

# P1

## メタン分子計測のための全固体赤外線 光パラメトリック発振器の検討

### Analysis of All-Solid-State Infrared Optical-Parametric-Oscillators for Remote Sensing of Methane Molecules

和田裕貴 小林喬郎

Hiroataka Wada Takao Kobayashi

福井大学・工学部

Faculty of Engineering, Fukui University

Abstract We have analyzed the sensitivity of an infrared long-path absorption laser radar system for detecting molecular methane in the atmosphere. All-solid-state optical parametric oscillators pumped by the Q-switched Nd:YVO<sub>4</sub> laser are designed.

#### 1 はじめに

光パラメトリック発振器は、レーザーでは直接カバーできない帯域における波長可変コヒーレント光源として活発に研究されてきた。近年、半導体レーザー励起の全固体化レーザー技術の進歩により、これを励起源とする小型、高品質、高効率の光パラメトリック発振器が可能となってきた。また新しい非線形デバイスの開発も行われており、光パラメトリック発振は遠隔計測や医療、分光計測など様々な分野への応用が期待されている。

我々は、地球温暖化及び可燃性危険ガスとしてのメタン分子の分布密度を計測するための小型の長光路吸収レーザーレーダーを実現するために、高効率の全固体光パラメトリック発振器の開発を行っている<sup>1)</sup>。本研究では、最適測定波長と光パラメトリック発振器の設計条件を検討したのでその結果を示す。

#### 2 レーザーレーダー光源の条件

メタン分子計測用長光路吸収レーザーレーダーシステムの構成をFig. 1に示す。地形物ターゲット (Topographic target) を散乱体としてレーザー光を受信するシステムで、受信光電力 $P_j$ は、

$$P_j = P_0 K A_r \left( \frac{r}{\pi R_0^2} \right) \exp[-2\sigma(v_j) \cdot (N_0 R_0 + N_m R_m)] \quad (j=1, 2) \quad (1)$$

と表される。ただし、 $P_0$ は光源のピーク出力、 $K$ は光学系の効率、 $A_r$ は受信集光レンズの有効面積、 $r$ は地形物ターゲットの反射率、 $R_0$ はその距離、 $N_0$ は大気中のメタン濃度、 $N_m$ は漏洩メタンの密度、 $R_m$ はその厚さ、 $\sigma(v_j)$ は吸収スペクトルの共鳴と非共鳴の周波数

$\nu_1, \nu_2$ におけるメタン分子の吸収断面積であり、それらの波長の受信電力 $P_1$ と $P_2$ を求め、光路中の平均分子密度

$$\bar{N} = -\frac{1}{2\Delta\sigma R_0} \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \quad (2)$$

を導出する。ここで、 $\Delta\sigma = \sigma(\nu_1) - \sigma(\nu_2)$ である。

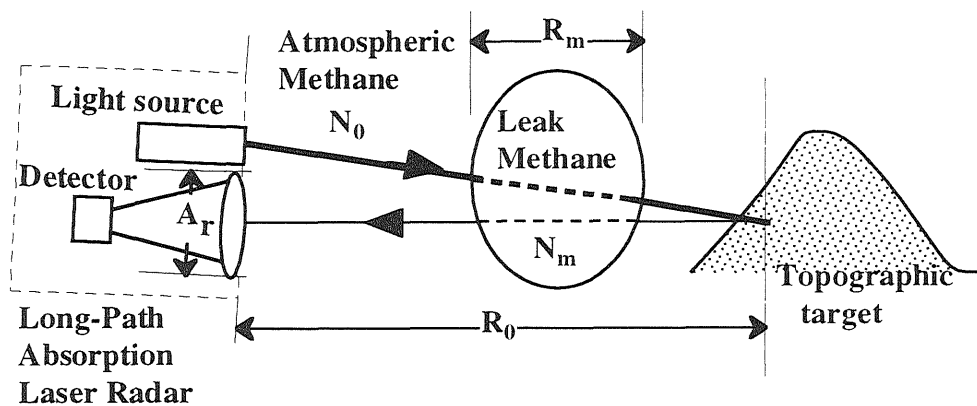


Fig. 1 Schematic of the long-path absorption laser radar system

代表的なメタン分子の吸収断面積をFig. 2に示す。ただし1気圧の空気中でのメタンの圧力広がり幅を仮定している。吸収線は $3.3\mu\text{m}$ 帯( $3000\text{cm}^{-1}$ )と $1.6\mu\text{m}$ 帯( $6000\text{cm}^{-1}$ )などを中心として多数存在するが、 $\sigma$ の値は、2桁の違いがある。そこで、次に、 $3.3\mu\text{m}$ 帯と $1.6\mu\text{m}$ 帯での計測システムの検出感度を比較する。

