

O-5-02

温室効果ガス計測のための赤外域2周波光パラメトリック発振器の開発 Development of IR Dual-frequency Optical Parametric Oscillator for Measuring Greenhouse Gases

多田友行、林昭宏、今城勝治、川戸栄、小林喬郎
T. Tada, A. Hayashi, M. Imaki, S Kawato and T. Kobayashi
福井大学 大学院工学研究科
Graduate School of Engineering , Fukui Univ.

Abstract: An infrared optical parametric oscillator(OPO) has been developed for greenhouse gas measurement by the differential absorption laser radar. A single-frequency Q-switch Nd:YAG laser is used for pumping PPMgLN crystal as a nonlinear material. A $1.55\ \mu\text{m}$ LD is frequency modulated and used for injection seeding and two frequency oscillation of the OPO signal and idler outputs at $3.39\ \mu\text{m}$.

1. はじめに

現在、炭酸ガスやメタンなどの温室効果ガスの増加による地球温暖化が問題となっており、大気中での輸送や拡散メカニズムの解明が大きな課題である。そのため、大気微量分子濃度の広域分布状態を高精度で計測する技術が必要となっている。地形物をターゲットとして用いる差分吸収レーザーレーダ法は、差分吸収ライダー法(DIAL)に比べ、小型で移動計測が可能なることから大気微量分子の計測に適している¹⁾。本研究では大気中のメタン微量分子計測のための波長 $3\ \mu\text{m}$ 帯の2周波交互パルス発振する光パラメトリック発振器(Optical Parametric Oscillator: OPO)を構成し、小型の長光路差分吸収レーザーレーダを試作して、メタンガスの計測を行ったので報告する。

2. 赤外域2周波発振OPOの構成

地形物をターゲットとして利用する長光路差分吸収レーザーレーダの光源の必要条件は、①パルス幅:数10ns、②パルスエネルギー:10 μJ 以上(距離150mで反射率1%の粗面散乱体のSN比100での検出)、③メタン吸収波長:3.39 μm 帯、④単一モード:スペクトル幅1GHz以下、⑤2周波交互パルス発振:間隔2GHz以上、⑥周波数安定度:100MHz以下、である

次に、OPO とレーザーレーダの構成を図1に示す。非線形媒質としてドメイン反転周期 Λ が約 $30\ \mu\text{m}$ のPPMgLN結晶を用い、励起光源にはパルス幅50ns、繰り返し周波数1kHzの単一周波数QスイッチNd:YAGレーザを開発して利用した。波長 $1.55\ \mu\text{m}$ のシグナル光は結晶端面の反射により共振しているため、同じ周波数のLD光によりシーディングを行い、多モード発振している出力光が線幅の狭い単一モード出力となる。また、励起光も単一モードであるため、メタン吸収周波数であるアイドラ光も単一モードとなる。

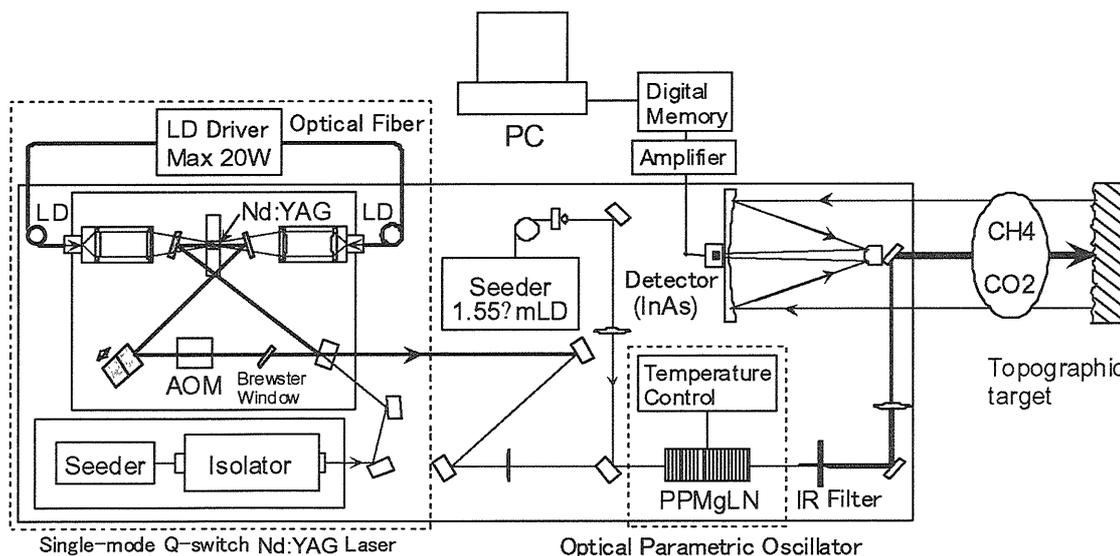


図1 赤外域OPOを用いた差分吸収レーザーレーダの構成

メタンガス計測は共鳴周波数 ν_{on} と非共鳴周波数 ν_{off} による2周波での差分吸収測定を行うため、アイドラ光の2周波パルスでの交互発振動作が必要となる。その動作法を図2に示す。励起パルス毎に LD の電流制御により周波数変調を行うことによりアイドラ光で2周波発振が得られる。

