザーの効率化を目指していく予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 17H06139 の助成を受けております、ここに感謝致します。

参考文献

- 1) S. Ishii *et al.*: J. Meteor. Soc. Japan., **95**, (2017) 301.
- 2) P. Baron *et al.*: J. Meteor. Soc. Japan., **95**, (2017) 319.
- 3) K. Okamoto *et al.*: J. Meteor. Soc. Japan., **96**, (2018) 179.
- 4) M. Aoki *et al.*: Proceedings of 34th Laser Sens. Sym. (2016) (in Japanese).
- 5) A. Sato *et al.*: Proceedings of 34th Laser Sens. Sym. (2016) (in Japanese).
- 6) M. Aoki *et al.*: Proceedings of 35th Laser Sens. Sym. (2017) (in Japanese).
- 7) M. Aoki *et al.*: Proceedings of 36th Laser Sens. Sym. (2018) (in Japanese).
- 8) A. Sato *et al.*: Proceedings of 36th Laser Sens. Sym. (2018) (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).