

## 電圧変調型中赤外バンドパスフィルタによる高速ガス検出

High-speed gas detection using electrically controllable mid-infrared band-pass filters

堀場製作所<sup>1</sup>, 京大院工<sup>2</sup>, 堀場エステック<sup>3</sup>, ○栗根悠介<sup>1,2</sup>, 坂口有平<sup>3</sup>, 井上卓也<sup>2</sup>, 野田進<sup>2</sup>

HORIBA, Ltd.<sup>1</sup>, Kyoto Univ.<sup>2</sup>, HORIBA STEC, Co., Ltd<sup>3</sup>, ○Y. Awane<sup>1,2</sup>, Y. Sakaguchi<sup>3</sup>, T. Inoue<sup>2</sup>, S. Noda<sup>2</sup>

E-mail: yusuke.awane@horiba.com

【序】中赤外領域(3~15 $\mu\text{m}$ )は多くのガスの基本振動周波数が存在し、この波長を用いた非分散型赤外吸収法(NDIR)によりガス濃度が測定されている。従来の NDIR では、波長バンドパスフィルタと同期検波用チョッパを併用しているが、部品点数が多く、機械動作部の故障リスクがあり、検出レートが数十 Hz 程度までしかないという性能上の限界があった。非機械式・高速・波長選択的強度変調が単一光学素子で実現できれば、システムの小型化・安定化・検出レートの向上を期待できる。前回我々は、広帯域熱輻射光源と組み合わせて利用できる非機械式の単一光学素子として、量子井戸のサブバンド間遷移(ISB-T)とフォトニック結晶(PC)を利用した電圧変調型狭帯域バンドパスフィルタを設計・実証した<sup>1),2)</sup>。今回、上記の電圧変調型フィルタのガス検出適用可能性を検証した結果について報告する。

【評価】実験に使用した変調フィルタは、n-GaAs 層, n 型 GaAs/AlGaAs 多重量子井戸層, p-GaAs 層を積層した薄膜に、三角格子円孔 PC ( $a=4.5\mu\text{m}$ ,  $R=0.25$ , 孔深さ  $2\mu\text{m}$ )を導入した構造である(Fig. 1 挿入図)。pn 接合に電圧を印加することで量子井戸のサブバンド間吸収が変化し、波数  $1020\text{ cm}^{-1}$  を中心とした狭い帯域 ( $Q\sim 70$ ) の透過率のみを変調可能である<sup>1),2)</sup>。今回、同波数に吸収スペクトルを持つ  $\text{C}_3\text{F}_8$  を測定対象ガスとした。実験系の模式図を Fig.1 に示す。熱輻射光源の発光はガスセル内を通り、変調フィルタで波長選択的に強度変調された後、MCT 検出器に到達する。ガスセルにはマスフローコントローラによる制御で  $\text{C}_3\text{F}_8$  と  $\text{N}_2$  を供給し、配管内には参照信号として圧力計(応答速度 30ms)を設置した。

【結果】変調フィルタへの印加電圧を 2kHz で矩形変調し、光信号に対し同一周波数で同期検波を行った。ガスセル内の  $\text{C}_3\text{F}_8$  ガス分圧を段階的に変化させた際の検出信号強度の変化を Fig.2 に示し、分圧と信号強度の相関を挿入図に示す。分圧の増大に伴い信号量が減少し、分圧との相関が再現よく確認できた。次に、より高速なガス流量変化に対する応答性を調べるため、1 秒毎に  $\text{C}_3\text{F}_8$  ガスの導入と真空引きを繰り返した場合の信号の推移を測定した確認した結果を Fig. 3 の赤丸に示す。機械式チョッパと光学バンドパスフィルタを組み合わせた場合の結果(青三角)と比較すると、より高速な流量変化を検出できることが分かった。規格化最小検出吸光度 ( $\text{abs}/\sqrt{\text{Hz}}$ , ゼロガス時)は  $4.48 \times 10^{-4}$  (変調フィルタ),  $4.32 \times 10^{-4}$  (機械式チョッパ) となりほぼ同等の結果となった。今後、変調フィルタの透過率変調量を増やすことで改善が可能と考えている。詳細は当日報告する。なお、本研究の一部は科研費の支援を受けた。【文献】1) 井上他 2018 秋応物 20a-225B-10. 2) 栗根他 2019 春応物 11p-W631-4.

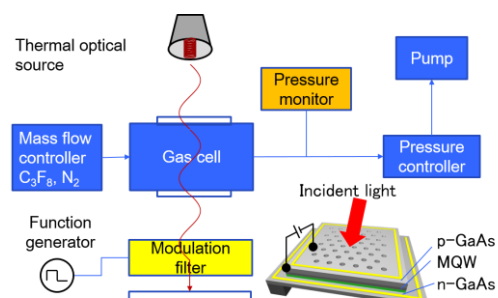


Fig. 1 Gas detection setup and bird's eye view of the modulation filter

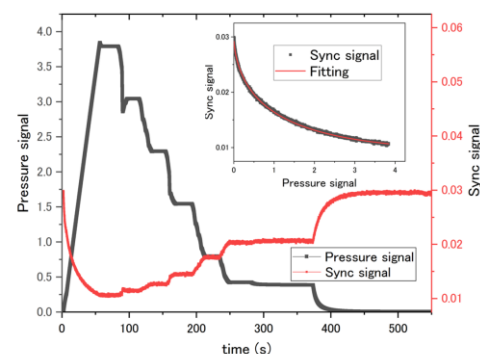


Fig. 2 Temporal change of pressure signal (black) and gas detection signal (red). Inset shows the relationship between them.

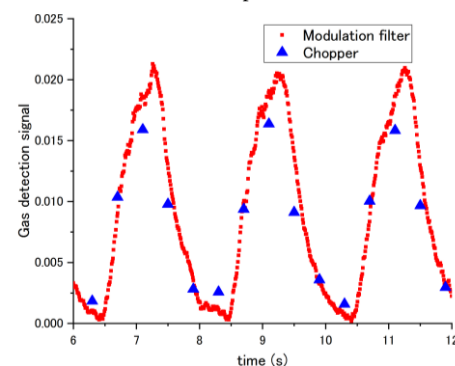


Fig. 3 Temporal change of gas detection signal against fast change of gas concentration. Red: with a modulation filter. Blue: with a mechanical chopper.