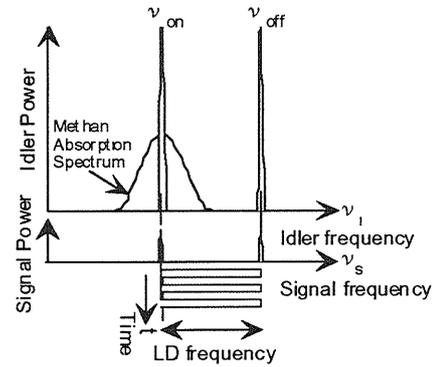


図2 OPOの2周波発振

3. 赤外域2周波発振 OPO の発振特性

OPOの出力周波数の理論値は次式の条件より決定される。

$$\text{位相整合条件} \quad c/\Lambda = n_p \nu_p - n_s \nu_s - n_i \nu_i \quad \dots(1)$$

$$\text{エネルギー保存則} \quad \nu_p = \nu_s + \nu_i \quad \dots(2)$$

ここで、 Λ はドメイン反転周期、 c は光速、 n_p, n_s, n_i は励起光、シグナル光及びアイドラ光に対する屈折率、 ν_p, ν_s, ν_i は励起、シグナル及びアイドラ周波数である。

発振特性の実験はサイズ 50mm×5mm×1mm のPPMgLN 結晶を温度制御して行った。入出力特性を図3に、OPO出力波長の結晶温度依存性を図4に示す。OPO出力波長の結晶温度依存性は式(1)において、屈折率が結晶温度により変化するため生じる²⁾。

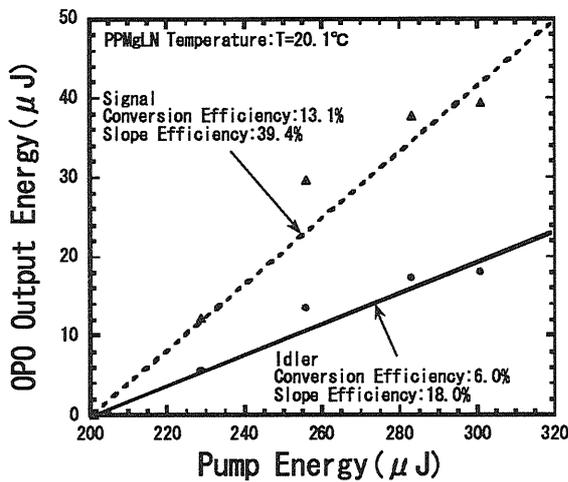


図3 OPOの入出力パルスエネルギー特性

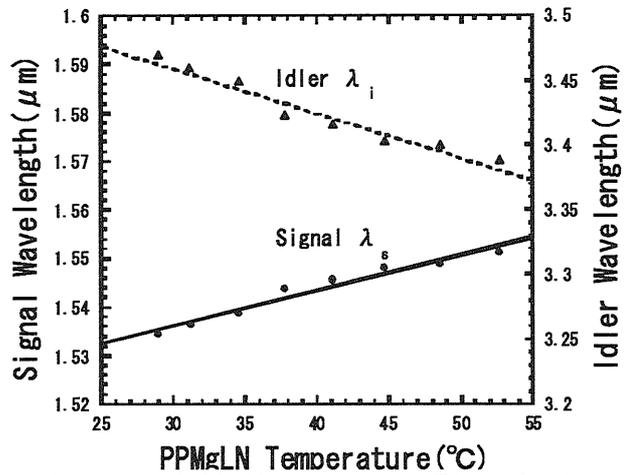


図4 OPO出力波長のPPMgLN結晶温度依存性

アイドラ光では最大出力エネルギー18μJが得られ、45°C付近でメタン吸収波長3.39μmとなった。また、LD光のシーディングにより単一周波数動作が確認され、スペクトル幅が約170MHzとなり、著しい線幅の狭窄化が実現された。

4. レーザレーダによるメタンガス計測

次に、このOPOを用いて、図1に示した差分吸収レーザレーダを試作した。粗面散乱体の地形物ターゲットを用い、受信鏡には直径7.5cmの放物面鏡、また、検出器にはInAsのPDを用いた。まず、アイドラ光の周波数変調を行い、大気中のメタンの吸収スペクトルを測定した。その結果、距離150mの粗面散乱体でパルス積算回数1000のとき信号対雑音比S/N=100が得られ、高精度の密度計測が可能となった。

5. まとめ

温室効果メタンガスの計測のための赤外域光源として単一モードNd:YAGレーザを用い、PPMgLN結晶によるOPOの開発を行った。その結果、シーディング用LDの周波数変調により、波長3.39μmで2周波交互パルス発振を得た。さらに、それを利用した差分吸収レーザレーダを開発し、大気中のメタンガス計測を行った。今後、装置の小型化、安定化などを図っていきたい。

参考文献

- 1) 今城勝治, 東川孝, 多田友行, 林昭宏, 川戸栄, 小林喬郎: “温室効果ガス計測のための長光路吸収レーザレーダの開発”, 応用物理学連合講演会予稿集 29p-YR-9/III, p1200 (2003)
- 2) E. Zelmon, D.L. Small, D. Jundt: J.Opt.Soc.Am.B, pp.3319 – 3322 (1997)