

電圧変調型中赤外バンドパスフィルタの波長重畳動作の実験的検討(2)

Experimental investigation of mid-infrared electrically controllable band-pass filters for wavelength superposition (2)

堀場製作所¹, 京大院工², °栗根悠介^{1,2}, 井上卓也², 野田進²

HORIBA, Ltd.¹, Kyoto Univ.², °Y. Awane^{1,2}, T. Inoue², S. Noda²

E-mail: yusuke.awane@horiba.com

【序】中赤外領域(3~15 μm)では多くのガスが分子振動による赤外吸収を生じるため、ガスを透過する赤外光の減衰量から、ガスの濃度を定量的に測定することが可能である。本手法は、非分散型赤外吸収法(NDIR)と呼ばれ、特に、測定対象ガスの吸収帯域内と吸収帯域外の2波長の赤外線を利用した NDIR は、各波長の絶対光量が同時に変動した場合でも、その比を取ることで、安定的に濃度測定を行うことが可能となる。これまで、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光学素子として、量子井戸(MQW)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[Fig.1(a)]を設計・実証した^{1),2),3)}。また、前回、透過帯域の異なる2つの電圧変調フィルタを重畳することで、複数波長の透過光強度の同時変調を実現した⁴⁾。今回、上記の2波長電圧変調フィルタと単一検出器を組み合わせ、安定な NDIR 測定が実現できる可能性を確認したため、報告する。

【評価】今回、実験に使用した2つのフィルタの構造は、どちらも p-GaAs 層、GaAs/AlGaAs 量子井戸(MQW)層、n-GaAs 層を積層した薄膜に三角格子円孔 PC を導入した構造である (Fig1 (a))。本フィルタは pn 接合に逆方向電圧を印加することで、MQW 層の電子密度を制御しサブバンド間吸収の大きさが変調されることで透過率が変化する。ここでは、 C_3F_8 ガスの濃度測定に適用することを見据え、MQW 層の ISB-T エネルギー・各層の厚みと PC 格子定数を調整することで、 C_3F_8 の吸収が生じる $f_1=1035\text{cm}^{-1}$ (Filter 1)と、吸収が生じない $f_2=1085\text{cm}^{-1}$ (Filter 2)に各フィルタの変調波数を設定した。2つのフィルタで電圧を印加する前後の透過率スペクトルの FTIR 測定結果を Fig. 2(a), (b)に示す。両フィルタは、上記の目標波数で高い透過率が得られており、かつ電圧印加により 20%以上の透過率変調が得られている。

【結果】本フィルタを用いて Fig.1(b)に示す構成で測定対象を C_3F_8 ガスとした検出実験を行った。Fig.3 に単一検出器から2つの周波数で同期検波して得た信号推移を示す。セル内の C_3F_8 分圧を増加させると、フィルタ1の信号は大きく減少(最大 19%) するのに対し、フィルタ2の信号変化は小さい(最大 1%)。この信号変化は各波長の赤外吸収量に対応していたことから、これら2つの信号比を利用すれば、入射光量に依存せず単一検出器による安定したガス濃度測定が期待できる。【文献】1) 井上他 2018 秋応物 20a-225B-10. 2) 栗根他 2019 春応物 11p-W631-4. 3) 栗根他 2019 秋応物 a21a-E208-5 4) 栗根他 2022 秋応物 22p-A101-3

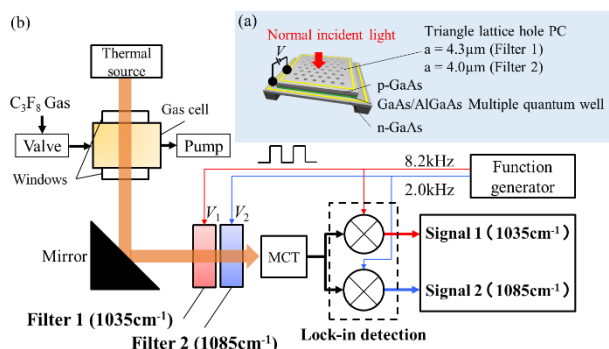


Fig. 1. (a) Bird's eye view of a single electrically controllable filter. (b) Schematic of gas flow measurement system.

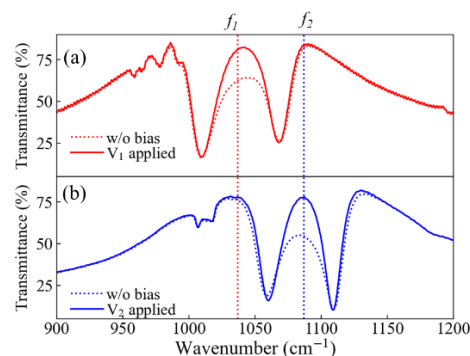


Fig. 2. Transmittance spectra of (a) Filter 1 and (b) Filter 2 as measured with FTIR. Solid and dashed lines indicate spectra without and with bias.

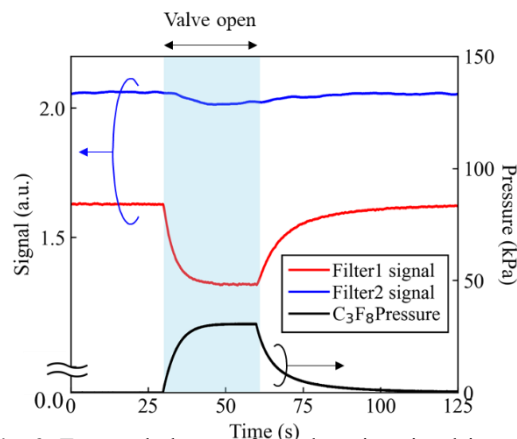


Fig. 3. Temporal change of gas detection signal in response to a pressure change. The red line represents data with Filter 1, blue line with Filter 2, and the black line shows the pressure monitor signal.