

鉛塩半導体レーザーを用いる ガスの分光分析: 高感度と高速の二極化

Spectrometric Gas Analysis with Pb-Salt Diode Lasers: Either More Sensitive or Faster

古賀隆治⁺ 小坂 恵⁺ 佐野博也⁺⁺
Ryuji KOGA⁺, Megumi KOSAKA⁺, and Hiroya SANO⁺⁺

⁺岡山大学工学部

⁺⁺福山大学工学部

+Okayama University, ++Fukuyama University

I はじめに

鉛塩半導体レーザー (TDL) は、中赤外域に極めて鋭い出力光スペクトルを持つと共に、区分連続的に、かつ遮断周波数 10 kHz 程度の速さで周波数を制御できることを特徴とする。筆者らは、当初は大気ガスの分析を目指して高感度を得る努力を行い、現在までに大気メタンガスに対して 70 ppb (rms) の精度を得るに至っている。これと平行して、TDL のパルス動作時のチャープ現象を利用することにより、燃焼中のガスの量を時間分解して測定することも研究している。これらはいずれも鉛塩 TDL の連続的かつ高速な可同調性を利用して可能となるものである。

II 高感度ガス分析

携帯型分析装置の開発と平行して、¹⁾ 光学定盤の上の実験システムを用いた超高精度の追求を行っている。図 1 はその代表的な構成である。鉛塩 TDL の出力光を開放大気中の約 1 m の光路を経て HgCdTe 赤外線検出器 (IRD) で捕える。ガスの吸収スペクトルはレーザー周波数を変調し、IRD 出力中の第 2 時高潮波成分を拾い出す 2f 法で測定する。ガス濃度は、同時に測定した参照ガススペクトルとの相互相関を計算して得る。²⁾

この方法で精度を決定する雑音源は、IRD から TDL への戻り光、および最終段の収束素子と IRD 間の光の定在波 (エタロンフリンジ) である。いずれも反対方向に進む光と非線形素子の相互作用によって発生する。

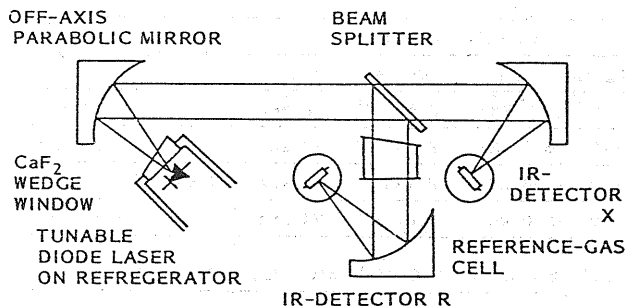


図 1 高感度測定システムの構成

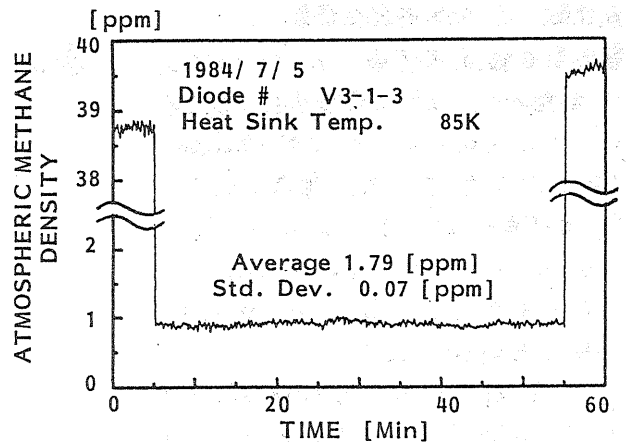


図 2 実験室内メタンガス濃度の測定例

高精度を得るためには、光学的には軸外し放物面鏡と適当な絞りを設けること、さらに TDL の FM 信号波形を正弦波ではなく先端の鋭った形にすること等が効果的である。³⁾ 光通信技術で周知のアイソレータの使用も有効である。図 2 に実験結果の一例を示す。λ/4 板の方向を 90° 回転させることにより戻り光が断たれてこれを挟むモードのエタロンフリンジが消えることがわかる。

図 3 実験室内のメタンガス濃度を測定した結果を示す。約 1 時間に渡り平均値 1.79 ppm、標準偏差 0.07 ppm の値を得ている。

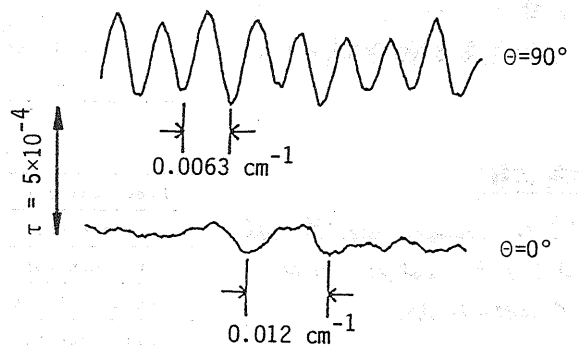


図 3 λ/4 板の使用によるエタロンフリンジの抑圧

Ⅲ 燃焼ガスの時間分解測定

自動車用小型内燃機関での燃焼現象の測定に対して非接触測定の可能な光学的測定法が威力を発揮する。ガスの吸収スペクトルから温度、圧力を知ることが期待される。

鉛塩TDLにパルス電流を印加すると、時定数約 $10\ \mu\text{s}$ 、幅 $2\ \text{cm}^{-1}$ のチャープが起る。これを利用して吸収スペクトルの掃引が可能である。