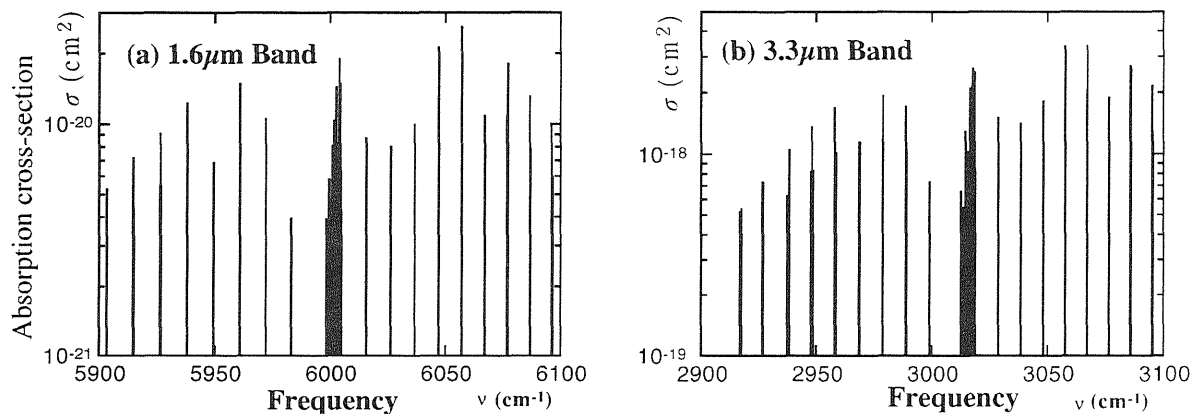


Fig. 2 Comparison of methane absorption cross section

(a)  $1.6\mu\text{m}$  band, (b)  $3.3\mu\text{m}$  band (1 atm. air)

一例として、 $1.6\mu\text{m}$ 帯の光検出器にInGaAsを用い、 $T=300\text{K}$ において雑音等価入力  $\text{NEP}=1.0 \times 10^{-11}\text{W}$  ( $B=100\text{MHz}$ ) と $3.3\mu\text{m}$ 帯にInAsを用い $T=300\text{K}$ において $\text{NEP}=1.2 \times 10^{-10}\text{W}$

( $B=100\text{MHz}$ )、光源の1パルスあたりのエネルギー $E=1\mu\text{J}$ 、パルス幅 $\tau=10\text{ns}$ 、ピークパワー $P_0=100\text{W}$ 、 $r=0.01$ 、 $K=0.1$ 、 $N_0=1.7\text{ppm}$ 、パルス積算数 $n=100$ の条件下で、受信集光レンズの有効面積 $A_r=20\text{cm}^2$ と $200\text{cm}^2$ について計測距離に対する信号対雑音比の関係をFig. 3に示す。

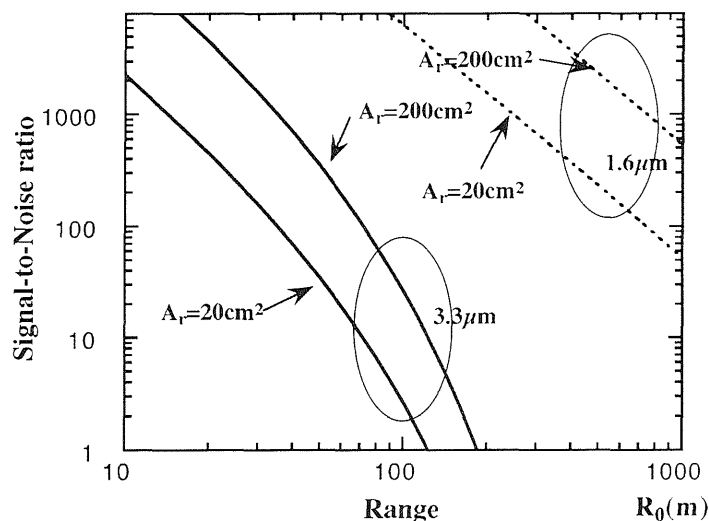


Fig. 3 Signal-to-noise ratio as a function of target range.  
( $1.6\mu\text{m}$  band  $\sigma_1=2.1 \times 10^{-20}\text{cm}^2$ ,  $3.3\mu\text{m}$  band  $\sigma_1=2.6 \times 10^{-18}\text{cm}^2$ )

最小検出可能密度は、

$$N_{\min} = \frac{\Delta \bar{N}}{\bar{N}} = \frac{1}{2\Delta\sigma R_0} \ln\left(1 + \left(\frac{S}{N}\right)^{-1}\right) \quad (3)$$

と表せる。ここで $(S/N)$ は検出器の信号対雑音比である。

すなわち、 $3.3\mu\text{m}$ 帯での長光路吸収レーザーレーダーは、 $1.6\mu\text{m}$ 帯より低い密度の検出に適しているが、大気中のメタン分子の吸収が多くなり長距離での計測は困難になる。