図4に実験系の構成を示す。TDLは幅 $10\ \mu\text{s}$ 、高さ $300\ \text{mA}$ のパルス電流で駆動され、さらに $150\ \text{mA}$ 程度のDCで温度制御されて、掃引周波数域を決められる。燃焼容器は内径 $100\ \text{mm}$ の球型で、中心で点火される。容器内は理論混合比の空気-メタン混合気が充填されていて、火炎はほぼ球型を保って外方へ伝播する。

TDLは $100\ \mu\text{s}$ に1回ずつ $10\ \mu\text{s}$ の間パルス駆動され、透過光パワー波形は $100\ \text{ns}$ 毎にAD変換されて 128 データから成るスペクトル1枚が得られる。これを 512 回繰返し、 $50\ \text{ms}$ 分がデジタルメモリーに記録される。

図5がその結果の一部で、スペクトルを間引して表示してある。燃焼の進行に伴って吸収スペクトルの強さ、形状の変化が認められる。図6はこのデータを用いて、光に対する吸収量の燃焼中の時間変化と、同時に測定した圧力から熱力学的に計算した値を比較して示すものである。

現在のところ、燃焼初期はかなり正確に測れるが、末期の火炎面が壁面に近づいた状態では測定が困難なので改善を急いでいる。

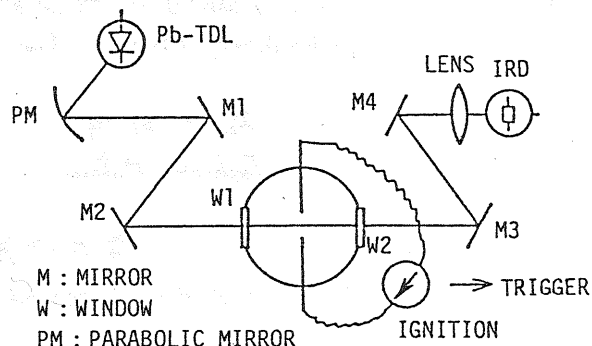


図4 燃焼ガスの測定システム

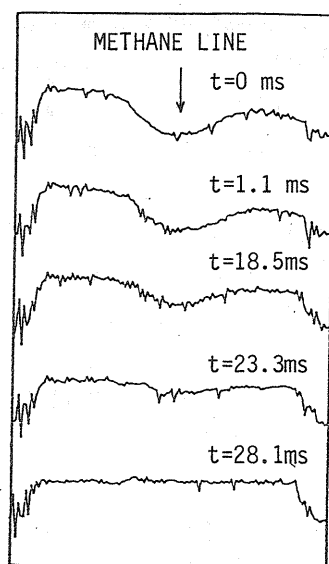


図5 スペクトルの変化

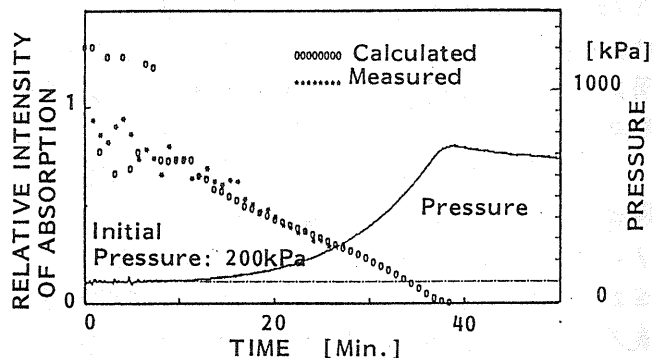


図6 光吸収量の変化

Ⅳ おわりに

鉛塩半導体レーザーの可同調性を利用してガス濃度の計測を行なうことについて、超高感度の分析と、超高速測定を行うことの両方の道を開こうとしている。

この研究は、TDL・IRDの使用については富士通研究所(株)の御協力を得、また科学研究費特定研究燃焼、環境特別研究の資金援助を受けた。関係の皆様深く感謝する。

参考文献

- 1) 古賀ほか、第45回応用物理学会講演会、12p-L-12 (1985、秋)。
- 2) H. Sano et al., JJAP, 20 [11] (1981) 2145。
- 3) ibid., 22 [12] (1983) 1883。