### 3 光パラメトリック発振器の基本設計

非線形光学デバイスに $3\mu\text{m}$ 帯で吸収が小さく非線形光学定数の大きなKTA結晶<sup>2)</sup>を使った全固体光パラメトリック発振器の構成をFig. 4に示す。KTA結晶はNd:YAGレーザーの $1.064\mu\text{m}$ をポンプ光として $\theta$ を変化させて波長可変となる。励起光は注入同期により、縦モードの単一化および狭窄化を図っている。

次に、小型化したシステムとして、Periodically-Poled-Lithium-Niobate (PPLN)<sup>3)</sup>を用いた疑似位相整合による高効率の波長変換法を検討する。PPLNは分極反転グレーティングの周期によってデバイスの透過波長全域において発振波長を選択することが可能であり、波長可変が容易に行える。また、擬似的に位相整合を行いウォークオフが生じないため、長い結晶長にわたってパラメトリック相互作用が可能となる。小型の光パラメトリック発振器

の構成をFig. 5に示す。励起光には小型で高効率のNd:YVO<sub>4</sub>レーザーを用いる。

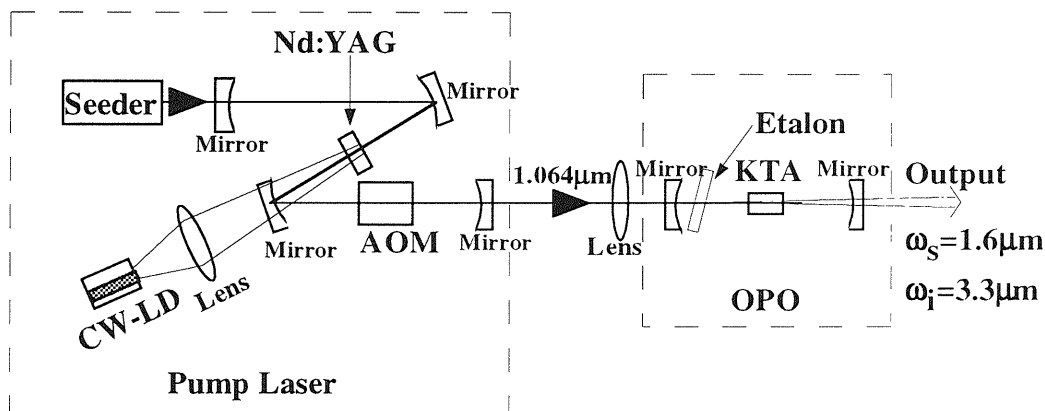


Fig. 4 Block diagram of all-solid-state optical-parametric-oscillator using a KTA crystal.

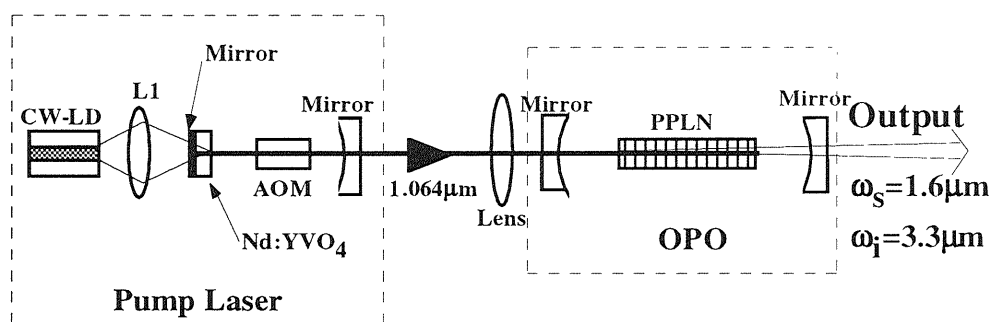


Fig. 5 Block diagram of the compact optical-parametric-oscillator using a PPLN device.

#### 4 まとめ

大気中のメタン分子計測のための長光路吸収レーザーレーダーの最適波長域として1.6 $\mu\text{m}$ 帯と3.3 $\mu\text{m}$ 帯を検討して、1パルスあたり1 $\mu\text{J}$ 程度で中距離のメタン分子の計測が可能であることがわかった。今後は、今回検討した光源の開発を行うとともに、CT (Computerized Tomography) 法により空間的な分布を計測することについても検討を行っていききたい。

#### 参考文献

- 1) 岡本 育雄, 小島 文人, 伊東 隆喜, 平等 拓範, 小林 喬郎: "大気微量分子計測のための全固体赤外域光パラメトリック発振・増幅器の開発", 信学技法, LQE95-12 (1995)
- 2) L. K. Cheng, L. T. Cheng, J. D. Bierlein and F. C. Zumsteg: "Properties of doped and undoped crystals of single domain KTiOAsO<sub>4</sub>", Appl. Phys. Lett., **62**, p. 346 (1993)
- 3) S. D. Butterworth, P. G. R. Smith, and D. C. Hanna: "Picosecond Ti:sapphire pumped optical parametric oscillator based on periodically poled LiNbO<sub>3</sub>", OPTICS LETTERS, Vol. 22, No. 9 (1997)